Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН
Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова
Сибирское отделение РАН
Академия наук Республики Саха (Якутия)

ГЕОЛОГИЯ И МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВЫЕ РЕСУРСЫ СЕВЕРО-ВОСТОКА РОССИИ

Материалы XI Всероссийской научно-практической конференции

05 –07 апреля 2021 г.

Якутск
2021

УДК 55(063) (571.56)
ББК 26.3Я43 (2 Рос. Яку)

Ответственный редактор
В.Ю. Фридовский

Редакционная коллегия:
к.г.- м.н. *Полуфунтикова Л.И.*, к.г.- м.н. *Прокопьев А.В.*

На обложке: Складчатые деформации пород в параавтохтоне Чаркы-Индигирского надвига.
Фото М. Кудрина, 2021 г.

Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России [Электронный ресурс] : материалы XI Всероссийской научно-практической конференции, 05-07 апреля 2021 г. / [Отв. ред. В.Ю. Фридовский]. – Якутск : Издательский дом СВФУ, 2021. – 1 электрон. опт. диск.
ISBN 978-5-7513-3139-9

В сборнике представлены труды XI Всероссийской научно-практической конференции, посвященной геологии и минерально-сырьевым ресурсам Северо-Востока России, прошедшей в очно-заочной форме. Изложены результаты изучения тектоники, геодинамики и эволюции литосферы, геологии, минералогии и рудообразования месторождений полезных ископаемых СВ Азии. Приведены новые сведения по гидрогеологии, геоэкологии, мерзлотоведению, а также технике и технологии разведки и добычи полезных ископаемых.

Материалы сборника предназначены для научных работников и специалистов, а также студентов, обучающихся по геологическим специальностям.

УДК 55(063) (571.56)
ББК 26.3Я43 (2 Рос. Яку)

ISBN 978-5-7513-3139-9

© ИГАБМ СО РАН, 2021
© Северо-Восточный федеральный университет, 2021

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕКТОНИКА, ГЕОДИНАМИКА И ЭВОЛЮЦИЯ ЛИТОСФЕРЫ СЕВЕРО-ВОСТОКА АЗИИ

Бартова А.В.
История геологического развития низовьев Колымы в кайнозое…… 11
Васильев Д.А., Ермаков Н.Н., Прокопьев А.В.
Тектоника центральной части зоны Адыча-Тарынского разлома…… 15
Васильева А.Е., Гоголева С.С., Земнухов А.Л.
Докембрийские базиты юго-восточного борта Анабарского массива…… 19
Галанин А.А., Курбанов Р.Н., Лыткин В.М., Васильева А.Н., Шапошников Г.И.
Новые данные о строении и возрасте нижнепалеолитической стоянки Диринг (Центральная Якутия)…….. 23
Галанин А.А., Васильева А.Н., Климова И.В., Шапошников Г.И., Лыткин В.М.
Фациальный состав и история формирования покровных эоловых песков криолитозоны Восточной Сибири…….. 27
Глухов А.Н., Прийменко В.В., Котов А.Б., Акинин В.В., Сальникова Е.Б., Ползуненков Г.О.
Новые данные о возрасте конгинской зоны Омолонского террейна (СВ Азии)…… 31
Гриненко В.С., Баранов В.В.
Магматические и флористические события в мезозое Вилюйской синеклизы и Предверхоянском прогибе …….. 33
Гриненко В.С., Баранов В.В.
Таймыро-Сахалинская структурно-фациальная зона: концентрированные углеводороды в поднадвиговых резервуарах, благородные металлы в черных сланцах (Восточно-Сибирский бореальный осадочный бассейн)……. 37
Ермаков Н.Н., Васильев Д.А., Прокопьев А.В., Рязанов К.П., Петров Е.О.
Тектоника, стратиграфия и магматизм юго-восточного фланга Иньяли-Дебинского синклинория……. 42
Иванов А.И., Иванов М.С., Журавлев А.И., Кравченко А.А., Лоскутов Е.Е., Тимофеев В.Ф., Желонкина М.С.
Петрография мезозойских даек Эвотинского рудного района (Южная Якутия, Алданский щит)…… 45
Иванов А.И., Иванов М.С., Журавлев А.И., Кравченко А.А., Лоскутов Е.Е., Тимофеев В.Ф., Желонкина М.С.
Петрография мезозойских магматических пород Михайловского массива (Южная Якутия, Алданский щит)…….. 49
Имаева Л.П.
Типы деформационных полей северо-западного фланга Колымо-Омолонского супертеррейна……... 53
Килясов А.Н.
Новые данные о таксономическом составе кордаитов из Кыгылтасской свиты (верхний палеозой) Западного Верхоянья…….. 56
Козьмин Б.М., Шибаев С.В., Макаров А.А., Туктаров Р.М.
Особенности современной сейсмической активности в Южной Якутии…… 60
Колосов П.Н.
Способы размножения грибов венда юго-востока Сибирской платформы…… 64
Кутыгин Р.В.
О выделении отоцерасовых слоев в пограничных пермско-триасовых отложениях кобюминской зоны Южного Верхоянья……. 68

Летунов С.П., Корольков А.Т., Сасим С.А.
Геодинамическая позиция месторождений Au-Cu-Mo-порфировой серии Забайкало-Амурского региона…….. 72
Макаров А.А., Козьмин Б.М., Шибаев С.В.
Геофизические поля и развитие сейсмического процесса Чаруодинского роя землетрясений…….. 76
Макошин В.И.
Брахиоподы кубалахской свиты низовья р. Лены (Кубалахский разрез)…… 78
Милаушкин М.В.
Минералого-геохимические особенности ультракалиевых пород участка Калюмный Сыннырского массива (Северное Прибайкалье)……... 81
Николаев А.И., Баранов В.В.
Уникальная находка силурийских кораллов в центральной части Западной Якутии…… 85
Оболкин А.П.
Сейсмофации вулканитов Улкано-Кыллахского рифта Алдано-Майского прогиба по данным сейсмостратиграфического анализа……. 90
Попов Н.В., Мальковец В.Г., Лиханов И.И.
Возраст и тектоническое положение Каларского массива автономных анортозитов (юго-запад Алдано-Станового щита)……. 94
Прийменко В.В., Глухов А.Н., Акинин В.В., Котов А.Б., Кузнецов А.Б., Сальникова Е.Б., Ползуненков Г.О.
Позднепалеозойский окраинно-континентальный рифтогенный магматизм Омолонского кратонного террейна и эпитермальное Au-Ag оруденение (СВ Азии)…… 98
Прийменко В.В., Глухов А.Н.
Полиформационность рудных месторождений и эпитермальное Au-Ag оруденение (СВ Азии)……. 101
Прокопьев А.В., Рязанов К.П., Васильев Д.А., Петров Е.О., Ермаков Н.Н., Юдин С.В.
Новые данные о возрасте и составе вулканических пород Уяндино-Ясачненской магматической дуги и гранитоидов главного пояса (СВ Азии)…….. 105
Протопопов Р.И.
Производственно-методические и геологосъёмочные работы масштаба 1:50 000 - основа госгеолкарт Приколымского террейна…….. 109
Рассказов С.В., Чувашова И.С., Ясныгина Т.А.
Аномальное распределение урана, калия и железа в источниках кайнозойских вулканических пород области перехода кора–мантия на южном краю Сибирского палеоконтинента …….. 113
Туктаров Р.М., Шибаев С.В., Козьмин Б.М., Гейслер В., Плётц А., Хаберланд К., Крюгер Ф., Баранов Б.В., Цуканов Н.В., Крылов А.А.
Сейсмичность арктического побережья Якутии в 2019 году……... 115
Шкодзинский В.С.
Геодинамика ранней Земли……. 119

ГЕОЛОГИЯ И МИНЕРАЛОГИЯ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ СЕВЕРО-ВОСТОКА РОССИИ

Александров А.Р.
Различные типы цеолитового сырья Кемпендяйского цеолитоносного района…… 122
Алексеев В.И.
Типоморфизм касситерита как индикатор магматического генезиса апогранитов Кестёрского месторождения (Якутия)……... 127

Анисимова Г.С., Кондратьева Л.А., Кардашевская В.Н., Соколов Е.П.
Текстурно-структурные и минералого-геохимические особенности руд Спокойнинского узла (Алдано-Становой щит)……. 129
Баранов Л.Н., Толстов А.В.
Морфология и химический состав россыпного золота Чаро-Синской площади…… 134
Баранов Л.Н., Толстов А.В.
Сульфидная минерализация апатит-магнетитовых руд массива Томтор…… 138
Батугина Н.С.
Проблемы и перспективы освоения угольного ресурсного потенциала северо-востока Арктической зоны Якутии……... 142
Бондарь Н.А., Кравченко А.А., Попов Н.В., Округин А.В., Берёзкин В.И.
Закономерности распределения химических элементов в докембрийских горных породах Алданской гранулито-гнейсовой области…….. 146
Васильева А.Н., Курбанов Р.Н., Галанин А.А.
Современные технологии оптико-люминесцентного и космогенного датирования……. 150
Герасимов Б.Б., Желонкин Р.Ю.
Особенности внутренней структуры россыпного золота как поисковый признак при прогнозировании его источников (на примере северо-востока Сибирской платформы).. 154
Глухов А.Н., Прийменко В.В., Фомина М.И.
Золото-серебро-полиметаллическое оруденение Конгинской зоны Омолонского террейна (северо-восток Азии)……... 158
Горячев Н.А., Гамянин Г.Н., Кряжев С.Г., Цыганков А.А.
Делянкирская локальная золоторудно-магматическая система (Яно-Колымский пояс, северо-восток России)……. 160
Кардашевская В.Н., Анисимова Г.С.
Данные об изотопном составе серы и осмия сульфидов рудопроявления Дывок (Верхнеалгоминский район, Южная Якутия)…… 164
Кирсанов А.А., Липияйнен К.Л., Смирнов М.Ю., Кирсанов Г.А.
Определение ореолов околорудных гидротермально-измененных пород по материалам обработки космических гиперспектральных данных (на примере Ломамской площади) (Республика Саха (Якутия))……. 166
Коломиец В.Л.
Неотектонические деформации продольных профилей водотоков и поиски россыпного золота…… 170
Коломиец В.Л.
Позднекайнозойские этапы осадконакопления во впадинах Байкальской рифтовой зоны и их связь с формированием строительного нерудного сырья…….. 172
Кондратьева Л.А., Анисимова Г.С., Кардашевская В.Н., Соколов Е.П., Халгаев Е.У.
Типоморфные особенности самородного золота Спокойнинского узла (Алдано-Становой щит)…….. 176
Копылова А.Г.
Геохимия самородного железа…… 180
Костин А.В.
Новый минеральный парагенезис диоритового комплекса Fe-оксидных-Cu-Au руд Кис-Кюельского месторождения…… 182
Кудрин М.В., Заякина Н.В., Фридовский В.Ю., Васильева Т.И.
Гипергенная минерализация золоторудного месторождения Базовское (Восточная Якутия) по данным рентгенофазового анализа…… 185
Кудрин М.В., Фридовский В.Ю.
Пострудные деформации Хангаласского рудного узла (Восточная Якутия)……. 189

Литвиненко И.С.
Типоморфизм самородного золота россыпных месторождений Верхне-Мякитского рудно-россыпного узла (северо-восток России)…… 192
Марсанова М.Р., Соколова А.В.
Циклоседиментограммы геологического разреза скважин Непско-Пеледуйского свода НБА (на фрагменте профиля Батолит-1)…… 197
Мишин Л.Ф., Коновалова Е.А., Талтыкин Ю.В.
Окислительно-восстановительные условия формирования мезозойских магматических поясов Восточной Якутии и связанная с ними металлогеническая зональность…….. 200
Молчанов В.П., Андросов Д.В., Юдаков А.А., Иванников С.И.
Особенности минералогии и геохимии металлоносных образований, связанных с Ариадненской интрузией ультрабазитов (Приморье)…….. 204
Мустафин С.К., Анисимова Г.С.
Комплексное золото-сурьмяное оруденение в террейновых структурах Азии……. 206
Овсов Р.Н.
Структурная позиция Наталкинского рудного поля……. 210
Округин А.В., Земнухов А.Л., Журавлев А.И.
Ликвационное PGE-CU-NI сульфидное рудопроявление в долеритах восточного склона Анабарского щита…… 213
Полуфунтикова Л.И., Фридовский В.Ю., Тарасов Я.А., Кудрин М.В.
Минералого-геохимическая характеристика и вкрапленная сульфидная минерализация вмещающих пород Вьюнского рудного поля (Адычанский сектор, Яно-Колымская металлогеническая зона)……..…….. 217
Пуляев Н.А.
Геологические факторы контроля золото-сульфидно-кварцевого оруденения в пределах Золотогорской перспективной площади…… 222
Пуляев Н.А.
Результаты определения геохимической специализации сложно дислоцированных глубокометаморфизованных комплексов…….. 225
Серкебаева Е.С., Алимгузин А.М.
Особенности рудоносности Сюрампинского рудного поля на северо-западной части Эльгинского рудного узла…….. 228
Сивцев А.И., Иванова З.Е., Карпова М.И.
Основные нефтегазоперспективные районы восточной части Сибирской платформы… 231
Сивцев А.И., Егоров В.В., Яковлев А.А., Яицкий Д.В.
Горно-геологические основы нефтегазоносности венд-кембрийских отложений западной Якутии…….. 235
Ситников В.С., Севостьянова Р.Ф., Павлова К.А.
Эволюция представлений о ловушках нефти и газа на примере среднеботуобинского месторождения……..... 239
Соловьев Е.Э., Саввин Д.В., Кычкин В.А.
Глубинные структуры и размещение полезных ископаемых на границе Адыча-Эльгинской и Аллах-Юньской тектонических зон по региональным геофизическим данным…….. 242
Стативко В.С., Ратьковский Г.Е.
Петрография и геохимия верхнесилурийских карбонатных пород бизонской свиты Момонтайской площади (Магаданская область)…….. 246
Тарасов Я.А., Фридовский В.Ю., Полуфунтикова Л.И., Кудрин М.В.
Геохимические особенности метасоматического пирита Ылэнского золоторудного поля (центральная часть Инъяли-Дебинской металлогенической зоны)…… 250

Фридовский В.Ю., Крымский Р.Ш., Кудрин М.В.
Первые данные Re–Os изотопной геохронологии орогенных золоторудных месторождений Верхояно-Колымской минерагенической провинции (северо-восток России) ……. 254
Фридовский В.Ю., Верниковская А.Е., Яковлева К.Ю.
U-Pb возраст и природа гранитоидов малых интрузий Яно-Колымского металлогенического пояса: роль кислого магматизма в локализации золотого оруденения ……... 257
Чалая О.Н, Лифшиц С.Х., Зуева И.Н., Глязнецова Ю.С.
Адамантановые углеводороды в нафтидах Западной Якутии……. 262
Чалая О.Н., Лифшиц С.Х., Зуева И.Н., Глязнецова Ю.С.
Оценка углеводородного потенциала среднепалеозойских-мезозойских отложений о. Котельный и Индигиро-Зырянского прогиба…… 265

ГЕОЛОГИЯ И МИНЕРАЛОГИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ АЛМАЗА

Агашев А.М., Желонкин Р.Ю., Червяковский В.С., Земнухов А.Л., Червяковская М.В., Серов И.В., Похиленко Н.П.
Цирконы из алмазных россыпей Анабарского района: U-Pb возраст и поисковое значение…… 268
Антонова Т.А., Липашова А.Н., Помазанский Б.С.
Особенности алмазов из реки Усунку с механическим износом…… 272
Афанасьев В.П., Похиленко Н.П.
Новая парадигма алмазоносности Сибирской платформы…….. 275
Биллер А.Я., Олейников О.Б.
Шриланкит во включениях в гранатах из эклогитоподобных ксенолитов трубки Юбилейная – новые данные…… 279
Гибшер А.А., Мальковец В.Г., Кузьмин Д.С.
Гранаты из трубки Майская Накынского кимберлитового поля……. 283
Зинчук Н.Н., Зинчук М.Н.
О значении ассоциаций глинистых минералов при алмазопоисковых работах…… 286
Зинчук Н.Н.
Особенности изучения первичных минералов кимберлитов…….. 291
Колесник А.Ю.
Общие закономерности размещения кимберлитов…….. 297
Липашова А.Н., Аминов А.В., Антонова Т.А.
Особенности алмазов и кимберлитов из глубоких горизонтов трубки Юбилейная……. 299
Логвинова А.М., Угапьева С.С., Николенко Е.И., Вирт Р., Афанасьев В.П.
Генетические особенности алмазов из отложений карнийского яруса Булкурской антиклинали северо-востока Сибирской платформы……... 303
Овчинников И.М.
Выявление шлихоминералогических аномалий в верхнепалеозойских осадочных толщах путем оценки информативности грубообломочных отложений…… 307
Опарин Н.А., Олейников О.Б., Похиленко Н.П., Похиленко Л.Н., Ощепкова М.Г., Бекренев К.А., Андреев А.П.
Кимберлиты трубки им. А.П. Смелова…….. 311
Остапенко Д.В.
Характеристика ботуобинской свиты в пределах Сюльдюкарского кимберлитового поля (СКП)…… 316
Ощепкова М.Г., Похиленко Л.Н., Олейников О.Б.
Особенности состава флогопита из перидотитов, слюдитов и эклогитов…….. 320

Павлушин А.Д.
Влияние ростовых дефектов на форму искажения октаэдрических кристаллов алмаза… 324
Похиленко Н.П., Агашев А.М., Афанасьев В.П., Похиленко Л.Н., Тычков Н.С., Шарыгин И.С., Олейников О.Б., Ощепкова М.Г., Самданов Д.А.
Возможные причины обратной связи между интенсивностью и алмазоносностью проявлений кимберлитового магматизма в полях среднепалеозойского возраста Сибирской платформы…… 327
Тарских О.В., Гибшер А.А., Забелин А.В., Овчинников И.М.
Опыт применения комплексирования программ и технологий при обработке результатов химического анализа для прогнозирования и поисков коренных месторождений алмазов на примере участка Тегюрюк, Алакит-Мархинское кимберлитовое поле, Западная Якутия ……. 332
Тарских О.В., Храмцов А.А., Винокурова Д.П., Старостин П.В.
Морфологические особенности и химический состав хромшпинелидов Сюльдюкарского кимберлитового поля (Западная Якутия) …… 336
Угапьева С.С., Громилов С.А., Молотков А.Е., Афанасьев В.П., Павлушин А.Д.
Рентгенография и ИК спектроскопия якутитов……. 340
Шкодзинский В.С.
Генезис алмазоносных кимберлитов…….. 345
Яковлев И.В., Мальковец В.Г., Гибшер А.А.
Состав и строение литосферной мантии Верхне-Мунского кимберлитового поля по данным исследования глубинного ксеногенного материала…… 348

ГИДРОГЕОЛОГИЯ, ГЕОЭКОЛОГИЯ И МЕРЗЛОТОВЕДЕНИЕ

Васильев М.С.
Динамика температурного режима нижней и средней атмосферы в Центральной Якутии в конце 2018 г. – начале 2019 г…….. 352
Васильева Т.И., Легостаева Я.Б.
Геохимические особенности и коэффициенты выветривания почв и почвоподобных тел Далдынского кимберлитового поля …… 354
Вахрин И.С.
Зависимости деформационных характеристик оттаивающих грунтов искусственного приготовления от показателей физических свойств …… 359
Глязнецова Ю.С., Терентьев Р.Р., Зуева И.Н., Лифшиц С.Х., Чалая О.Н.
Возможности метода ИК-фурье спектроскопии в геоэкологических исследованиях ….. 363
Гололобова А.Г., Легостаева Я.Б.
Влияние горнодобывающей и перерабатывающей деятельности на содержание тяжелых металлов и микроэлементов в мерзлотных почвах…… 367
Егорова Н.М., Александров А.Р., Пермяков П.П.
Очистка воды для хозяйственно-питьевого водоснабжения с использованием загрузочных материалов ……. 371
Ефимов С.Е., Александров А.Р.
Результаты применения природных сорбентов в качестве фильтрующей загрузки для очистки питьевой воды…… 374
Землянскова А.А., Нестерова Н.В., Макарьева О.М.
Изменение характеристик речного льда на северо-востоке России…… 378
Землянскова А.А., Макарьева О.М., Шихов А.Н., Алексеев В.Р., Нестерова Н.В., Осташов А.А.
Многолетняя динамика площади и объемов Анмангындинской наледи (Магаданская область, Россия)…… 381
Куть А.А.
К вопросу развития метода микроморфологического анализа рыхлых отложений…….. 385

Легостаева Я.Б., Попов В.Ф., Гололобова А.Г., Козлова И.В., Ноев Д.С.
Тектоническая обстановка и эколого-геохимическая ситуация Накынского кимберлитового поля……... 388
Лифшиц С.Х., Глязнецова Ю.С., Чалая О.Н., Зуева И.Н.
Особенности биодеградации нефтезагрязнения в мерзлотных почвах Якутии……. 391
Лунецкайте В.В., Чжан Т.Р., Литовко А.А.
Инженерно-геокриологические условия северной части г. Якутска…….. 395
Макаров В.Н.
Редкоземельные элементы в воде субтермального источника (Восточная Якутия)……. 397
Макарьева О.М., Шихов А.Н., Алексеев В.Р., Нестерова Н.В., Осташов А.А., Землянскова А.А.
Ресурсы наледей подземных вод северо-востока России……. 401
Мурзин Ю.А.
Флювиальная переработка берегов рек Якутии…… 405
Мустафин С.К., Стручков К.К., Трифонов А.Н.
Проблемы обеспечения качественной питьевой водой населения Арктической зоны: состояние и решения ……... 408
Нестерова Н.В., Макарьева О.М.
Изменения меженного стока рек Северо-Востока России …….. 412
Павлова Н.А., Огонеров В.В., Лебедева Л.С.
Гидрогеологические особенности поймы р. Лены у г. Якутска…….. 415
Петрова Е.С., Макаров В.Н., Торговкин Н.В.
Химический состав снежного покрова на территории Якутска (зима 1999-2020 гг.)…… 419
Поморцев О.А., Поморцева А.О., Порошина И.Д., Филиппов В.Р.
К анализу системы «антициклон-наледеобразование» в Якутии…… 422
Рожина М.С., Железняк М.Н., Гулый С.А., Сысолятин Р.Г.
Динамика изменения температуры пород деятельного слоя в южной части Верхояно-Чукотской складчатой области……... 425
Сивцева Н.Е.
Микроэлементная характеристика почвенного покрова г. Якутск ……. 428
Собакин П.И.
Радиоэкологическая обстановка монацитовых россыпей в Южной Якутии…….. 431
Тананаев Н.И., Котов П.И.
Палеоклимат и криолитозона Центральной Якутии в позднем плейстоцене и голоцене.. 436
Тананаев Н.И., Чербунина М.Ю.
Химический состав льдов и отложений обнажения «Мамонтова гора» в связи с их генезисом…….. 440
Тихонравова Я.В.
Влияние сопутствующих процессов формирования и развития полигонально-жильных льдов на его строение……... 444
Черепанова А.М.
Изменение климатической нормы температуры воздуха в г. Якутске…… 448
Шадринова О.В., Легостаева Я.Б.
Хлориды в почвах северо-таежных ландшафтов…….. 450
Шапошников Г.И., Галанин А.А., Васильева А.Н., Скрябина А.С.
Радиоуглеродная лаборатория ИМЗ СО РАН…… 454
Шестакова А.А., Торговкин Я.И.
Геокриологическая карта мостового перехода через р. Лена…….. 456
Янников А.М., Янникова С.А.
Особенности формирования зон разгрузки рассолов в карьерном поле трубки «Юбилейная»…… 460

ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ РАЗВЕДКИ И ДОБЫЧИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Бураков А.М.
Переработка техногенных песков россыпного месторождения комбинированным способом……..... 463
Гаврилов В.Л., Фрейдина Е.В.
Об изменении потенциала угольных месторождений при разведке и разработке…….. 467
Егоров И.А., Скрябин Р.М., Татаринов Д.М., Сивцев А.И.
Об эффективности бурения скважин с телескопическими буровыми штангами……... 470
Каймонов М.В.
Прогноз теплового режима рудного штабеля при кучном выщелачивании золота в условиях криолитозоны……... 472
Каймонов М.В., Панишев С.В.
Прогноз теплового режима пород вскрыши при открытой разработке буроугольного месторождения в условиях криолитозоны……. 475
Лебедев И.Ф.
Исследование процессов классификации различных минералов в лабораторных моделях барабанных сепараторов……... 477
Леонтьев С.Н., Тимофеев Н.Г., Скрябин Р.М.
Технология отбора проб при бурении скважин на россыпных месторождениях…….. 481
Петухова Е.С., Чепрасов М.Ю., Христофоров И.И.
Проблемы поиска и хранения ископаемой мамонтовой кости……. 485
Попов В.Ф.
Прогноз динамики концентрационных изменений растворов хвостохранилища в условиях криолитозоны……. 489
Попов В.Ф.
Моделирование процессов тепломассообмена в рудном штабеле при кучном выщелачивании…… 491
Портнягин А.С., Семенов М.Е., Рыжкович Е.В.
Изучение возможности применения искусственных образцов керна в качестве модели пласта месторождений нефти Непско-Ботуобинской нефтегазоносной области…….. 493
Татаринов Д.М., Егоров И.А., Скрябин Р.М., Самсонов В.В.
О проблеме эксплуатации самоходных буровых установок в условиях зимы Крайнего Севера…… 497
Тимофеев Н.Г., Вершинин Д.В.
О процессе тепловыделения при резании резцами породоразрушающего инструмента горной породы на забое……... 502
Федоров В.И., Гаврилов В.Л.
Трансформация энергетического угля при поставках потребителям Арктической зоны Якутии……... 504
Хоютанов Е.А., Гаврилов В.Л.
О моделировании запасов сложноструктурных угольных месторождений…… 507

УДК 551.87

ИСТОРИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ НИЗОВЬЕВ КОЛЫМЫ В КАЙНОЗОЕ

Арина Бартова
Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского, Средний пр., 74, г. Санкт-Петербург, 199106, Россия

HISTORY OF THE LOWER REACHES OF THE KOLYMA IN THE CENOZOIC

Arina Bartova
A.P. Karpinsky Russian Geological Research Institute, 74 Sredny Ave., Saint-Petersburg, 199106, Russia

Annotation. Was analyzed retrospective data and obtained our own new materials on the structure of the Cenozoic cover of the South-Eastern part of the (within the R-57 sheet). The position of Paleogene and Neogene rocks in boreholes was clarified, and the age of weathering crusts emerging to the day surface was determined. The history of geological development in the Cenozoic from the Paleocene to the Holocene is traced, the stages of tectonic activation and formation of regional peneplains in the Cenozoic are identified, and the relationship of the modern relief with tectonic events in the Cenozoic is traced.

В 2020 году завершились работы по созданию авторского варианта комплекта ГГК-1000/3 листа R-57 [1]. Лист охватывает территорию Колымской низменности, являющейся юго-восточным окончанием Приморской наложенной впадины, обрамлённой в южной и восточной частях листа складчато-глыбовыми и глыбовыми горами Анюйского нагорья и Юкагирского плоскогорья, включает часть шельфа Восточно-Сибирского моря. Почти 90 % площади листа занято кайнозойскими образованиями, мощность их 600 м в южной и более 2 000 м – в северо-западной части впадины.

Территория листа R-57 уникальна с точки зрения полноты разреза кайнозойских образований, охватывающего в полном объёме возрастной интервал от палеоцена до голоцена включительно. Здесь на субширотном отрезке реки Колымы расположены 4 параметрические скважины, вскрывающие весь разрез дочетвертичного кайнозоя Колымской низменности от нижнепалеоценовых кор выветривания до бегуновской свиты плиоцена. В обнажениях по берегам рек Колыма, Большой и Малый Анюй, Крестовка, Олёр, Чукочья др., а также скважинами зондировочного бурения, вскрыты образования от бегуновской свиты плиоцена до голоцена. На правом берегу р. Колымы в районе пос. Черский обнажаются миоценовые коры выветривания. На этой площади расположены стратотипы и опорные разрезы многих подразделений кайнозоя, региональных надгоризонтов и горизонтов.

При работах над созданием комплекта ГК-1000/3 были собраны и проанализированы все доступные материалы по кайнозою, истории развития, исследованиям климатических изменений этой площади и др., включающие отчёты и опубликованную литературу, дополненные собственными полевыми наблюдениями и новыми аналитическими данными, проанализированы космические снимки разной детальности, крупномасштабные топографические карты, геофизические материалы по этой площади. Для большинства скважин, в том числе двух параметрических, найдено послойное их описание, что позволило провести детальный анализ их литологического строения. Литологические данные совмещены с биостратиграфическими (в

основном это палинология, микрофаунистический, карпологический и диатомовый анализы) и палеомагнитными. При полевых работах (2018 и 2019 г.) удалось изучить разрезы кор выветривания в районе пос. Черский и мыс Каменный, стратотипы и опорные разрезы бегуновской (плиоцен), кутуяхской (пьяченцкий-гелазский ярусы), олёрской, маастахской, едомной и алёшкинской свит, аласных отложений и др. Получены результаты биостратиграфических, минералогического анализа и абсолютного датирования (для четвертичных отложений – 14C и OSL).

В результате анализа перечисленных выше материалов для палеогеновых и неогеновых образований, вскрытых скважинами, были значительно уточнены границы свит и толщ, прослежена взаимосвязь современного рельефа с кайнозойскими тектоническими событиями, реконструирована история геологического развития территории от палеоцена до голоцена (Рисунок 1).

Две свиты эоцена, муолская и паршинская, выделенные по палинологическим данным в 1998 году [2], были заменены на выделенную ранее при бурении скважин [3] лакеевскую свиту. Как фациальный аналог лакеевской свиты – выделена осетровская толща. В состав стадухинской свиты (нижний-средний миоцен) введены нижне- и верхнестадухинская подсвиты (по [2,4]). Для кор выветривания, распространённых в районе г. Конзабой, пос. Черский, у мыса Каменный, на основании сходства их строения и представлений об истории геологического развития территории, определён возраст – вторая половина среднего миоцена; в разрезе кор выветривания у мыса Каменный обнаружено небольшое количество спор и пыльцы, набор которой мог существовать, начиная с конца палеогена до начала эоплейстоцена.

В результате тектонических движений возникли современные возвышенности и горы, обрамляющие Колымскую низменность, сложенные консолидированными докайнозойскими осадочными, осадочно-вулканогенными, вулканогенными и интрузивными породами, заложены неотектонические впадины (Приморская и Анюйская) – области активной аккумуляции материала в кайнозойское время.

На протяжении кайнозоя имели несколько стадий активизации блоковые неотектонические вертикальные и сдвиговые перемещения. В современном рельефе они отражены в конфигурации речных долин – прямолинейные направления долин с резкими коленообразными сменами общего направления в западной части площади (рр. Большая Куропаточья, Чукочья, Олёр, Малая Коньковая) и в юго-восточной (р. Баёково с её притоками, огибающая массив, сложенный скальными породами). Неотектонические перемещения предопределили накопление высокольдистых отложений большей мощности в поздненеоплейстоценовое время в зонах тектонических опусканий, по которым в голоцене заложены крупные термокарстовые котловины (район озёр Чорхия, Тросиянггыткин и др.). По обновлённому в позднечетвертичное время разлому субмеридионального простирания заложена долина р. Омолон, тектоническим уступом ограничена с запада Халлерчинская тундра, долина реки Колымы – с востока в нижнем её течении. Смена направления течения р. Колымы с меридионального на широтное также, вероятно, имеет тектоническую природу, обусловленную блоковым поднятием массива Халлерчинской тундры. Объяснения изменения направления долины в результате многократного формирования дельт, начиная с раннечетвертичного времени, предлагаемое предшествующими исследователями [5,6,7 и др.], сложно объяснить только ими. Этому противоречит вложенный в едомную равнину характер Халлерчинской тундры, предполагаемое её формирование как аллювиально-морской поверхности в сартанское время, а также то, что абсолютные отметки её поверхности в южной и юго-западной частях, достигающие 35 метров – сравнимы с высотами самой едомной равнины в этой же зоне.

Вероятно, неоплейстоценовыми опусканиями обусловлено активное формирование слившихся уже в единую поверхность голоценовых термокарстовых котловин к северу от прямолинейного участка долины р. Чукочья – в окрестностях озёр Большое Морское, Илиргыткин, Алькыгыткин и др.

Сдвиговые смещения фундамента позднечетвертичного времени проявляются в резких (под 90^{o}) сменах общего направления долин рек Большая Куропаточья, Чукочья, Олёр и Малая Коньковая

в западной части площади и отражены в геофизических полях (естественно, со сдвигом относительно современного рельефа, учитывая мощность рыхлого покрова, достигающую здесь предположительно более 1000 м). Разрывные же нарушения субмеридионального направления, отделившие Колымскую впадину от Анюйского нагорья, практически не просматриваются по геофизическим данным.

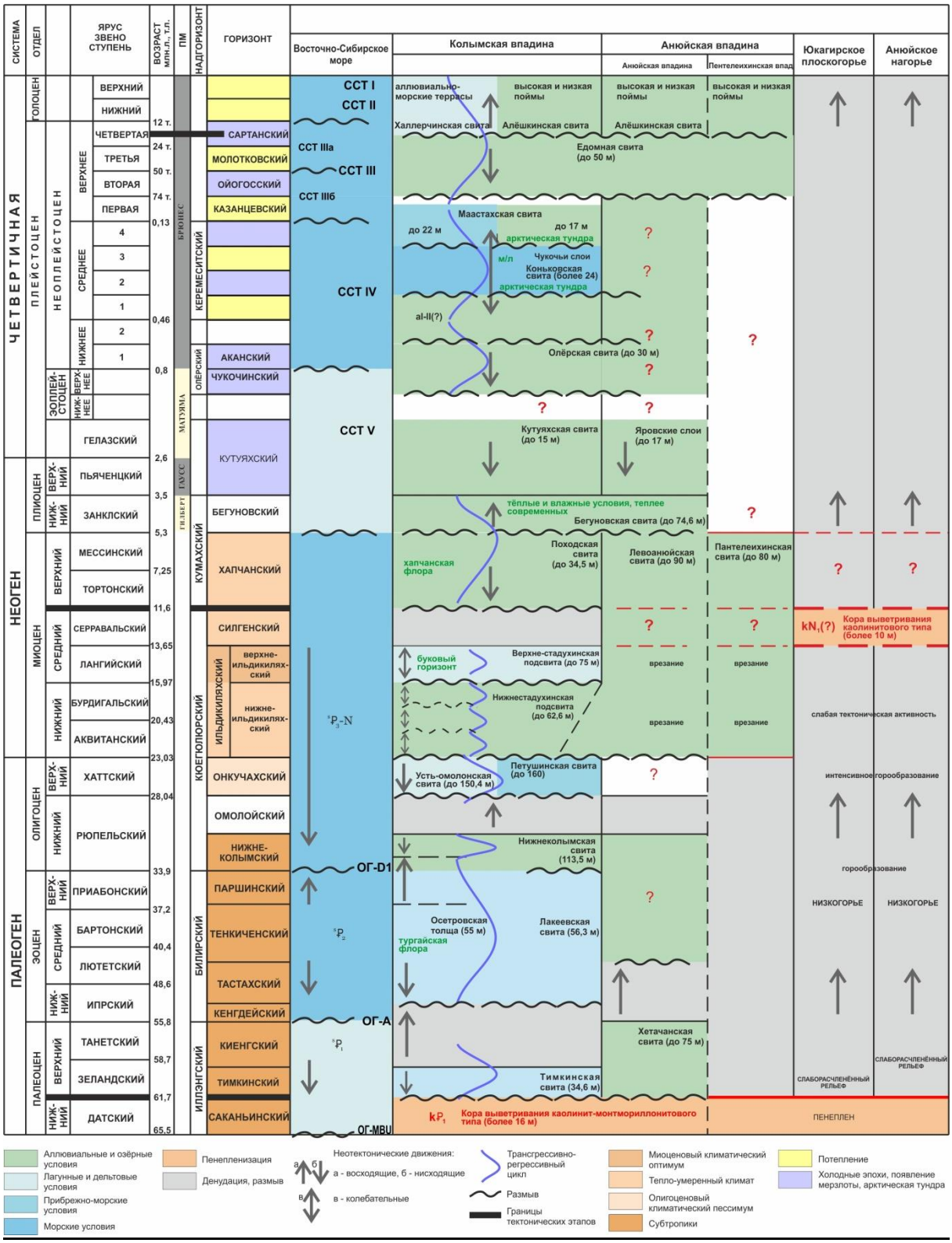


Рисунок 1. Геологическое развитие площади в палеогене и неогене.

В среднем течении р. Чукочья сформировано Олёрское поднятие, отмеченное многими авторами [8,9] и фиксирующееся аномально-высоким залеганием пород олёрской свиты на этом участке.
По данным В. А. Калиничева [10] устойчивое поднятие происходит в настоящее время в районе Медвежьих островов (о. Четырёхстолбовой 3,3-5 мм/год) и в материковой части суши близ восточной границы площади (бухта Амбарчик 3,2-2,7 мм/год). О продолжающихся положительных движениях в юго-восточной части площади свидетельствуют современные эрозионные уступы рек Большой и Малый Анюй.
История геологического развития территории в кайнозое включает чередование периодов тектонической активности, повлекших заложение и углубление наложенных впадин, с эпохами пенепленизации и образования кор выветривания, сопровождающееся изменениями климата от субтропического до сурового арктического (Рисунок 1). Всего для кайнозоя выделено три основных тектонических этапа: палеоцен-ранний миоцен, поздний миоцен(плиоцен)-поздний неоплейстоцен и поздний сартан-голоцен, а также две эпохи пенепленизации и корообразования - палеоцен и средний миоцен.
В кайнозое на площади господствовали морские, аллювиальные, озёрные и переходные между ними обстановки осадконакопления. На участках горного обрамления неотектонических впадин преобладали процессы денудации. Определение этапов активной денудации и врезания водотоков важно для понимания периодов россыпеобразования в регионе.

Литература:

[1] Boldyreva A.I. et al. Creating a set of state geological map scale 1: 1 000 000 (author's version) sheet R-57 – Chersky. Saint Petersburg, 2020 (in Russian).
[2] Grinenko O.V., Sergeenko A.I., Belolyubsky I.N. Paleogene and Neogene of the North-East of Russia. Regional stratigraphic scheme of Paleogene and Neogene deposits of the North-East of Russia and an Explanatory note to it. Yakutsk. Publishing House of the YANC SB RAS, 1998 (in Russian).
[3] Frolov A.I., Ibragimov K.Z., Savchenko A.G. Report on the results of parametric drilling in the lower reaches of the Kolyma River for 1978-82. Omolon-prot. Stadukhinskaya/. 1982 (in Russian).
[4] Grinenko O.V., Zharikova L.P., Fradkina A.F., et al. // Paleogene and Neogene of the North-East of the USSR, Yakutsk, 1989 (in Russian).
[5] Vorobyov V.A., Miller V.G., Byron I.Yu., Chibisov N.P., Kunda Z.A., Gataullin V.N. Project report: "Conducting reconnaissance geological and geochemical studies of the areas of nutrition and sedimentation of the Kolyma shelf" in 1977-1980 (Topic No. 5). Riga, 1980 (in Russian).
[6] Bayron I.Yu., Miller V.G., Minchenok V.D. Development of the Lower reaches of the Kolyma River in the Pleistocene // Geomorphology, 1977, no. 2, pp. 44-51. (in Russian).
[7] Patyk-Kara N.G., Postolenko G.A. Kolyma valley system, history and factors of its formation // Geomorphology, 2003, no. 3-p. 62-75 (in Russian).
[8] Patyk-Kara N.G., Gapon O.I., Grinenko O.V. Structural and geomorphological structure of the Kolyma lowland // Geology of the Cenozoic of Yakutia. Yakutsk, Yakut. phil. SB AN SSSR, 1982, pp. 70-77 (in Russian).
[9] Archangelov A.A., Barankova N.N., Gilichinsky D.A., et al. Analytical and permafrost-geological studies of core wells of core drilling and reference sections within the sheet R-57. 1982 (in Russian).
[10] Frolov A.I., Ibragimov K.Z., Savchenko A.G. Report on the results of parametric drilling in the lower reaches of the Kolyma River for 1978-82 /Estuary of the Kolyma River Omolon-prot. Stadukhinskaya/, 1982 (in Russian).

УДК 551.243(571.5)

ТЕКТОНИКА ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ЗОНЫ АДЫЧА-ТАРЫНСКОГО РАЗЛОМА

Дмитрий Васильев, Николай Ермаков, Андрей Прокопьев
Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, пр. Ленина, 39, г. Якутск, 677000, Россия

TECTONICS OF THE CENTRAL PART OF THE ADYCHA-TARYN FAULT ZONE

Dmitriy Vasiliev, Nikolay Ermakov, Andrey Prokopiev
Diamond and Precious Metal Geology Institute SB RAS, 39 Lenin Ave., Yakutsk, 677000, Russia

Annotation. The results of structural studies conducted in 2020 on the north-eastern limb of the central part of the Adycha-Taryn fault zone (Elga anticline and Tordochan syncline; technogenic outcrops of the left bank of the lower reaches of the Elga River) are presented. Structural paragenetic associations have been established, confirming the previously made assumptions about the manifestation of two stages of deformations in the studied area. The complex and intense folding of the first stage has a north-western trend. Superimposed deformations of the second stage, associated with sinistral strike-slip faults, were accompanied by less intense folding. The assumption is made about the possible existence of the third stage of deformations, which is associated with dextral strike-slip faults. For the first time, the variability of the intensity of tectonic deformations along the Adycha-Taryn fault zone was established.

1. Введение

Изученный район находится в бассейне нижнего течения р. Эльги, левого притока р. Индигирки. Исследования проводились в крупных техногенных карьерах, расположенных вдоль автодороги «Колыма». В тектоническом отношении территория располагается в центральной части зоны влияния регионального Адыча-Тарынского разлома. Ранее предполагалось, что этот разлом отделяет Адыча-Эльгинский антиклинорий зоны хинтерланда Верхоянского складчато-надвигового пояса от Нерского блока (антиклинория) Кулар-Нерского террейна [1]. Однако впоследствии Нерский блок был включен в состав зоны хинтерланда. На юго-западном крыле Адыча-Тарынского разлома, в Адыча-Эльгинском антиклинории, выделяется несколько генераций складчатости, кливажа и разломов. Здесь отмечено постепенное повышение интенсивности деформаций в северо-восточном направлении [1]. Считается, что северо-восточное крыло Адыча-Тарынского разлома деформировано более интенсивно [2]. Разлом плохо обнажен, однако хорошо дешифрируется на космо- и аэрофотоснимках, устанавливается в геологической структуре по усилению интенсивности складчатых и разрывных нарушений, положению кайнозойских впадин и т.д. Предполагается, что Адыча-Тарынский разлом первоначально имел преобладающую взбросовую кинематику, которая сменилась на левосдвиговую с элементами транспрессии и транстенсии [2]. К зоне Адыча-Тарынского разлома приурочены золотые и золото-сурьмяные месторождения и рудопроявления [1].

2. Складчатые и разрывные структуры

Основными складчатыми структурами изученного района являются Эльгинская антиклиналь и расположенная юго-западнее Тордочанская синклиналь северо-западного простирания. Более крупная Эльгинская антиклиналь имеет ширину 12–15 км и протяженность более 100 км. Северо-восточное крыло более пологое, угол падения меняется в широких пределах от 40º до 80º; юго-западное крыло крутое, угол падения достигает 80–90º. Залегание пород на юго-западном крыле изменяется от нормального до опрокинутого. В изученных нами обнажениях на северо-восточном крыле этой антиклинали мелких складок не обнаружено. По данным среднемасштабного геологического картирования здесь были описаны подобные и

концентрические ундулирующие складки и пологие, широкие концентрические и коробчатые складки. Местами проявлена микроскладчатость, в которую смяты пластичные глинистые толщи [3]. Тордочанская синклиналь имеет ширину 4–8 км и протяженность более 40 км. Общее с Эльгинской антиклиналью северо-восточное крыло этой складки более крутое, тогда как углы залегания пород на ее юго-западном крыле достигают 40–70º. Эти складки деформируют верхнетриасовые терригенные породы, среди которых преобладают аргиллиты и алевролиты; реже встречаются пласты мелкозернистых песчаников и конгломератов. Роль грубообломочных пород возрастает вверх по карнийско-норийскому разрезу. Свод Эльгинской антиклинали слагают породы нижней толщи карния, а мульду Тордочанской синклинали – нижняя толща норийского яруса. Крылья складок сложены отложениями верхней толщи карнийского яруса. Северо-восточнее в мульде Удуминской синклинали вскрываются несогласно залегающие на верхнетриасовых толщах отложения нижней и средней юры [4].

Складчатые и разрывные деформации представлены несколькими генерациями. Складки первой генерации северо-западного простирания независимо от размеров асимметричны, реже симметричны, иногда опрокинуты на северо-восток. Шарниры складок слабо наклонны или субгоризонтальны. Несмотря на то, что в целом складчатость невергентная, все же преобладают антиклинали и синклинали с более крутыми северо-восточными и юго-западными крыльями, соответственно. Складки линейные и ундулирующие; преобладают конические формы, хотя цилиндрические также встречаются. По форме замков и мульд складки в большинстве косые, реже прямые закрытые, иногда встречаются как открытые, так и сжатые. Складчатость концентрическая; размеры складок варьируют от первых десятков сантиметров до первых десятков метров. К этой генерации относятся Эльгинская антиклиналь и Тордочанская синклиналь. По массовым замерам ориентировки слоистости расчетная ось складчатости погружается в северо-западном (аз. пад. 316º) направлении под ∠27º. Складки первой генерации часто сопровождаются непроникающим кливажем, проявленным в основном в прослоях аргиллитов и алевролитов. Его интенсивность увеличивается с уменьшением зернистости пород, достигая максимума в аргиллитах. Характерна рефракция кливажа, проявленная на границах разнокомпетентных слоев. Простирание кливажа практически параллельно простиранию складчатости.

Складки второй генерации менее выражены. Их шарниры круто наклоненные (60–70º). Складки прямые симметричные, реже асимметричные. Поскольку обнаруженные складки в целом прямые, то можно считать, что складчатость невергентная. Складки предположительно линейные, цилиндрические; ундуляция не отмечена. По форме замков и мульд преобладают прямые, реже косые открытые. В целом складчатость концентрическая. Размеры складок изменяются от 1–2 м до 6–7 м.

Первая генерация разрывных нарушений со смещением характеризуется преобладанием надвиго-взбросовых деформаций. Надвиги менее распространены и связаны в основном с межслоевыми срывами. Простирание взбросов меняется в широких пределах, однако основными направлениями являются северо-западное и северо-восточное. Углы падения сместителей варьируют от 40 до 90º (в среднем около 60º). Взбросы и надвиги, как правило, структурно и генетически связаны со складками первой генерации, формируя местами небольшие взбросо-складки. Иногда наблюдается смещение складок и надвигов первой генерации крупными взбросами. Амплитуда смещения по ним изменяется от первых сантиметров до первых десятков метров. Ко второй генерации разрывных нарушений относятся сдвиги. В изученных обнажениях среди всех типов разломов преобладают левые сдвиги. Выделяются два преобладающих направления – север-северо-западное и восток-северо-восточное. При этом главным направлением предполагается последнее. Падения сместителей крутые (77–90º), реже 40–50º. Правые сдвиги менее распространены. Иногда наблюдается смещение ими плоскостей левосторонних сдвигов. Основные направления простирания правосторонних сдвигов – северо-западное и субширотное. Углы падения сместителей крутые – от 68 до 90º. Кроме того, встречаются комбинации сдвигов, как левых, так и правых, с другими типами разломов, прежде всего со взбросами. Смещение по сдвигам определить сложно. Однако в пределах обнажений

наблюдаются сдвиги с амплитудой от десятков сантиметров до первых метров. Сбросы на территории крайне редки. Был задокументирован только один сброс субширотного простирания с крутым углом падения сместителя, который, имея левосдвиговую составляющую, безусловно находится в структурном парагенезе со сдвигом. Трещины отрыва представлены жилами, в основном кварцевыми. Они встречаются часто и имеют разные простирания, но преобладают жилы северо-восточного направления. Мощность жил до первых десятков сантиметров. Иногда встречаются жилы, смятые в асимметричные складки первой генерации.

По замерам ориентировок штрихов на зеркалах скольжения мелких разломов и их кинематике были рассчитаны главные оси палеонапряжений [5]. Поскольку на территории предполагается проявление нескольких деформационных этапов, с которыми связаны определенные типы разломов, для каждого из них оси палеонапряжений были вычислены отдельно. Надвиги и взбросы сформированы при слабонаклонном ($\angle 11^{o}$) на юг сжатии север-северо-восточного простирания (аз. пад. 208º). Ось растяжения ориентирована субвертикально ($\angle 78^{o}$). Левые сдвиги были образованы при субгоризонтальном сжатии ($\angle 0{,}5^{o}$) восток-северо-восточного (аз. пад. 244º) направления. Ось растяжения имеет север-северо-западное (аз. пад. 334º) простирание и погружается на север под $\angle 11^{o}$. Если оси сжатия для левых сдвигов, надвигов и взбросов имеют близкое направление, то ориентировка сжатия для правых сдвигов значительно отличается. Правые сдвиги сформированы при субгоризонтальном ($\angle 8^{o}$) сжатии север-северо-западного простирания (аз. пад. 160º) и субгоризонтальном ($\angle 10^{o}$) растяжении восток-северо-восточного (аз. пад. 69º) направления. При этом отмечается, что оси сжатия и растяжения левых и правых сдвигов как будто инверсированы. Безусловно, при этом необходимо иметь в виду, что поздние деформации изменяли, смещали положение в пространстве более ранних разрывных нарушений. Таким образом, положение осей палеонапряжений правых сдвигов, как наиболее поздних разломов, можно считать наиболее достоверным. Значительное отличие простирание осей палеонапряжений, а также полевые наблюдения предыдущих исследователей на смежных территориях, позволяет предположить третий, правосдвиговый этап деформаций. Поскольку правые сдвиги встречаются довольно редко, и видимо имеют незначительное влияние на общее тектоническое строение территории, значение осей палеонапряжений левых сдвигов также можно считать достоверным.

Тектонические деформации вдоль Адыча-Тарынского разлома в прошлом веке были изучены точечно, но достаточно подробно [2,6,7]. В результате этих исследований, дополненных нашими материалами, можно утверждать, что от среднего течения р. Адыча до устья р. Эльги интенсивность деформации меняется не только вкрест Адыча-Тарынской зоны разломов, но и вдоль. На юго-западном крыле разлома с северо-запада на юго-восток отмечается понижение интенсивности складчатости, ее упрощение. На северо-восточном крыле разлома в том же направлении наблюдается увеличение степени деформации до среднего течения р. Эльги, сменяемое далее на ее уменьшение. В самой зоне Адыча-Тарынского разлома, по-видимому, в северо-западном направлении повышается значение взбросовой составляющей.

3. Выводы

Впервые описаны тектонические структуры, вскрытые в техногенных обнажениях левобережья нижнего течения р. Эльги, которые значительно уточнили и дополнили имеющие данные по тектонике центральной части Адыча-Тарынской зоны разломов. Установлены три структурных парагенезиса. Первый включает надвиги, взбросы и складки первой генерации. Второй – складки второй генерации и левые сдвиги. Подтверждено сделанное ранее предположение [7] о проявлении на изученной площади как минимум двух этапов деформаций. Сложная и напряженная складчатость первого этапа здесь имеет северо-западное простирание. Наложенные левосдвиговые деформации сопровождались менее интенсивной складчатостью с субвертикальными шарнирами. Сделано предположение о возможном существовании третьего этапа деформаций, связанного с образованием правосторонних сдвигов. Впервые установлена не только поперечная, но продольная изменчивость интенсивности тектонических деформаций

вдоль Адыча-Тарынской зоны разломов. С северо-запада на юго-восток на юго-западном крыле зоны разломов понижается интенсивность деформационных структур. В том же направлении на северо-восточном крыле наблюдается постепенное увеличение интенсивности деформаций до среднего течения р. Эльги, сменяемое ее уменьшением в юго-восточном направлении (нижнее течение р. Эльги). Сделано предположение, что в северо-западном направлении повышается взбросовая составляющая в зоне Адыча-Тарынского разлома. Впервые установлена ориентировка осей палеонапряжений, под действием которых были сформированы тектонические структуры изученной территории. Левые сдвиги были образованы при субгоризонтальном сжатии восток-северо-восточного направления, при слабом наклоне на север-северо-запад оси растяжения. Последующие правосдвиговые деформации происходили при субгоризонтальном сжатии север-северо-западного простирания и восток-северо-восточном субгоризонтальном растяжении.

4. Благодарности

Исследование выполнено по плану НИР ИГАБМ СО РАН (проект 0381-2019-0001), при поддержке гранта РНФ № 20-17-00169.

5. Литература:

[1] Parfenov, L.M. and Kuzmin, M.I., (eds.) Tectonics, geodynamics, and metallogeny of the Sakha Republic (Yakutia). Moscow: MAIK “Nauka/Interperiodica”, 2001, 571 pp. (in Russian).

[2] Parfenov, L.M., Rozhin, S.S. and Tretyakov, F.F. On the nature of the Adycha-Taryn fault zone (East Verkhoyansk region) // Geotektonika, 1988, no. 4, pp. 99-102. (in Russian).

[3] Akulov, B.I. and Danilogorsky, E.P. Geological map of the USSR on a scale of 1: 200,000. Verkhoyanskaya series. Sheet Q-54-XXXV. Explanatory note. Moscow: State Scientific and Technical Publishing House of Literature on Geology and Subsoil Protection, 1968, 81 pp. (in Russian).

[4] Danilogorsky, E.P. Geological map of the USSR on a scale of 1: 200,000. Verkhoyanskaya series. Sheet Q-54-XXXIV. Explanatory note. Moscow: State Scientific and Technical Publishing House of Literature on Geology and Subsoil Protection, 1968, 88 pp. (in Russian).

[5] Marrett, R. and Allmendinger R. Kinematic analysis of fault-slip data 88 Journal of Structural Geology, 1990, vol. 12, pp. 973-986.

[6] Arkhipov, Yu.V. and Parfenov, L.M. On the Adycha gently deformed zone // Doklady AN SSSR, 1980, vol. 250, no. 1, pp. 155-158. (in Russian)

[7] Arkhipov, Yu.V., Klimash, V.P., Popov, L.N., Trushchelev, A.M. and Shashkina, I.A. Geological structure of the Bylynya block in the central part of the Adycha-Taryn fault (upper reaches of the Adycha River) // Geotektonika, 1981, no. 4, pp. 78-89. (in Russian).

УДК 552.3

ДОКЕМБРИЙСКИЕ БАЗИТЫ ЮГО-ВОСТОЧНОГО БОРТА АНАБАРСКОГО МАССИВА

Александра Васильева[1], Саргылана Гоголева[1], Алексей Земнухов[2]
1 Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, пр. Ленина, 39, г. Якутск, 677000, Россия
2 АО «Алмазы Анабара», ул. Кирова, 18, блок Б, г. Якутск, 677980, Россия

PRECEMBRIAN BASITES OF THE SOUTHEASTERN BOARD ANABAR SHIELD

Alexandra Vasilieva[1], Sargylana Gogoleva[1], Alexey Zemnukhov[2]
1 Diamond and Precious Metal Geology Institute SB RAS, 39 Lenin Ave., Yakutsk, 677000, Russia
2 JSC "Almazy Anabara", 18 Kirov St., block B, Yakutsk, 677980, Russia

Annotation. The study of the composition of the basic rocks of the Khaptasynakh and Kuonam areas of the southeastern board of the Anabar shield has been carried out. It has been established that the igneous rocks of the Khaptasynnakh area are represented by subalkaline basic rocks. They are close to the basites of the Chieress dike belt, which is elongated along the northeastern side of the massif in a northwestern direction by petrographic and petrochemical parameters. The basites of the Kuonam area are filled with a tholeiite-basaltic magmatic melt. It is assumed that some of them may belong to the Early Riphean tholeiite-basic rocks of the Kengedin dike belt formed in the period about 1550 Ma ago.

По восточному и южному борту Анабарского массива в пределах выходов кристаллического фундамента широко распространены позднедокембрийские базиты. Они сформированы в дайковые рои и пояса. Протяженность таких роев может достигать 250-300 км при ширине от 10-15 до 80 км. По направлению простирания и кучности положения дайки объединены в Джюкенский, Чиэресский рои северо-западного направления и в Кенгединский пояс субширотной ориентировки. Простирание даек в роях совпадает с общим направлением пояса, хотя короткие дайки иногда имеют отклонения простирания. Нами были изучены интрузивные породы основного состава Хаптасынахской и Куонамской площадей, проведено их петрографическое описание, определение состава породообразующих минералов и анализ формационной принадлежности исследуемых пород.

Магматические породы Хаптасыннахской площади представлены базитами субщелочной специализации. Все образцы отобраны из даек северо-западного простирания, приуроченных к северному окончанию Чиэресского дайкового пояса. Установлено, что исследуемые объекты выполнены преимущественно породами щелочной специализации. Это трахидолериты, трахиандезит, щелочное габбро и всего один образец представлен габбро-долеритом. Образцы из центральной части дайки трахидолеритов имеют характерную долеритовую структуру. Основные минералы представлены плагиоклазом (An_{36-50}), клинопироксеном ($Wo_{9-17}En_{56-29}Fs_{35-56}$), ортоклазом и титаномагнетитом. Трахидолериты из бортовой части дайки имеют порфировую структуру. Порфировый плагиоклаз представлен андезин-лабрадором (An_{38-56}), порфировый клинопироксен – авгитом ($Wo_{26-45}En_{27-36}Fs_{39-25}$) и пижонитом ($Wo_{57-47}En_{33-37}Fs_{8-16}$). Основная мелкозернистая масса представлена лейстами плагиоклаза более кислого состава (An_{0-29}), клинопироксеном и рудным минералом. Основная масса хлоритизирована, загрязнена пелитоморфным бурым веществом. Щелочное габбро интенсивно раскристаллизовано и имеет габбровую структуру. Его породообразующие минералы: плагиколаз (An_{45-56}), клинопироксен ($Wo_{34-38}En_{21-36}Fs_{44-27}$), кварц, магнетит. Трахиандезит имеет призматически-зернистую структуру, состоит из плагиоклаза (An_{52-61}), калиевого полевого шпата, клинопироксена, магнетита.

Сравнение этих пород с породами Чиэресского комплекса (А.В. Округин, 1999; О.В. Королева и др., 1999) показал их близость. Последние так же представлены трахидолеритами, трахиандезитами, монцонитами и щелочным габбро. Так же сопоставляемые породы характеризуется однотипным химическим составом пород (Таблица 1). Значения составов магматитов на классификационной диаграмме (Рисунок) ложатся вдоль границы раздела толеитовых и субщелочных пород. Количество SiO_2 в них колеблется от 48,26 до 54,93, сумма щелочей 3,79-5,95, что соизмеримо с составами пород Чиэресского дайкового пояса. Таким образом, высказывается предположение о том, что исследуемые базиты Хаптасыннахской площади следует относить к объектам Чиэресского дайкового комплекса.

Таблица 1

Химический состав пород Хаптасыннахской площади и Чиэресского дайкового пояса, вес. %.

	Хаптасыннахская площадь						Чиэресский дайковый пояс	
Порода	Долерит	Щелочные долериты					Долерит	Монцонит
№ обр.	ПР-24-30/1	ПР-12-28	ПР-13-28/2	ПР-14-28/1	ПР-17-30	ПР-24-3/2	-	-
№ п.п.*	1	2	3	4	5	6	15	16
SiO_2	48,26	54,28	53,81	54,85	51,05	54,93	47,21	53,94
TiO_2	2,65	2,50	2,43	2,46	2,71	2,56	2,20	1,44
Al_2O_3	12,69	13,24	13,11	13,34	12,41	12,80	15,09	16,22
Fe_2O_3	6,43	2,88	2,56	2,67	7,29	4,05	5,51	5,12
FeO	8,91	9,70	9,69	9,98	7,68	8,47	8,08	5,57
MnO	0,14	0,12	0,12	0,20	0,16	0,12	0,20	0,09
MgO	5,46	2,98	2,96	2,58	4,08	2,74	6,69	4,42
CaO	7,77	6,23	6,18	6,90	7,75	6,03	6,62	1,67
Na_2O	3,37	2,78	2,62	2,71	2,73	2,70	2,78	4,98
K_2O	0,94	3,17	3,07	2,95	1,06	3,08	2,32	2,54
H_2O-	0,52	0,26	0,17	0,16	0,53	0,28	-	-
H_2O^+	2,06	0,34	0,96	0,26	2,08	0,43	-	-
PPP	0,93	0,00	0,71	0,00	0,00	0,56	3,08	3,31
P_2O_5	0,26	1,10	1,09	1,10	0,44	1,01	0,44	0,56
CO_2	0,10	0,14	0,00	0,00	0,25	0,08	-	-
S	0,18	0,11	0,14	0,09	0,19	0,11	-	-
F	0,13	0,23	0,15	0,24	0,14	0,18	-	-
SUM	100,24	99,69	99,54	100,23	99,97	99,77	100,22	99,86
POPR	0,06	0,10	0,06	0,10	0,06	0,08	-	-

*Примечание: 1 – габбро-долерит; 2, 3 – трахидолерит; 4 – порфировый трахидолерит; 5 – щелочное габбро; 6 – трахиандезит (монцонит); 7, 8 – средние химические составы пород Чиэресского дайкового пояса по [1].

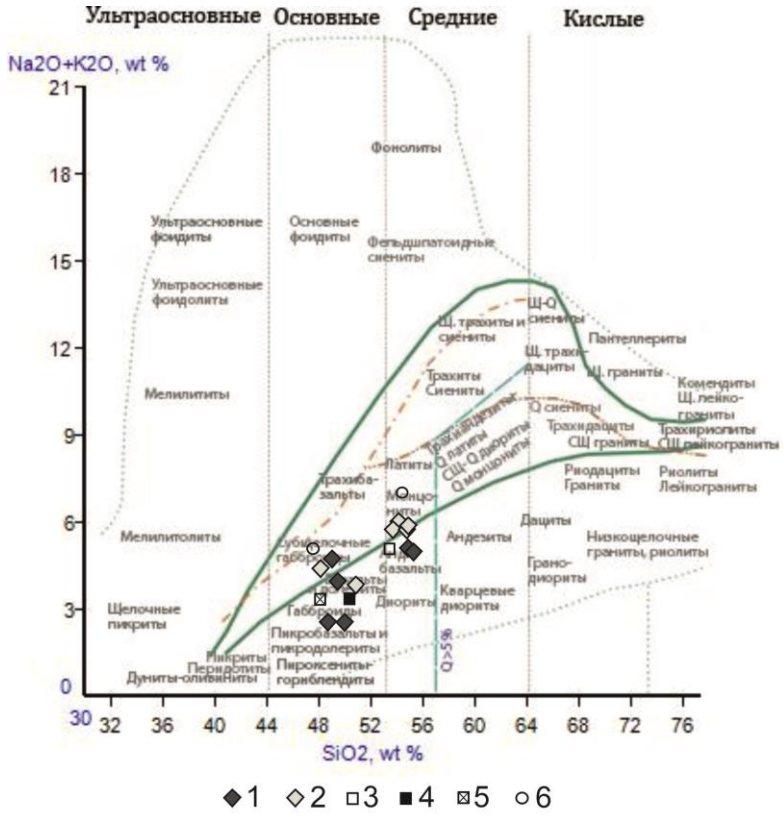


Рисунок. Классификационная диаграмма магматических горных пород [2].
1 - базиты Куонамской площади; 2 - базиты Хаптасыннахской площади. Средние составы рифейских базитов южной части Анабарского массива [5]: 3 – раннерифеские толеит-базиты; 4 – среднерифейские толеит-базиты раннебилляхского времени; 5 - среднерифейские толеит-базиты позднебилляхского времени. 6 - средние составы долеритов и монцонитов Чиэресского дайкового пояса [1].

Породы Куонамской площади представлены долеритами и габбро-долеритами. Долериты Куонамской площади отобраны из даек субширотной ориентировки. Породы имеют среднезернистую офитовую структуру. Породообразующими минералами являются плагиоклаз (лабрадор An_{51-62}, местами основность изменяется до андезина An_{41-46}), клинопироксен авгит-пижонитового состава, магнетит и иногда ортопироксен, кварц и калиевый полевой шпат. Габбро-долериты, отобранные из одной дайки, имеют офитовую структуру и более крупную зернистость. Клинопироксен авгит-пижонитового состава. Весь мезостазис раскристаллизован в хлорит, кварц, местами актинолит. Плагиоклаз представлен лабрадором (An_{52-59}) с изменением состава до олигоклаза и андезина. Практически весь плагиоклаз и калиевый полевой шпат замещен карбонатно-глинистым агрегатом. Магнетит выделен в скелетные формы по меланократовой части породы, а также образует миндалевидные обособления. Что отражается в повышении щелочности и железистости габбро-долеритов. Породы Куонамской площади выполнены магматическим расплавом толеит-базальтового состава (Таблица 2). Количество окиси кремния варьирует в пределах 48,85-55,39, сумма щелочей от 2,47 до 5,04. Сравнивая химические составы пород с разновозрастными рифейскими базитами южного склона Анабарского массива по [3,5], можно предположить, что два образца (№ 69287/2 и 69288/2) относятся к раннерифейским толеит-базитам (Таблица 2, Рисунок.). Что касается остальных образцов, то тут сложно отнести их к какой-либо конкретной возрастной группе. Для этого нужны детальные геологические исследования, анализ характера дифференциации в конкретном интрузиве и возрастные датировки. На данном этапе исследования можно говорить о том, что образцы, отобранные из даек, входящих в Кенгединский дайковый пояс, сформировались в интервале времени от 1550 млн. лет до 1250 млн. лет.

Таблица 2

Химические составы базитов Куонамской площади и разновозрастных рифейских базитов южной части Анабарского массива.

	Породы Куонамской площади						Разновозрастные рифейские базиты южной части Анабарского массива		
Порода	Долериты, габбро-долерит						Толеит-базиты		
№ обр.	69287/2	69288/2	57254/1	98213/1	69293/1	69297/2			
№ п.п.*	1	2	3	4	5	6	7	8	9
SiO_2	55,01	55,39	48,85	50,12	49,16	49,51	53,26	50,42	48,24
TiO_2	1,61	1,40	1,97	2,16	2,09	2,12	2,27	2,62	3,10
Al_2O_3	13,57	14,17	13,29	14,00	14,71	14,53	14,19	13,35	12,74
Fe_2O_3	3,68	3,23	6,83	4,51	3,77	4,39	4,73	4,61	5,57
FeO	8,41	8,14	8,68	8,59	10,31	9,62	8,23	9,75	9,97
MnO	0,12	0,12	0,17	0,12	0,15	0,14	0,16	0,21	0,18
MgO	3,58	3,43	5,48	6,32	4,56	4,90	4,08	5,78	6,02
CaO	7,04	7,53	9,19	9,87	8,69	8,60	6,37	9,08	9,16
Na_2O	2,53	2,58	1,66	1,87	1,67	1,72	3,10	2,66	2,74
K_2O	2,51	2,36	0,81	0,64	2,97	2,17	1,94	0,78	0,68
H_2O-	0,29	0,24	0,82	0,43	0,24	0,35	-	-	-
H_2O^+	0,53	0,58	0,94	0,91	1,37	1,64	-	-	-
PPP	0,36	0,27	0,70	0,30	0,00	0,00	1,28	0,62	0,99
P_2O_5	0,43	0,36	0,20	0,24	0,22	0,20	0,37	0,25	0,25
CO_2	0,39	0,14	0,58	0,31	0,38	0,40	-	-	-
S	0,08	0,02	0,78	0,04	0,10	0,06	-	-	-
F	0,12	0,09	0,08	0,09	0,08	0,07	-	-	-
SUM	99,93	99,77	100,16	100,05	100,20	100,03	99,98	100,13	99,64
POPR	0,05	0,04	0,03	0,04	0,03	0,03	-	-	-

*Примечание: 1-4 – долериты; 5,6 – измененные габбро-долериты; 7-9 – средние химические составы разновозрастных рифейскихтолеит-базитов южного склона Анабарского массива по (Б.В. Олейников, М.С. Мащак, А.Г. Копылова, 1983): 7 – раннерифейские толеит-базиты (n = 24); 8 - среднерифейские толеит-базиты раннебилляхского времени (n = 9); 9 - среднерифейские толеит-базиты позднебилляхского времени (n = 37).

Литература:

[1] Koroleva O.V., Okrugin A.V., Rikhvanov L.P. Complex dikes of the Anabar massif-indicators of rift processes // Geology and tectonics of platforms and orogenic areas of Northeast Asia, Yakutsk: YSC SB RAS, 1999, vol. 2, pp. 80-84 (in Russian).

[2] Igneous rocks (classification, nomenclature, petrography) / Gonshakova V.I. Moscow: Nauka, 1983, 768 pp (in Russian).

[3] Mashchak M.S. Riphean basites of the southern part of the Anabar massif. Dissertation for a candidate of geological and mineralogical sciences. Novosibirsk, 1977.

[4] Okrugin A.V. Dike belts of the Late Precambrian basites of the Anabar massif and the Aldan shield // Geology and tectonics of platforms and orogenic areas of Northeast Asia, Yakutsk: YSC SB RAS, 1999, vol. 2, pp. 89-93 (in Russian).

[5] Oleinikov B.V., Mashchak M.S., Kolodeznikov I.I., et. al., Petrology and geochemistry of Late Precambrian intrusive basites of the Siberian Platform // Novosibirsk: Nauka, 1983, 206 pp. (in Russian)

УДК 902.6:551.8

НОВЫЕ ДАННЫЕ О СТРОЕНИИ И ВОЗРАСТЕ НИЖНЕПАЛЕОЛИТИЧЕСКОЙ СТОЯНКИ ДИРИНГ (ЦЕНТРАЛЬНАЯ ЯКУТИЯ)

Алексей Галанин[1], Реджеп Курбанов[2], Василий Лыткин[1], Анжела Васильева[1], Григорий Шапошников[1]

1 Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, ул. Мерзлотная, 36, г. Якутск, 677010, Россия

2 Московский государственый университет им. М.В.Ломоносова, ГСП-1, Ленинские горы, 1, Москва, 119991, Россия

NEW DATA ON THE STRUCTURE AND AGE OF THE LOWER PALEOLITHIC DIRING SITE (CENTRAL YAKUTIA)

Alexey Galanin[1], Redgep Kurbanov[2], Vasiliy Lytkin[1], Angela Vasil'eva[1], Grigoriy Shaposhnikov[1]

1 Melnikov Permafrost Institute, 36 Merzlotnaya St., Yakutsk, 677010, Russia

2 Lomonosov Moscow State University, GSP-1, 1 Leninskie Gory, Moscow, 119991, Russia

Annotation. New OSL dates were obtained for the Diring Yuryakh archeological site. The cultural layer formation took place in the Middle Neopleistocene in the extremely cold and dry conditions of the ventifact desert of the samarovskii time (MIS 8). Deposits of the cultural layer were formed under conditions of intense vertical cryogenic convection within the seasonally thawed layer of 2-3 m depth. On the exposure surface the alluvial gravel has been impacted by temperature crushing and wind polishing.

1. Введение

Археологическая стоянка Диринг-Юрях (61°20′ с.ш., 128°48′ в.д.) была обнаружена в 1982 г. в 140 км к югу от г. Якутска в отложениях 105-120-метровой (тустахской) террасы правобережья р. Лены [1]. Рельеф участка весьма неровный, ступенчатый. В пределах 1 км от бровки берегового обрыва абсолютные отметки повышаются от 105 м до 165 м, формируя несколько полого наклонных (5-6°) террасовидных ступеней 105-120 м, 125-135 м и 140-165 м. На протяжении ряда лет участок детально исследован группой Ю.А. Мочанова [1]. Здесь было обнаружено множество обломков гальки и валунов, морфологически сходных с Олдувайской культурой Восточной Африки возрастом 2,5-1,8 млн. лет.

2. Методы исследований

В июне 2019 г. на стоянке Диринг Юрях авторами проведены дополнительные криостратиграфические исследования, включающие ОСЛ-датирование, геофизическое зондирование методами георадиолокации и электротомографии. Были установлены множественные древние криогенные деформации, существенно нарушающие стратификацию стоянки. В ходе интенсивной криотурбации происходило интенсивное дробление и выпучивание обломков на дневную поверхность на участках восходящей криогенной конвекции. На поверхности обломки подвергались интенсивной ветровой (эоловой) огранке и полировке. определения абсолютного возраста методом оптико-люминесцентного датирования. ОСЛ-датирование выполнено в лаборатории абсолютной геохронологии Охрусского университета (Дания).

3. Строение стоянки

В зачистке борта канавы 1 (согласно номенклатуре Ю.А. Мочанова [1]), ориентированной вниз по пологому склону вкрест бровки 120-метровой террасы, вскрыт следующий разрез (снизу-вверх) (Рисунок 1).

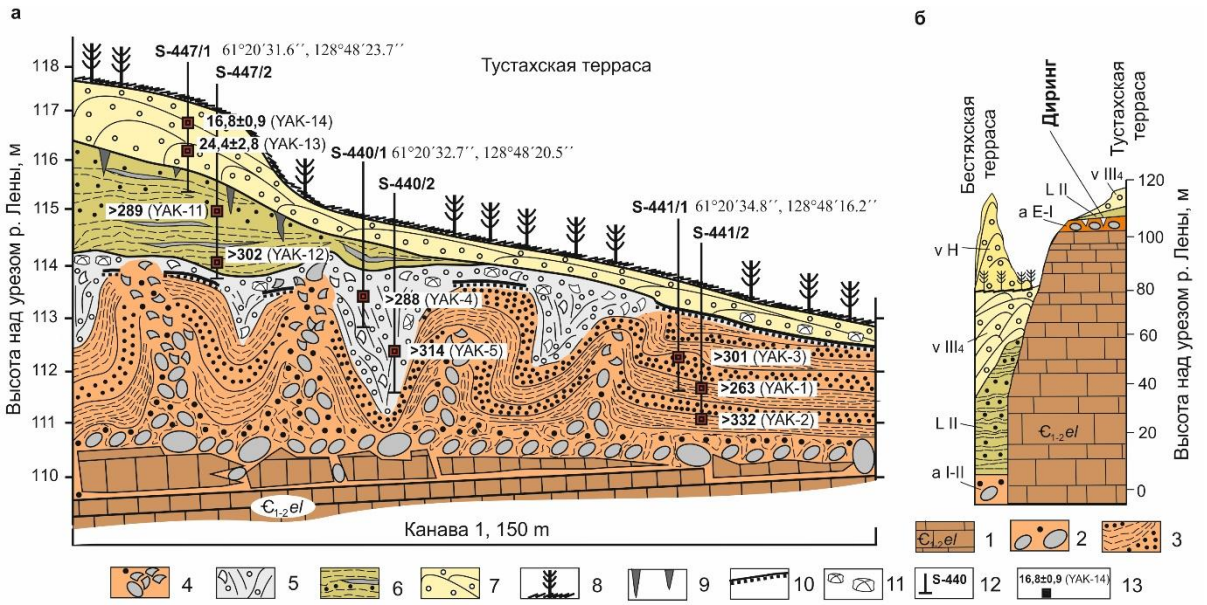


Рисунок 1. Разрез стоянки Диринг на участке канавы 1 (а) по номенклатуре Ю.А. Мочанова [1] и положение участка относительно бестяхской и тустахской террас р. Лены (б).

1 – кембрийские известняки; 2 – валунно-галечный аллювий (пакет 1); 3 - гравийно-песчано-суглинистый аллювий (пакет 2); 4 – участки восходящей древней криогенной конвекции (морозное кипение); 5 – участки нисходящей древней криогенной конвекции (песчаные жилы) (пакет 3); 6 – эоловые темно-серые тонкослоистые супеси и лессовидные суглинки (пакет 5); 7 – волнисто- и перекрестно-слоистые дюнные пески (пакет 6); 8 – современный растительный покров; 9 – песчано-гумусовые клинья и псевдоморфозы; 10 – поверхность дефляционного среза (пакет 4); 11- ветрогранники, артефакты; 12 – положение опорных расчисток в борту канавы 1; 13 – ОСЛ-датировки в тыс.л.н.

Пакет 1 сложен красноцветным (охристым) валунно-галечным аллювием видимой мощностью 0,2-0,5 м.

Пакет 2 сложен гравийно-песчано-суглинистым аллювием с горизонтальной, волнистой и косой слоистостью, мощностью 3,5-4 м. Слой 2 интенсивно криотурбирован в виде диапировых складок диаметром до 2 м.

Пакет 3 представлен вертикальными песчаными жилами шириной до 2 м, проникающими в слой 2 на глубину до 3 м. Жилы сложены хорошо сортированным светлым песком с вертикальной параллельной слоистостью, в некоторых из них присутствуют единичные вертикально ориентированные обломки кварцитов и ветрогранников размером до 10 см.

Пакет 4 представлен поверхностью дефляционного среза и сложен хорошо сортированным светлым песком с примесью вторичного кварцитового щебня, являющегося продуктом дробления валунно-галечного материала, сходного по составу со пакетом 1. Большинство обломков несут признаки интенсивной ветровой огранки, полировки и покрыты пустынным загаром.

Пакет 5 достигает мощности 3 м вблизи бровки террасы и выклинивается вниз по склону. Он образован тонким переслаиванием волнистых темно-серых супесей и лессовидных суглинков с тонкими прослоями гумуса. Наблюдаются признаки интенсивной криотурбации и солифлюкции. В кровле слоя местами присутствуют фрагменты палеопочв, мелкие песчано-гумусовые клинья и древесные угольки.

Пакет 6 достигает мощности до 2 м вблизи бровки террасы и выклинивается вниз по склону. Пакет сложен хорошо отсортированным светлым охристым эоловым песком с волнистой, местами перекрестной трансляционной слоистостью восходящей ряби. На отдельных участках наблюдаются мелкие криогенные деформации с нарушением седиментационной слоистости: микро-разрывы слойков, тонкие вертикальные клинья, заполненные светлым песком и др.

Особенности строения и фациального состава отложений стоянки Диринг-Юрях свидетельствуют, что отложения культурного слоя (пакет 4) формировались условиях интенсивной криогенной конвекции (морозного кипения) в пределах сезонно-талого слоя мощностью 2-3 м. В центрах конвективных криогенных ячеек валунно-галечный материал из пакетов 1 и 2 испытывал восходящее движение и достигал дневной поверхности, формируя каменные медальоны. В процессе криогенной конвекции, а также на дневной поверхности валунно-галечный материал пакета 1 подвергался сильному сжатию, температурному и морозному дроблению, криогенной сортировке и одновременной эоловой обработки продуктов выветривания с формированием корок загара. На краях конвективных ячеек формировались зоны поглощения, в которых поверхностный материал испытывал нисходящее движение. В разрезе канавы 1 (см. рисунок) зоны восходящей конвекции выражены в виде крупных криогенных диапиров и протрузий, а зоны поглощения имеют вид широких вертикальных песчаных жил (пакет 3). Необходимо отметить, что указанные выше процессы крайне широко распространены в пределах современной криолитозоны Якутии и Восточной Сибири.

4. Возраст стоянки

Культурный слой с предполагаемыми артефактами приурочен к поверхности мощного дефляционного среза (пакет 4). Первоначально артефактам был присвоен возраст 3,2-1,8 млн. лет на основании подстилающего их аллювия (пакеты 1 и 2), который, согласно действующей на то время стратиграфической схемы, считался плиоценовым. В 1990 гг. П.С. Минюк [2], М.Н. Алексеев и др. [3] на основании на основании обратной намагниченности пакетов 1 и 2 отнесли возраст аллювия к эпохе Матуяма 2,9 до 0,81 млн. лет. Также авторы пришли к выводу, что между аллювием и всеми вышележащими отложениями имел место большой перерыв в осадконакоплении [3,4 и др.]. Первые РТЛ-датировки пакетов 3 и 4 (2,9-1,8 млн. лет) [1], полученные в 1990 гг. В.К. Власовым и О.А. Куликовым (МГУ), подтвердили предполагаемый плиоценовый возраст стоянки, но вскоре были подвергнуты большой критике. В 1997 г. М.Р. Ватерс и др. [5] получили серию конечных ОСЛ-датировок: пакет 3 - 366±32 тыс. л.н., пакет 4 - 267±24 тыс. л.н., пакет 5 – 240-267 тыс. л.н., пакет 6 – 13-17 тыс. л.н. В том же году Д.Р. Хантли и М.Р. Ричардс [6] подвергли критике датировки М.Р. Ватерса. Авторы считают, что высокие дозы насыщения пакетов 3,4 и 5 свидетельствуют о том, что они не являются конечными, а лишь указывают на минимальный возраст отложений. В том же журнале М.Р. Ватерс с коллегами [7] согласились с мнением Д.Р. Хантли и М.Р. Ричардса.

Авторами настоящей статьи в 2019-2020 гг. получены 9 дополнительных ОСЛ-датировок из разреза канавы 1, из которых 7 оказалось предельными, а 2 конечными (Рисунок 1). Полученные датировки сходны с датировками М.Р. Ватерса.

5. Выводы

1. Криофациальный анализ отложений стоянки Диринг Юрях и комплексирование имеющихся данных свидетельствует о том, что формирование «культурного слоя» с ветрогранниками и артефактами (пакет 4) происходило в крайне холодных и сухих условиях каменистой (ветрогранниковой) пустыни, существовавшей около 360-330 тыс. л.н. на протяжении МИС 10. Климат той эпохи был значительно холоднее современного, что способствовало распространению в горных районах наиболее крупного в регионе тобольского оледенения. За пределами ледниковой (перигляциальной) зоны данному событию соответствует мощный дефляционный срез и формирование маркирующего горизонта ветрогранников, хорошо прослеженного в пределах высоких террас р. Лены от г. Олекминска до г. Жиганска [8].
2. Лежащий в основании разреза стоянки валунно-галечный аллювий (пакет 1) формировался в принципиально иную относительно более теплую и влажную климатическую эпоху. Аллювий имеет обратную намагниченность [2] и, наиболее вероятно, относится к эпохе Матуяма, верхняя граница которой имеет возраст около 780 тыс. л.н. Это совершенно не противоречит предельному ОСЛ-возрасту аллювия (>350 тыс. л.н.).

3. Слагающие «культурный слой» (пакет 4) ветрогранники и артефакты петрографически и литологически идентичны подстилающему аллювию пакета 1, а широкое распространение в кровле аллювия криогенных диапиров свидетельствует, что «культурный» слой пакета 4 мог сформировался путем интенсивной вертикальной криогенной конвекции, выпучивания и вымораживания грубообломочного материала на лишенную растительности дневную поверхность. Здесь валуны и галька подвергались дополнительному температурному и морозному дроблению, интенсивной дефляции и ветровой полировке.

4. На протяжении последующих климатических эпох дефляционная поверхность и «культурный слой» были частично перекрыты слоем лессовидных (пакет 5) суглинков и супесей с многочисленными криотурбациями и псевдоморфозами, а затем маломощным слоем песчаных эоловых отложений (пакет 6). Первые на основании ОСЛ-датировок можно сопоставить с максимальными похолоданиями среднего неоплейстоцена (МИС 8 - МИС 6), проявившемся в интервале 300-230 тыс. л.н. В климатостратиграфическом отношении отложения пакета 5, вероятно, синхронны отложениям мавринской свиты, вскрывающихся в нижней части бестяхской 75-метровой террасы р. Лены. Конечные датировки 24-16 тыс. л.н. эоловых песков пакета 6 указывает на их формирование во время последнего криохрона (МИС 2), а состав отложений соответствует дьолкуминской свите, слагающей значительные объемы 25-метровой кердемской и 75-метровой бестяхской террас р. Лены.

6. Благодарности

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21-17-00054, https://rscf.ru/project/21-17-00054/.

7. Литература:

[1] Mochanov Yu.A., Fedoseeva S.A. The site of the ancient Paleolithic Diring-Yuryakh in Yakutia and the problem of the extratropical ancestral home of mankind // News of the laboratory of ancient technologies, 2007, no. 5, pp. 75-99.

[2] Minyuk P.S. Magnetostratigraphy of the Cenozoic of northeastern Russia. Magadan, SVKNII FEB RAS, 2004, 198 pp. (In Russian).

[3] Alekseev M.N., Grinenko O.V., Kamaletdinov V.A. et al. Neogene and Quaternary deposits of the Lower Aldan depression and the middle Lena (Central Yakutia). Geological excursion guide. Yakutsk, YSC SO AN SSSR, 1990, 42 pp. (in Russian).

[4] Ranov V.A., Zeitlin S.M. Deering Paleolithic Site Through the Eyes of a Geologist and Archaeologist. Bulletin of the Commission of Quaternary Research of AS USSR, 1991, no. 60, pp. 79-87. (In Russian).

[5] Waters M.R., Forman S.L., Pierson J.M. Diring Yuriakh: A Lower Paleolithic Site in Central Siberia. Science, 1997, vol. 275, pp. 1281-1284.

[6] Huntley D.J., Richards M.P. The age of Diring Yuriakh archaeological site. Ancient TL, 1997, vol. 15, no. 2-3, pp. 48-49.

[7] Waters M.R., Forman S.L., Pierson J.M. The age of Diring Yuriakh archaeological site: replay to Hantley and Richards. Ancient TL, 1997, vol. 15, no. 2-3, pp. 50-51.

[8] Kolpakov V.V. Aeolian Quaternary deposits in the Lena area of Yakutia. Bulletin of the Commission of Quaternary Research of AS USSR, 1983, no. 52, pp. 123-131. (In Russian)

[9] Galanin A.A., Pavlova M.R. Late quaternary dune formations (D'olkuminskaya series) in Central Yakutia (Part 2). Kriosfera Zemli [Earth's Cryosphere], 2019, vol. XXIII, no 1, pp. 3-16.

[10] Galanin A.A. Late quaternary sand covers of Central Yakutia (Eastern Siberia): structure, facies composition and paleo-environment significance. Kriosfera Zemli [Earth's Cryosphere], 2021, vol. XXV, no. 1, pp. 3–34.

УДК 551.4: 551.8

ФАЦИАЛЬНЫЙ СОСТАВ И ИСТОРИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПОКРОВНЫХ ЭОЛОВЫХ ПЕСКОВ КРИОЛИТОЗОНЫ ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ

Алексей Галанин, Анжела Васильева, Ирина Климова,
Григорий Шапошников, Василий Лыткин
Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, ул. Мерзлотная, 36, г. Якутск, 677010, Россия

FACIAL COMPOSITION AND HISTORY OF FORMATION OF AEOLIAN SAND COVER IN CRYOLITOZONE OF EASTERN SIBERIA

Alexey Galanin, Angela Vasil'eva, Irina Klimova, Grigoriy Shaposhnikov, Vasiliy Lytkin
Melnikov Permafrost Institute, 36 Merzlotnaya St., Yakutsk, 677010, Russia

Annotation. The aeolian sand cover in Central Yakutia together with the loess-ice-rich cover (Yedoma Series) are two related granulometric and mineralogical derivatives, formed as a result of aeolian processing of Quaternary alluvium. Desertification episodes took place 22,0-14,0, 12,8-11,8, and 0,6-0,1 ka BP. A decrease in aeolian activity and vegetation of dune massifs by soil-vegetation cover occurred in the intervals of 14,0-13,0, 10,0-0,6 ka BP. The largest episode of desertification took place during the last global thermal minimum (LGM, MIS-2) and triggered to a sharp decline in the mammoth biome, the disappearance of the woolly mammoth and rhinoceros in Central Yakutia.

1. Введение

Позднечетвертичные песчаные покровы занимают значительную территорию в пределах криолитозоны Восточной и Западной Сибири. В Центральной Якутии (Рисунок 1) они именуются дьолкуминской свитой [1,2]. Песчаные покровы моделируют протяженные участки разновысотных террас р. Лены и ее притоков, на некоторых участках достигая мощности 80-100 м (Усть-Буотамское обнажение). В регионе также широко распространены современные дюнные массивы, именуемые тукуланами. Их общая площадь превышает 3 тыс. км^2 [4,5].

В отложениях дьолкуминской свиты распространены различные типы слоистости и слойчатости, таксономия и происхождение которых долго дискутировались. Особое значение имеют так называемые диагональная и гигантская наклонная слоистости, которые некоторые исследователи считают обычной аллювиальной косой слоистостью [6-8]. Другие авторы полагают, что формирование данных структур связано с необычными режимами поздненеоплейстоценовых водотоков и особыми фациями «перигляциального аллювия», современных аналогов которых не существует [8].

Результаты дополнительного изучения опорного обнажения Песчаная Гора, Кысыл-Сырское, Харыялах и других разрезов Центральной Якутии [3-5] свидетельствуют о субаэральном происхождении покровных песков дьолкуминской свиты в холодных и сухих обстановках финального неоплейстоцена. Большинство ее фациальных признаков характерны для современных и позднечетвертичных дюнных массивов, широко распространенных в холодных регионах Северной Америки, Европы, Западной Сибири.

2. Особенности минералогии

Минералогическое сходство дюнных (дьолкуминской свита), лессово-ледовых (едомная свита) и аллювиальных отложений в бассейне среднего течения р. Лены свидетельствует об общем источнике терригенного материала, которым являются позднемезозойские песчаники, слагающие верхний ярус чехла Сибирской платформы [5]. Характерными признаками дьолкумиской свиты является почти 3-кратное увеличение содержаний тяжелой фракции и магнетита до 3,1 % в сравнении с подстилающим аллювием бестяхской (1 %) и мавринской (1,1 %) свит, а также современными отложениями р. Лены [5]. Другим важным минералогическим

признаком является присутствие вторичных карбонатов и гидроокислов железа, формирующих специфические цементирующие пленки и прослои, именуемые калькретами [5].

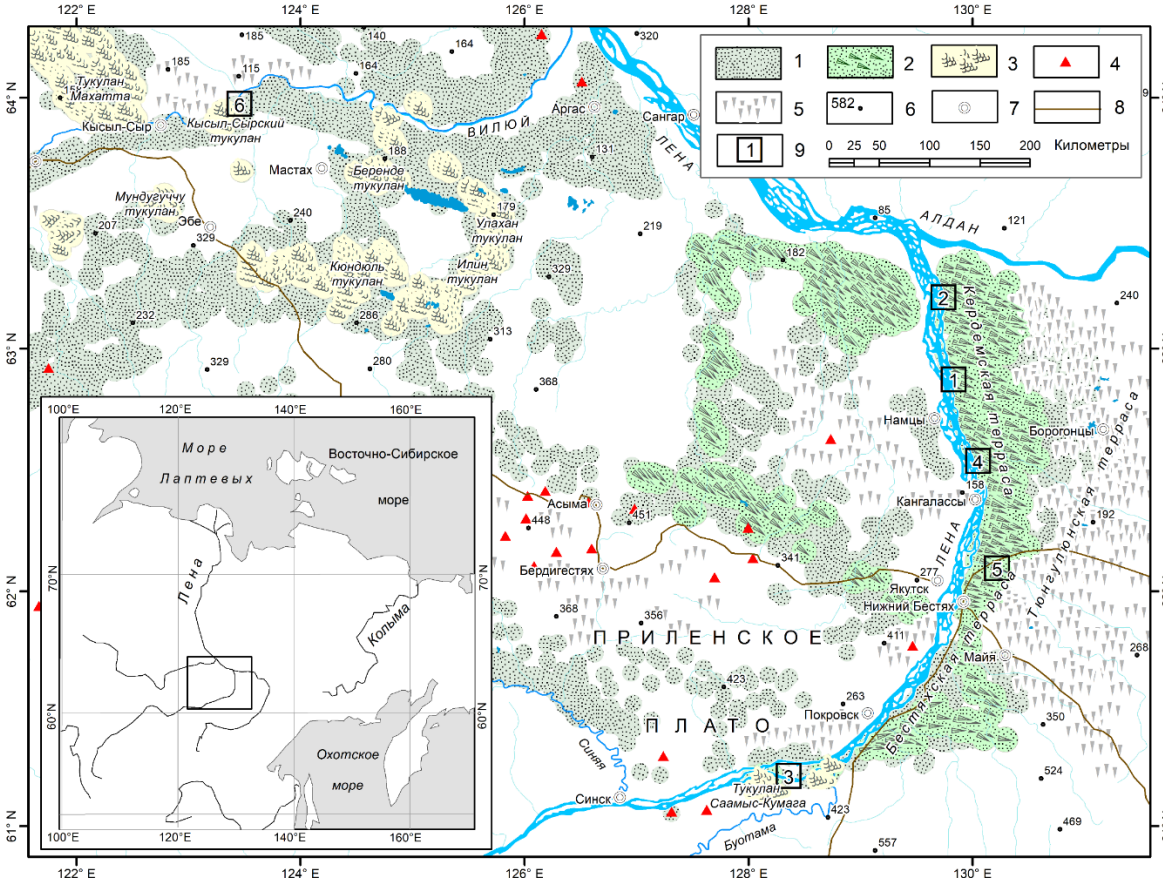


Рисунок 1. Распространение покровных песчаных отложений дьолкуминской свиты в Центральной Якутии.

1 – закрепленные песчаные покровы МИС 2; 2 – закрепленные U-образные и продольные дюны Позднего Дриаса; 3 – незакрепленные параболические дюны (тукуланы) позднего голоцена; 4 – скопления ветрогранников; 5 – аккумулятивные равнины и плато с лессово-ледовыми покровами МИС 3 – МИС 2; 6 – отметки высот; 7 – населенные пункты; 8 – автодороги; 9 – ключевые разрезы дьолкуминской свиты: 1 – Песчаная Гора; 2 – Харыялахский; 3 – Усть-Буотамский; 4 – Сулар-Мыран; 5 – Мегинский; 6 - Кысыл-Сырский.

3. Литология и гранулометрический состав

Особенности литологии дьолкуминской и едомной свит свидетельствуют, что они являются двумя различными гранулометрическими дериватами, возникшими в результате эоловой дифференциации единого источника – четвертичного аллювия бестяхской и мавринской свит [5]. Первая деривата (дюнные пески) состоит преимущественно из песчаных, а вторая (лессы) - из пылеватых фракций. Данный вывод подтверждает зональный характер залегания дюнных и лессовидных отложений по отношению к господствующему в регионе восточно-юго-восточному направлению ветрового переноса. Так, дюнные отложения дьолкуминской свиты, слагают преимущественно 18-25-метровую (кердемскую) и 45-75-метровую (бестяхскую) террасы р. Лены, в то время как основной ареал ледово-лессовых покровов едомной свиты смещен к востоку и приурочен к более высоким элементам рельефа Лено-Амгинского междуречья (тюнгулюнская, абалахская и маганская поверхности) (Рисунок 1).

Слоистость и слойчатость

Седиментационная структура отложений дьолкуминской свиты представлена широким набором специфических типов слоистости и слойчатости, некоторые из которых характерны исключительно для эоловых отложений [5]. К ним относятся трансляционная слоистость и

слойчатость восходящей ряби, перекрестная слоистость и слойчатость осыпания крутых подветренных склонов дюн (Рисунок 2).

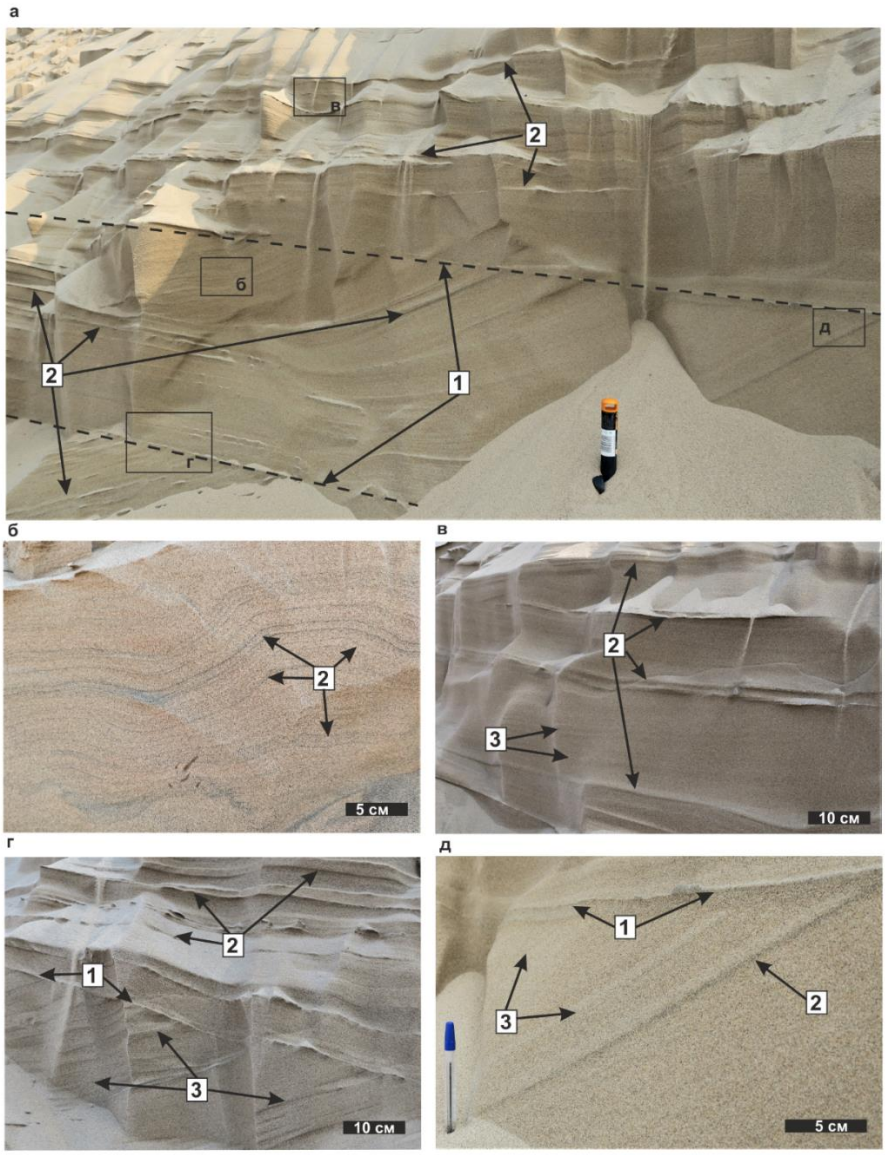


Рисунок 2. Перекрестная структура и трансляционная слойчатость восходящей ряби в дюнных отложениях дьолкуминской свиты (Усть-Буотамское обнажение 120-метровой террасы р. Лены, нижняя часть).

а – общий вид пакета с ярко выраженной перекрестной структурой и трансляционной слойчастостью восходящей ряби; б, в, г, д – увеличенные фрагменты отдельных серий с разными геометрическими характеристиками (углами наклона) слоистости и слойчатости. 1 – резкие дефляционные границы между песчаными сериями; 2 – трансляционные прослойки (псевдослоистость), сложенные зернами магнетита; 3 – элементарные слойки трансляционной слойчатости восходящей ряби. Фото А.А.Галанина, август 2020 г.

Формирование дьолкуминской свиты в холодных аридных условиях подчеркивается широким распространением в ее отложениях седиментационных структур сухого эолового осаждения, сингенетических полигональных песчаных клиньев. Вместе с тем, в составе ее отдельных пакетов в подошве и в кровле распространены адгезионные, нивейно-эоловые и денивационные структуры, формирующиеся в условиях сезонного снежного покрова и контрастного увлажнения.

Возраст и история формирования

Ревизия радиоуглеродных датировок [2-6] по всем опорным разрезам Центральной Якутии показывает, что основной объем дьолкуминской свиты в пределах 25-метровой (кердемской) и 75-метровой (бестяхской) террас р. Лены, а также 30-35-метровой террасы в нижнем течении р. Вилюй сформировался в интервале от 22 до 12 тыс. л.н. В интервале 22-17 тыс. л.н. (термический минимум МИС 2) на фоне катастрофического снижения количества осадков и речного стока в пределах днища долины Палео-Лены на участке от г. Покровска до устья р. Алдан сформировалась дефляционная котловина, частично закрепленная куртинной травянистой растительностью. Большая часть русловых и пойменных отложений была вынесена за ее пределы в юго-восточном направлении и отложена в пределах кердемской и бестяхской террас. В интервале 17-14 тыс. л.н. дефляция сменилась интенсивной эоловой аккумуляцией, в результате чего в пределах кердемской и бестяхской террас р. Лены сформировалась песчаная дюнная пустыня с островками тундрово-степной растительности. В интервале 14-13 тыс. л.н. в условиях смягчения климата (Беллинг-Аллередское потепление) происходило закрепление дюнного рельефа кердемской и бестяхской террас травянисто-кустарничковыми ксерофитными группировками и островками древесной растительности. В интервале 12.8-11.8 тыс. л.н. произошло резкое Поздне-Дриасовое опустынивание, сопровождавшееся распространением дюнных массивов в пределах кердемской и бестяхской террас р. Лены. Закрепление дюнного рельефа кердемской террасы растительностью происходило в интервале 11-8 тыс. л.н.

4. Благодарности

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21-17-00054, https://rscf.ru/project/21-17-00054/.

5. Литература:

[1] Kolpakov V.V. Aeolian Quaternary deposits in the Lena area of Yakutia. Bulletin of the Commission of Quaternary Research of AS USSR, 1983, no. 52, pp. 123-131. (In Russian).

[2] Kamaletdinov V.A., Minuk P.S. Structure and characteristics of sediments of the bestyakh terrace of the middle Lena River. Bulletin of the Commission of Quaternary Research of AS USSR, 1991, no. 60, pp. 68-78. (In Russian)

[3] Galanin A.A., Pavlova M.R., Klimova I.V. Late Quaternary dune formations (D'olkuminskaya Formation) of Central Yakutia (Part 1). Kriosfera Zemli [Earth's Cryosphere], 2018, vol. XXII, no. 6, pp. 3-15.

[4] Galanin A.A., Pavlova M.R. Late quaternary dune formations (D'olkuminskaya series) in Central Yakutia (Part 2). Kriosfera Zemli [Earth's Cryosphere], 2019, vol. XXIII, no 1, pp. 3-16.

[5] Galanin A.A. Late quaternary sand covers of Central Yakutia (Eastern Siberia): structure, facies composition and paleo-environment significance. Kriosfera Zemli [Earth's Cryosphere], 2021, vol. XXV, no. 1, pp. 3-34.

[6] Pravkin S. A., Bolshiyanov D. Yu., Pomortsev O. A. et al. Relief, structure and age of Quaternary sediments of the river valley. Lena in the Yakutsk bend. Bulletin of St. Petersburg University. Earth Sciences, 2018, no. 63 (2), pp. 209-229. (In Russian).

[7] Soloviev P. A. Cryolithozone of the northern part of the Lena-Amga interfluve. Moscow, USSR Academy of Sciences, 1959, 144 pp. (In Russian).

[8] Geocryology of USSR. Middle Siberia. Edited by E.D. Ershov. Moscow, Nedra, 1989, 414 pp. (In Russian).

УДК 552:550.4

НОВЫЕ ДАННЫЕ О ВОЗРАСТЕ КОНГИНСКОЙ ЗОНЫ ОМОЛОНСКОГО ТЕРРЕЙНА (СЕВЕРО-ВОСТОК АЗИИ)

Антон Глухов[1], Владимир Прийменко[1], Александр Котов[2],
Вячеслав Акинин[1], Екатерина Сальникова[2], Геннадий Ползуненков[1]
1 Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт им. Н.А. Шило ДВО РАН, ул. Портовая, 16, г. Магадан, 685000, Россия
2 Институт геологии и геохронологии докембрия РАН, Набережная Адмирала Макарова, 2, г. Санкт-Петербург, 199034, Россия

NEW DATA ABOUT AGE KONGINSKAYA ZONE OF THE OMOLON TERRANE (NORTH-EAST OF THE ASIA)

Anton Glukhov[1], Vladimir Priymenko[1], Alexander Kotov[2],
Vyacheslav Akinin[1], Ekaterina Salnikova[2], Gennadiy Polzunenkov[1]
1 North-East Interdisciplinary Scientific and Research Institute FEB RAS, 16 Portovaya St., Magadan, 685000, Russia
2 Institute of Precambrian Geology and Geochronology RAS, 2 Makarova Emb., St.-Petersburg, 199034, Russia

Annotation. The highlighted new data about age of magmatic association of Konginskaya zone of Omolon the terrane (North-East of the Asia). That compatible of age of magmatic rocks of late stage OCVB.

1. Введение

В тыловой зоне Охотско-Чукотского вулканогенного пояса (ОЧВП) известен ряд далеко вдающихся в континент и вытянутых ортогонально по отношению к поясу мезозойских магматических зон, наиболее крупные из которых - Омсукчанский прогиб, Конкодоно-Наяханская, Конгинская и Нембондинская [4]. Возраст слагающих их комплексов и тектоническая природа до конца не ясны. Дискордантность главному простиранию ОЧВП и значительное удаление от реконструируемой альб-кампанской палеозоны субдукции накладывает существенные ограничения на простую надсубдукционную природу таких зон. Ряд исследователей называет их зонами тектоно-магматической активизации [3], однако ни возрастных, ни геохимических обоснований для этого не приводится. Нами изучена одна из наиболее крупных таких поперечных зон – Конгинская. Она приурочена к Омолонскому кратонному террейну, рассекая его практически пополам, и протягивается вглубь последнего более чем на 150 км. Образующие Конгинскую зону магматические ассоциации представлены андезитами и дацитами конгинской свиты и гранитоидами викторинского комплекса. Они не охарактеризованы современными изотопными определениями возраста; имеется лишь некоторое количество K-Ar датировок с разбросом от 118 до 59 млн лет [2]. С магматическими комплексами Конгинской зоны ассоциируют многочисленные эпитермальные Au-Ag, Ag-Pb-Zn и порфировые рудопроявления.

2. Основной раздел статьи

Нами впервые получены U-Pb (TIMS) оценки возраста цирконов из пород викторинского и конгинского комплексов. В пределах Захаренковского рудного поля U-Pb возраст циркона из монцодиоритов викторинского комплекса составил 87±3 млн. лет. Развитые по монцодиоритам и в непосредственной близости от них пирит-серицит-кварцевые метасоматиты, вмещают жилы с Au-Ag-Pb минерализацией. Ar-Ar возраст серицита из метасоматитов составил 88±1 млн. лет (возраст плато, СКВО = 1,5, p = 0,2; 97,7 % выделенного ^{39}Ar на шести ступенях плато). На Au-Ag-Pb рудопроявлении Джелты датированы субвулканические трахиандезидациты конгинского

комплекса, вмещающие жилы и прожилки карбонат-кварцевого состава с Au-Ag-Pb минерализацией. U-Pb возраст циркона составил 86±0,3 млн. лет.

3. Выводы

Химический состав и спектры РЗЭ изученных трахиандезитов аналогичны породам ОЧВП, для которого на гистограмме U-Pb возрастов пик магматизма с возрастом около 87 млн лет наиболее проявлен [1]. Полученные даты для Конгинского ряда, отвечают так называемому «второму импульсу магматической активности ОЧВП» [5] с геохронологическим интервалом 94–82 млн лет. Это дает нам основание утверждать, что Конгинская зона является составной частью Пенжинского сектора ОЧВП.

4. Литература:

[1] Akinin V.V., Miller E.L. Evolution of Calc-Alcaline magmas of the Okhotsk-Chukotka volcanic belt // Petrology, 2011, vol. 19. no 3, pp. 237–277.

[2] Goryachev, N.A., Egorov, V.N., Savva, N.E., Kuznetsov, V.M., Fomina, M.I. and Rozhkov, P.Yu. Geology and metallogeny of phanerozoic complexes of the southern Omolon Massif. Dal'nauka, Vladivostok, 2017, 312 pp. (in Russian).

[3] Kuznetsov V.M. All-scale structures of tectonic and magmatic activization of Verkhoyano-Chukotka folded province // Bullet. of the North-East Science Center, 2006, no 2, pp. 2–12 (In Russian).

[4] Lychagin, P. P., Dylevskiy, E. F. and Likman, V. B. Magmatism of the Omolon sredinny massif // Izv. Akad. Nauk SSSR, 1990, Ser. Geol., no. 7, pp. 17–29 (in Russian).

[5] Tikhomirov P. L. Cretaceous continent-margin magmatizm of North-East of the Asia and questions of origin of largeous Phanerozoic province of the felsic volcanism. Geos, Moscow, 2020, 376 pp. (In Russian).

УДК 551.762(571.56)

МАГМАТИЧЕСКИЕ И ФЛОРИСТИЧЕСКИЕ СОБЫТИЯ В МЕЗОЗОЕ ВИЛЮЙСКОЙ СИНЕКЛИЗЫ И ПРЕДВЕРХОЯНСКОМ ПРОГИБЕ

Виталий Гриненко, Валерий Баранов
Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, пр. Ленина, 39, г. Якутск, 677000, Россия

IGNEOUS AND FLORAL EVENTS IN THE MESOZOIC VILYUISKAYA SYNCLINE AND PREDVERHOYANSKOM TROUGH

Vitaliy Grinenko, Valeryi Baranov
Diamond and Precious Metal Geology Institute SB RAS, 39 Lenin Ave., Yakutsk, 677000, Russia

Annotation. It was found that in the territory of the Vilyui syneclise and in the Predverkhoyansk foredeep, volcanism was developed in the Mesozoic not only at the border of the Permian and Triassic. It is also found at the boundaries of the Late Jurassic and Early Cretaceous and Early and Late Cretaceous. The events that manifested themselves in the Mesozoic in the Vilyui syneclise and the Predverkhoyansk foredeep are diagnosed as magmatic and floristic and correspond to the formation of the Lena, Surguev, Sitten and Lungkha complexes. The research is focused on improving the stratified formations of the magmatic part of the regional stratigraphic schemes of the Mesozoic and on clarifying their structural-facies and magmatic zoning within the negative geostructures of the platform, which are the most promising for the formation of highly liquid and strategically significant minerals.
Key words: Vilyui syneclise, Predverkhoyansk trough, Mesozoic, volcanism, complexes.

1. Введение

Территория восточного обрамления Сибирской платформы и западной периферии Верхояно-Колымской складчатой области в течение всего позднего палеозоя и мезозоя (345,3–104,0 млн. лет) характеризуется слабым проявлением вулканизма и, нередко, полным его отсутствием на значительных площадях [1]. В ходе регионального обобщения, выполненного по изученной территории северо-востока Евразии, удалось в верхнем палеозое и мезозое выделить осадочные мегациклы: визейско-пермский, индско-норийский, рэтско-волжский и берриас-альбский. Границы этих мегациклов, ранжируют верхоянский терригенный комплекс на подкомплексы: сибирский, янский, лаптевский и китчанский. Ранжирование основывается на однотипных комплексах биоты, цикличности седиментогенеза, этапности магматизма и стадий тектоно-магматической активизации [2].

2. Магматические и флористические события

В Вилюйской синеклизе и в Предверхоянском краевом прогибе в мезозое вулканизм был установлен на границах: перми и триаса (смена визейско-пермского осадочного мегацикла на индско-норийский), поздней юры и раннего мела (смена рэтско-волжского на берриас-альбский осадочный мегациклы) и, раннего и позднего мела (смена берриас-альбского на альб-маастрихсткий осадочный мегациклы). Здесь мезозойские магматические и флористические события приурочены к стадиям тектоно-магматической активизации и становлению ленского, сургуевского, ситтенского и лунгхинского комплексов.

Ленский комплекс долеритовый ($\beta T_1 l$) приурочен к индско-норийскому осадочному мегациклу [2]. Он развит в Ленской и Алданской ветвях прогиба, а также в Орулганском, Куранахском и Бараинском антиклинориях Западного Верхоянья [3]. На листе Q-52–Верхоянские цепи Госгеолкарты-1000/3 РФ в междуречье Немингде–Бегиджан и Балбук-Ханнах-Байбыкан комплекс прослеживается по трещинным интрузиям диабазов. В разрезе Джарджанской опорной скважины среди индских пестроцветных осадков нижнего триаса располагается 20-метровый

пласт туфа (глубина 1276 м), подстилаемый базальтами и долеритами. Установленная по данным бурения структура разреза позволяет утверждать, что на приплатформенном борту Предверхоянского краевого прогиба нижнетриасовые вулканогенно-осадочные образования, развитые на Джарджанском выступе, генетически связаны с дайками основного состава Западного Верхоянья, формирование которых в осевой зоне мегантиклинория происходило в индское время, в период между 251,0-249,7 млн. лет [4]. Подобные условия формирования вулканогенных образований выявлены в ходе разведки бурением нефтегазовых структур на Неджелинской площади, где установлен мощный 11-метровый пласт туфов, переходящий вверх по разрезу в туффит и залегающий в 300 м ниже кровли усть-кельтерской свиты (скважина Р-3, глубина 2960-2971 м). Вулканогенные породы нижней части усть-кельтерской свиты распространены и на Средне-Вилюйской площади, где маломощные прослои и линзы (0,02-0,5 м) аквагенных туфов, туффитов, туфопесчаников и туфоалевролитов установлены в разрезах скважин Р-3, Р-4, Р-5 (глубина 2936 м), Р-7 и также прослежены на Толонской площади, скважина Р-1 (глубина 3071,5 м). Нижнетриасовые отложения мономской свиты (оленекский ярус) характеризуются значительным распространением аквагенных вулканогенных осадочных пород, установленных в разрезе на Средне-Вилюйской (скважины Р-2, Р-3, Р-4, Р-5, Р-6, Р-7, Р-8 (глубина 2527 м, включения разложенного оранжевого вулканического стекла); Р-10, Р-11, Р-15), Толонской (скв. Р-1) площадям бурения и Бахынайской опорной скважине. В цементе некоторых туфов и туффитов имеются включения разложенного оранжевого вулканического стекла (Средне-Вилюйская скв. Р-8, глубина 2527-2534 м). Иногда туфы содержат многочисленную гальку туфов и туффита с кальцитовым цементом (Неджелинская скважина Р-6, глубина 2496).

На Китчанском поднятии (междуречье Кобыча-Сиемидье), комплекс развит в пределах вулканогенно-осадочной усть-кельтерской свиты [3]. Здесь подошвенная пачка (20-30 м) свиты состоит из прослоев туфов, туффитов, туфопесчаников, туфоалевролитов, пластовых (трещинный тип) залежей диабазов и, нередко, нацело представлена покровом базальтовых порфиритов (8-30 м). На западном крыле Верхоянского мегантиклинория, а также в Вилюйской синеклизе и Предверхоянском краевом прогибе, комплекс маркирует подошву янского подкомплекса верхоянского терригенного комплекса [5]. В его подошве развит раннетриасовый комплекс макрофауны с обломками аммоноидей (предположительно офицератиты неудовлетворительной сохранности), двустворками *Anodontopora* sp., брахиоподами *Lingula borealis* Bittn. и конхостраками *Wetlugites pronus* Novoj. Среди макроостатков флоры отмечены раннетриасовые *Cladophlebis* aff. *pygmea* Neub., *Araucarites tomiensis* Neub. [6]. Излияние лав установлено как в пределах погребенных поднятий и выступов фундамента на востоке платформы [4], так и вдоль протяженных тектонических разрывов, трассирующих осевую зону мегантиклинория [3]. В Западном Верхоянье, в ходе проведения ГГС-200 и ГГС-50 в 1970-1979 гг. на Эчийской и Ньюэктаминской площадях зафиксирован и вулканизм центрального типа. Так, в 6 км выше устья руч. Мухалкан, что в бассейне р. Ньюэктамэ, изучены туфы основного состава мощностью 30 м [7].

Сургуевский комплекс дацитовый ($\zeta J_3 sr$) выделяется впервые. Название – по первому слову Сургуевый камень (впервые название применил академик И.Г. Гмелин в 1744 году, обозначив, тем самым, пластовый выход каменных горючих углей вблизи коренного скального утеса. В настоящее время здесь, на Кангаласском мысу, в открытой разработке, находится угольный разрез Кангаласского месторождения). Комплекс состоит из позднеюрских (150,8-145,5 млн. лет) вулканогенно-осадочных образований. Структуру разреза составляют лавы дацитов серые, черные и туфы красные, красно-бурые литовитрокристаллокластические. Туфы маркированы остатками флоры волжского яруса: *Equisetites* cf. *acmophyllus* Kiritch., *Equisetites* sp., *Cladophlebis aldanensis* Vachr., *Raphaelia* cf. *kirinae* Kirich., фрагменты *Nilsonia, Czekanowskia, Cycadales, Coniferales*, а также терригенные осадки позднеюрской бергеинской свиты континентального генезиса [8]. Развит в Вилюйской синеклизе. В пределах Большого Якутска приурочен к границе верхней юры-нижнего мела и характеризует завершение рэтско-волжского осадочного мегацикла [2]. Мощность комплекса, включая бергеинскую свиту (340-370 м) и толщу

вулканогенно-осадочных пород (мощность 3,5 м), изменчива и составляет с учетом бурения от 343,5 до 373,5 м.

Ситтенский комплекс дацитовый ($\zeta K_1 st$) выделяется впервые. Название дано по реке Ситте, левому притоку р. Лены (Якутия). Он развит в Вилюйской синеклизе и приурочен к берриас-альбскому осадочному мегациклу [2]. Комплекс распространен в Вилюйской синеклизе (обнажение на правом берегу р. Ситте, в 1,5 км выше устья р. Синньигес-Юрях) и представлен вулканогенно-осадочными образованиями – туфами, туффитами голубовато-серыми, серыми, зеленовато-серыми и грязно-зелеными горизонтальнослоистыми, тонко-, и среднеплитчатыми, литовитрокристаллокластическими (пласты наклонены на запад под углом 3°) [9]. Видимая мощностью толщи 10 м. Подошва вулканогенно-осадочных пород не обнажена, скрыта урезом воды р. Ситте. Кровля вулканитов перекрыта кайнозойскими отложениями. Данные бурения позволяет утверждать, что вулканогенные образования формировались, в период 112,0-104 млн. лет синхронно с раннемеловой хатырыкской свитой – рыхлые косослоистые пески светлых тонов с маломощными прослоями и линзами уплотненных, иногда сидеритизированных песчаников, глин и глинистых алевролитов, с редкими пропластками угля. Видимая мощность свиты 195-200 м. На р. Ситте, вдоль её правого борта, вулканогенно-осадочные образования прослежены на 200 м в обрыве высотой 15 м. Здесь, туфы и туффиты маркированы листовой флорой: *Equisetites burejensis* Krycht., *Onychiopsis elongate* (Geyl) Yok., *Adiantites rhomboidalis* Kirich., *Denstaedtia* sp., *Coniopteridium cretadroides* Kirich., *Phillythes* sp., *Dicotylophillum* sp. [10]. Кроме р. Ситте, известны и другие, разобщенные пункты находок туфогенных пород с флорой. Приведенный комплекс соответствует, скорее всего, верхней части хатырыкской свиты. Вулканиты хатырыкского уровня также прослеживаются в пределах Вилюйской синеклизы в основании погребенного разреза в Намской опорной скважине на левом борту р. Лена, где установлен 4-х метровый пласт гранодиоритовых туфов; на р. Вилюй, в скважинах 7 и 9 (Вилюйский колонковый профиль); на р. Чебыда, в 3-х км выше устья р. Хонгуллаах [11].

Лунгхинский комплекс дацитовый ($\zeta K_2 lh$) [12] развит в Вилюйской синеклизе и приурочен к альб-маастрихстскому осадочному мегациклу [2]. В комплекс с вулканогенно-осадочными образованиями, сформированными в период 93,5-86,6 млн. лет. и представленными лавовыми покровами дацитов серых, темно-серых до черных, туфами серыми, темно-серыми, бурыми и грязно-бурыми входит и чиримыйская свита (200-500 м) континентального генезиса. Спорово-пыльцевой комплекс чиримыйской свиты коррелируется с верхней частью аграфеновского фитогоризонта и характеризует ландшафты аллювиальной равнины с умеренно озерно-болотными условиями аккамуляции. Тафофлора аграфеновского горизонта прослежена по разрезам от западного борта Вилюйской синеклизы до Зея-Буреинской впадины включительно [13].

3. Выводы

События, проявившиеся в мезозое в Вилюйской синеклизе и Предверхоянском краевом прогибе диагностируются как магматические и флористические и соответствуют становлению ленского, сургуевского, ситтенского и лунгхинского комплексов.

4. Благодарости

Работа выполнена по государственному заданию ИГАБМ СО РАН и профинансирована Минобрнауки России.

5. Литература:

[1] Budnikov I.V., Grinenko V.S., Klets A.G. The Verkhoyansk fold belt is a key region for solving the main problems of the stratigraphy of the Upper Paleozoic of Siberia // Otechestvennaya Geologiya. 1994, no. 8. pp. 42–46.

[2] Baranov V.V., Grinenko V.S. Co-evolution of the cyclicality of sedimentogenesis, stages of magmatism and stages of tectonic-magmatic activation in the Middle Paleozoic-Mesozoic of northeastern Eurasia // Geological Bulletin of Yakutia. Materials on geology and minerals of the

Republic of Sakha (Yakutia), No. 1 (17), 2018-2019. Yakutsk: Publishing house of the Ministry of Industry and Geology of the Republic of Sakha (Yakutia), 2020. pp. 123–138.

[3] Grinenko V.S., Truschelev A.M., Smetannikova L.I., Kropachev A.P., Shcherbakov O.I. Geological map. Q-52 (Verkhoyansk chans). Verkhoyansk-Kolyma series // State geological map of the Russian Federation at a scale of 1: 1,000,000 (third generation). SPb.: Saint-Petersburg kartfabrika VSEGEI, 200.

[4] Grinenko V.S., Rotman A.Ya., Truschelev A.M. Verkhoyansk type of the section of the Dzhardzhan uplift: a new representation on the paleogeography of the Permian and Triassic in the transition zone "Siberian platform - mobile framing" // Upper Paleozoic of Russia: stratigraphy and facies analysis. II All-Russian Scientific Conference. Scientific materials. Kazan: Kazan State University Publishing House, 2009. pp. 178–180.

[5] Grinenko V.S., Baranov V.V. Precambrian and Phanerozoic black shales of the eastern part of the Siberian platform and folded framing: geology, promising minerageny // Geodynamic evolution of the lithosphere of the Central Asian mobile belt (from ocean to continent): Proceedings of the scientific meeting, October 20-23, 2020. 18. Irkutsk: Institute of the Earth's Crust SB RAS, 2020. pp. 82–84.

[6] Dagis AS, Arkhipov Yu.V., Bychkov Yu.M. Stratigraphy of the Triassic system of Northeast Asia. Moscow: Nauka, 1979, 245 pp.

[7] Andrianova V.A., Andrianov V.N. Some new data on volcanism at the turn of the Permian and Triassic periods in the area of the Verkhoyansk geosyncline // Materials on geology and mineral resources of the Yakut ASSR. Issue XVI (North-Eastern Yakutia). Yakutsk: Yakutsk book publishing house, 1970, pp. 137-145.

[8] Grinenko V.S., Kostin A.V., Kirichkova A.I., Zhelonkina M.S. New data on the boundary Upper Jurassic – Lower Cretaceous formations in the east of the Siberian platform // Bulletin of the Voronezh State University. Series: geology, 2018, no. 2, pp. 48–55.

[9] Goldbreicht I.G., Todorovskaya V.N. About the discovery of tuffaceous rocks in the Lower Cretaceous sediments of the river basin. Site (left tributary of the Lena River) // Geology and oil and gas content of Western Yakutia: Proceedings of VNIGRI. Issue 249. L: Nedra, 1966, pp. 182-185.

[10] Kirichkova A.I., Pavlov V.V. New Cretaceous Ferns of the North of Siberia // Paleontological Journal, 1965, no. 2, pp. 118-121.

[11] Grinenko V.S., Kamaletdinov V.A., Slastenov Yu.L., Shcherbakov O.I. Geological map of Yakutia on a scale of 1: 500,000. Central Yakutsk block. Sheets: R-51-A, B; R-51-B, G; R-52-A, B; R-52-B, G / Ed. block: V.S. Grinenko, State Unitary Enterprise "YaPSE". SPb.: Saint-Petersburg kartfabrika VSEGEI, 2000.

[12] Kostin A.V., Grinenko V.S., Oleinikov O.B., Zhelonkina M.S., Krivoshapkin I.I., Vasilyeva A.E. The first data on the manifestation of Upper Cretaceous volcanism in the transition zone "Siberian platform - Verkhoyansk-Kolyma folded region" // Science and Education, 2015, no. 1, pp. 30–36.

[13] Grinenko V.S., Zharikova L.P. Upper Cretaceous of the Vilyui syneclise: state of knowledge, problems of dissection and correlation (east of the Siberian platform) // Cretaceous system of Russia and the near abroad: problems of stratigraphy and paleogeography. Materials of the Fourth All-Russian Meeting, Novosibirsk, September 19-23, 2008 Novosibirsk: Publishing House of the SB RAS, 2008, pp. 64–66.

УДК 551.24(571.56)

ТАЙМЫРО-САХАЛИНСКАЯ СТРУКТУРНО-ФАЦИАЛЬНАЯ ЗОНА: КОНЦЕНТРИРОВАННЫЕ УГЛЕВОДОРОДЫ В ПОДНАДВИГОВЫХ РЕЗЕРВУАРАХ, БЛАГОРОДНЫЕ МЕТАЛЛЫ В ЧЕРНЫХ СЛАНЦАХ (ВОСТОЧНО-СИБИРСКИЙ БОРЕАЛЬНЫЙ ОСАДОЧНЫЙ БАССЕЙН)

Виталий Гриненко, Валерий Баранов
Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, пр. Ленина, 39, г. Якутск, 677000, Россия

TAIMYR-SAKHALIN STRUCTURAL-FACIES ZONE: CONCENTRATED HYDROCARBONS IN SUB-THRUST RESERVOIRS, PRECIOUS METALS IN BLACK SHALES (EAST SIBERIAN BOREAL SEDIMENTARY BASIN)

Vitaliy Grinenko, Valeryi Baranov
Diamond and Precious Metal Geology Institute SB RAS, 39 Lenin Ave., Yakutsk, 677000, Russia

Annotation. The results of the latest research on the study of the fine layered structure of basin rock prisms have shown that in the Taimyr-Sakhalin structural-facies zone, the process of concentration of useful components is carried out in two ways: a) in the form of progressive migration of traditional rows of ore formations; b) in the form of direct diffusion of scattered metal from a fluidized deep substrate (metallized carbonaceous matter, metal-bearing bitumen and oil shale, metallaftides) into the sedimentary rocks of the ore-containing frame. Along with the massive areal basin accumulation of free marine organic matter (bituminous clays, sapropel silts, siliceous-carbonate-bituminous gels), it was accompanied by the stage of initial basaltoid volcanism in a fractured-discrete phriatic form with the release of a large amount of free silicic acid, flints), phosphorus (phtanites, nodular phosphorites), alumina (montmorillonite and kaolin clays), and ferrous iron (pyritized pelites and psammites). The foregoing allows us to confirm the legitimacy of the identification within the transition zone "Siberian platform - Verkhoyansk-Kolyma folded region" of the new black-shale ore-bearing North Asian megaprovince, the main metallogenic potential of which is associated with black shale strata and subthrust reservoirs within the Taimyr-Sakhalin structural-facies zone.
Key words: Boreal sedimentary basin, sub-thrust reservoirs, black shale strata, prospective minerageny.

1. Введение

Имеющиеся материалы по геологическому строению крупных геоструктур востока Сибирской платформы позволяют на этапе регионального обобщения провести качественное расчленение, уточнить порайонную и межрайонную корреляцию, а также реконструировать условия формирования погребенных продуктивных горизонтов осадочного чехла в локальных краевых депрессиях, исследованных на закрытых территориях картировочным и глубоким бурением. Известно, что площади соприкосновения платформы и крупных структурных единиц складчатых поясов в геологическом обиходе фигурируют как «зоны перехода» или как «зоны сочленения». Такие зоны стали привлекательными для инвесторов как «природные резервуары чехла», потенциально перспективные на обнаружение полезных ископаемых или включающие высоколиквидные их виды: алмазы, благородные металлы, концентрированные углеводороды, каустобиолиты, агроруды и др., которые приурочены к определенным стратиграфическим уровням и фациальным обстановкам. В складчатом обрамлении платформы, в пределах Таймыро-Сахалинской структурно-фациальной зоны, разновозрастные и разнофациальные отложения палеозоя и мезозоя как раз и являются тем перспективным объектом, который включает большую часть указанных выше видов полезных ископаемых. Поэтому, для оптимизации поисков минерального сырья в отложениях, продуктивные горизонты которых

перекрывают своим субстратом такие локальные «зоны», необходимо постоянно совершенствовать стратиграфическую основу и уточнять палеогеографические реконструкции рассматриваемого интервала.

2. Таймыро-Сахалинская структурно-фациальная зона

В настоящее время зоны сочленения стабильных геоструктур материкового ранга с подвижными планетарными поясами являются объектами пристального внимания специалистов как выдержанные по условиям локализации концентраторы уникально крупных скоплений ценных полезных компонентов. Таймыро-Сахалинская структурно-фациальная зона Восточно-Сибирского бореального осадочного бассейна, охватывающая восточную часть Сибирской платформы и Верхояно- Колымскую складчатую область, не является исключением [1]. Результаты новейших исследований по изучению тонкой слоистой структуры бассейновых породных призм показали, что в таких зонах сочленения сам процесс концентрации полезных компонентов осуществляется двумя способами: а) в виде поступательной миграции традиционных рядов рудных формаций; б) в форме прямой диффузии рассеянного металла из флюидизированного глубинного субстрата (металлизованное углеродистое вещество, металлоносные битумы и горючие сланцы, металлонафтиды) в осадочные породы рудовмещающей рамы. Каналом доставки флюидизированного материала обычно служат особые радиальные фидерные структуры большой вертикальной протяженности (десятки и сотни км), контрастно выраженные в аномалиях физических полей (гравитационное, магнитное, геоэлектрическое и др.). При функционировании фидерного канала, второй способ нередко суммировался с первым, что приводило к преобразованию рядовых объектов традиционной металлогении в уникально крупные и оригинальные по сочетанию видов оруденения объекты – гиганты нелинейной металлогении. К числу последних относятся концентрированные углеводороды (нефть, газ, конденсат) поднадвиговых резервуаров типа провинций Скалистых гор и Аппалачей (США). Из литературных источников следует, что из резервуаров этих супербассейнов в начавшемся столетии будет добыта основная доля (до 70 % и более) извлекаемых мировых запасов углеводородов, включая и такие экзотические формы их накопления, как залежи газогидратов на океаническом шельфе.

Увязка масштаба ожидаемого металлогенического потенциала с такими массовыми геологическими явлениями как магматизм, метаморфизм и метасоматоз, характер тектонических дислокаций, а также с образовавшимися рядами осадочных формаций является общепринятым для зоны перехода «Сибирская платформа – Верхояно- Колымская складчатая область». Здесь процесс накопления черных сланцев и их насыщение полезной нагрузкой был диффиринцированным по геологическим и минерагеническим эпохам (раннепротерозойская; рифейская; вендская; кембрийская; ордовикско-эйфельская; живетско-каменноугольная; каменноугольно-пермская; триасовая; юрская; раннемеловая; позднемеловая) и в пространстве [2]. В частности, процесс формирования черных сланцев достаточно хорошо изучен в трех тектонических трогах как на востоке платформы, так и в складчатой области (от древних эпох к молодым) – Лено-Оленекском, Староручьёвском и Адыча-Тарынском. Мощность осадков в упомянутых структурах достигает 800-2000 м. Своим заполнением троги маркируют продольные осевые линии максимального тангенциального растяжения и выражены соизмеримыми полосовыми минимумами силы тяжести коренного ложа Восточно-Сибирского мелководного бореального осадочного бассейна. Вместе взятые они отражают поступательную миграцию с запада на восток участков максимального осадконакопления и интенсивного литостатического прогибания ложа мелководного палеобассейна. Наряду с массовым ареальным бассейновым накоплением свободного морского органического вещества: битуминозные глины, сапропелевые илы, кремнисто-карбонатно-битуминозные гели, ему сопутствовала стадия инициального базальтоидного вулканизма в трещинно-дискретной фриатической форме с высвобождением большого количества свободной кремнекислоты (окремненные известняки и аргиллиты, цветные кремни), фосфора (фтаниты, желваковые фосфориты), глинозема (монтмориллонитовые и каолиновые глины) и закисного железа (пиритизированные пелиты и псаммиты) [3,4].

Система
Отдел
Ярус
Регрессия
Трансгрессия
100 80 60 40 20 0 20 40 60 80 100
песчанитость
глинистость
Продуктивные горизонты
Мегациклы осадочные
Комплекс
Подкомплекс
Серия
Эпохи минерагенические
Возраст (млн.лет)
Меловая
Верхний
Нижний
Маастрихт
Кампан
Сантон
Коньяк
Турон
Сеноман
Альб
Апт
Баррем
Готерив
Валанжин
Берриас
Юрская
Верхний
Средний
Нижний
Волга
Киммеридж
Оксфорд
Келловей
Бат
Байос
Аален
Тоар
Плинсбах
Синемюр
Геттанг
Триасовая
Верхний
Сред.
Ниж.
Рэт
Норий
Карний
Ладин
Анизий
Оленек
Инд
Пермская
Приуральский
Биар.
Верх.
Уфимский
Кунгур
Артин
Сакмар
Ассель
Казанский
Уржум
Северодв.
Вятка
Каменноугольная
Верх.
Сред.
Нижний
Гжель
Кассимов.
Московск.
Башкирск..
Серпухов.
Визе
Турне
Девонск.
Верх.
Ср.
Фамен
Фран
Живет
Альб-маастрихский
Берриас-альбский
Рэтско-волжский
Индско-норийский
Визейско-пермский
Живетско-турнейский
Гиперборейский
Градыгский
Китчанский
Лаптевский
Янский
Сибирский
Вилюйская
Сангарская
Чечумская
Китчанская
Дябдинская
Усть-кельтерск.+ белянская
Терехтяхская
Эчийская
Туманринская
Деленджинская
Дулгалахская
Позднемеловая
Раннемеловая
Юрская
Триасовая
Каменноугольно-пермская
Живетско-каменноугольная
65.0
86.6
104.0
145.5
203.6
251.0
345.3
4
3
2
1
39
38
37
36
35
34
33
32
31
30
29
28
27
26
25
24
23
22
21
20
19
18
17
16
15
14
13
В Е Р Х О Я Н С К И Й

(Продолжение рис. 1)

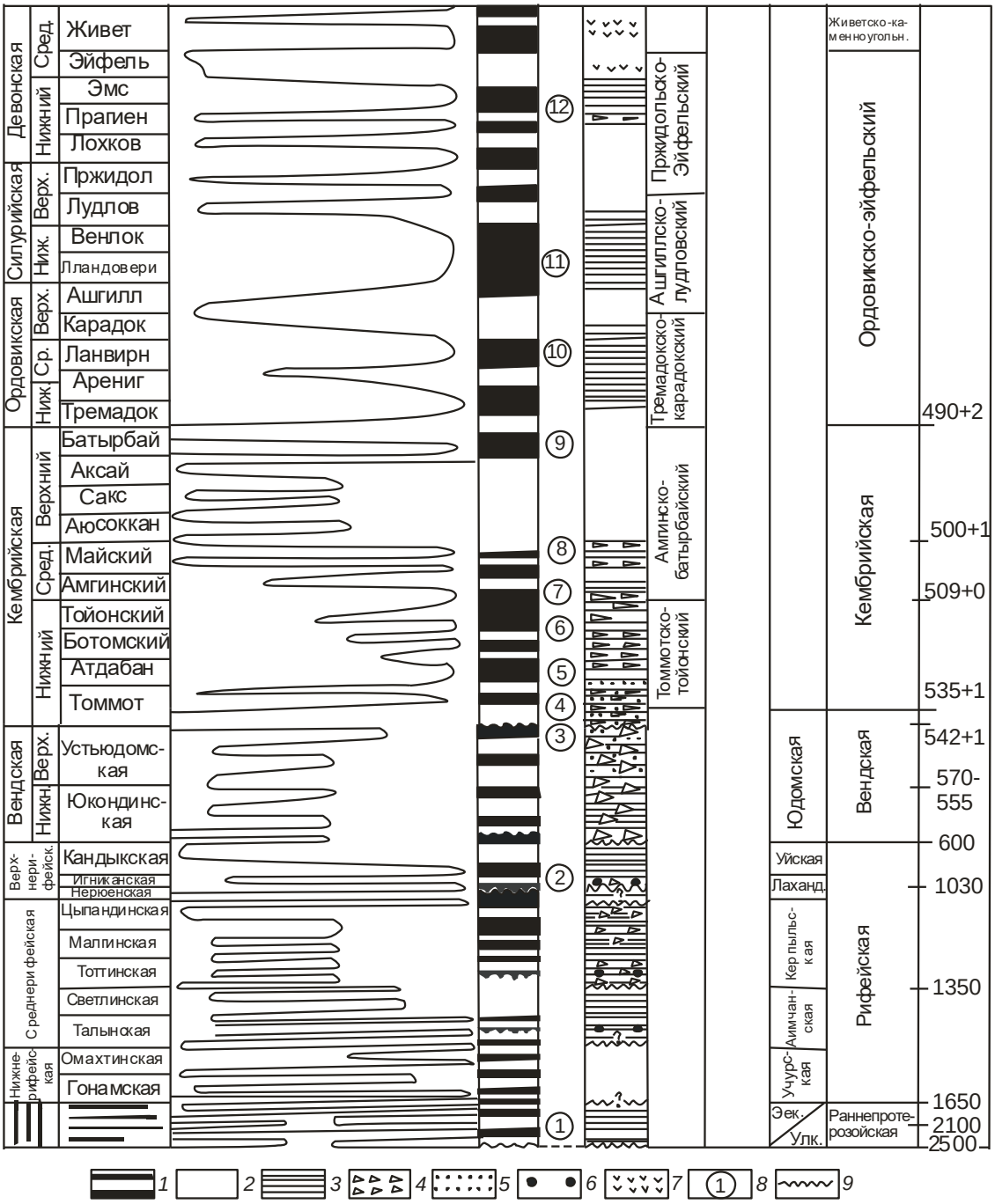


Рисунок 1. Литолого-стратиграфическая модель черносланцевой рудоносной Северо-Азиатской мегапровинции.

Продуктивные горизонты (1-7): 1 – глинистые; 2 – песчанистые; 3 – черносланцевые; 4 – битуминозные; 5 – глауконитовые; 6 – каолинитовых кор выветривания; 7 – вулканогенно-осадочные. 8 – аббревиатура продуктивных горизонтов (в кружках): 1– сагынахтахский; 2 – арымасский; 3 – туркутский; 4 – пестроцветный; 5 – еланский; 6 – синский; 7 – иниканский; 8 – усть-майский; 9 – инаньинский; 10 – эльгенчанский; 11 – упорский; 12 – нижненеличенский; 13 – адамский; 14 – крапивинский; 15 – щегловский; 16 – магарский; 17 – имтанджинский; 18 – раннесолончанский; 19 – раннекыгылтасский; 20 – позднекыгылтасский; 21 – хорокытский; 22 – раннеэчийский; 23 – раннетумаринский; 24 – раннеделенджинский; 25 – раннедулгалахский; 26 – хальпирский; 27 – осипайский; 29 – кыбыттыгасский; 30 – левинский; 31 – китербютский; 32 – лайдинский; 33 – леонтьевский; 34 – васюганский; 35 – чонокский; 36 – раннебуолкалахский; 37 – позднебуолкалахский; 38 – хатырыкский; 39 – линденский. 9 – стратиграфический перерыв. Аббревиатура магматических комплексов (1-4, на рисунке в квадратах): 1 – ленский; 2 – сургуевский; 3 – ситтенский; 4 – лунгхинский.

К примеру, начало формирования к востоку от платформы на дорифейском основании Староручьевского трога отвечает турнейско-визейскому этапу.
Выстилает днище трога одноименная стратифицированная рудоносная серия черных сланцев: высокоуглеродистые (Сорг. = 1,2-1,5 %) черные пиритизированные алевролиты и аргиллиты. Она специализирована на золото (0,15-0,5 г/т). Перекрывающая её рудоносная антовчанская серия (серые зернистые песчаники и алевролиты) характеризуется повышенным содержанием серебра. Обоим сериям сопутствует вкрапленная и рассеянная минерализация Cu, Pb, Zn, Vj, Bi. Столь разнообразный состав рудоносного заполнения (в т.ч. прожилково-вкрапленный тип благородных металлов) объясняется тем, что в кристаллическом фундаменте Староручьевского трога, по геофизическим данным, находится одинакового с ним простирания Билякчанско-Омолойский раннепротерозойский вулкано-плутонический пояс, специализированный на благородные, цветные и редкие металлы. Изложенное выше подтверждает правомерность выделения в пределах зоны перехода «Сибирская платформа – Верхояно-Колымская складчатая область» новой черносланцевой рудоносной Северо-Азиатской мегапровинци [2, Рисунок 1], основные поднадвговые резервуары которой располагаются в пределах Таймыро-Сахалинской структурно-фациальной зоны.

3. Выводы

Актуализация геологического строения, в т.ч., анализ формирования частных разрезов карбона, перми, триаса, юры и мела в пределах континентальной части Таймыро-Сахалинской структурно-фациальной зоны, выявило изменения литологического состава, мощности и полноты разреза вкрест простирания основных элементов геоструктур, что позволило уточнить существующее представление о палеогеографии палеозойского и мезозойского интервалов как на востоке платформы, так и в складчатом обрамлении. Следует отметить, что рассматриваемые осадочные толщи. хоть и характеризуются разным генезисом и составом, имеют общую историю своего формирования, что позволяет рассматривать их развитие в едином контексте и продуктивно проводить перспективную стадию общих поисков полезных ископаемых в пределах всего Восточно-Сибирского бореального осадочного бассейна.

4. Благодарности

Работа выполнена по государственному заданию ИГАБМ СО РАН и профинансирована Минобрнауки России.

5. Литература:

[1] Baranov V.V., Grinenko V.S. Co-evolution of the cyclicality of sedimentogenesis, stages of magmatism and stages of tectonic-magmatic activation in the Middle Paleozoic-Mesozoic of Northeast Eurasia // Geological Bulletin of Yakutia. Materials on geology and mineral resources of the Republic of Sakha (Yakutia), No. 1 (17), 2018-2019. Yakutsk: Publishing house of the Ministry of Industry and Geology of the Republic of Sakha (Yakutia), 2020, pp. 123–138.

[2] Grinenko V.S., Baranov V.V. Precambrian and Phanerozoic black shales of the eastern part of the Siberian platform and folded framing: geology, prospective minerageny // Geodynamic evolution of the lithosphere of the Central Asian mobile belt (from ocean to continent). Materials of the XVIII All-Russian Scientific Meeting, October 20-23, 2020, Irkutsk, IZK SB RAS. Irkutsk: IZK SO RAN, 2020, pp. 82–84.

[3] Grinenko V.S., Kostin A.V., Kirichkova A.I., Zhelonkina M.S. New data on the boundary Upper Jurassic - Lower Cretaceous formations in the east of the Siberian platform // Bulletin of the Voronezh State University. Series: geology. 2018, no. 2, pp. 48–55.

[4] Afanasyev V.P., Pokhilenko N.P., Grinenko V.S., Kostin A.V., Malkovets V.G., Oleinikov O.B. On kimberlite magmatism of the southeastern flank of the Vilyui syneclise // Dokl. Earth Sciences, 2020, vol. 490, no. 2, pp. 1-5. eLibrary: 42579011; DOI: 10.31857 / S2686739720020036.

УДК 551.243(571.5)

ТЕКТОНИКА, СТРАТИГРАФИЯ И МАГМАТИЗМ ЮГО-ВОСТОЧНОГО ФЛАНГА ИНЬЯЛИ-ДЕБИНСКОГО СИНКЛИНОРИЯ

Николай Ермаков[1], Дмитрий Васильев[1], Андрей Прокопьев[1], Кирилл Рязанов[2], Евгений Петров[2]
1 Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, пр. Ленина, 39, г. Якутск, 677000, Россия
2 Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского, Средний пр., 74, г. Санкт-Петербург, 199106, Россия

TECTONICS, STRATIGRAPHY AND MAGMATIC ROCKS OF THE SOUTHEASTERN FLANK OF THE IN'YALI-DEBIN SYNCLINORIUM

Nikolay Ermakov[1], Dmitriy Vasiliev[1], Andrey Prokopiev[1], Kirill Ryazanov[2], Evgeniy Petrov[2]
1 Diamond and Precious Metal Geology Institute SB RAS, 39 Lenin Ave., Yakutsk, 677000, Russia
2 A.P. Karpinsky Russian Geological Research Institute,
74 Sredny Ave., Saint-Petersburg, 199106, Russia

Annotation. On the southeastern flank of the In'yali-Debin synclinorium, it was established that the Middle Jurassic deposits accumulated in shelf coastal-marine environments, alternating with deltaic sedimentation conditions. The clastic sources were located close to the sedimentation basin. Two deformation stages have been established. In the first stage, either at the end of the Middle Jurassic, or at the beginning of the Late Jurassic, a complex folding of the northwest strike was formed, associated with thrusting. Late Jurassic volcanic and volcanic-sedimentary rocks overlap the deformed Middle Jurassic with angular unconformity. In the second stage, sublatitudinal folding occurred, which led to gentle deformations of Late Jurassic volcanic rocks.

1. Введение

Район исследований расположен в междуречье р.р. Момонтай и Урультун (хр. Улахан-Чистай) на юго-восточном фланге Иньяли-Дебинского синклинория. Здесь вскрыты сильно деформированные терригенные отложения средней юры и несогласно перекрывающие их верхнеюрские вулканогенно-осадочные толщи. В изученном регионе обнаружено резкое угловое и азимутальное несогласие между интенсивно деформированными породами средней юры и верхнеюрскими вулканитами [1,2]. В конце средней юры или в начале поздней, в регионе произошла интенсивная складчатость, приведшая к формированию современного структурного облика исследуемого района. Проведенные нами исследования позволили уточнить литологические и седиментологические особенности и выяснить структурные взаимосвязи и взаимоотношения между среднеюрскими и верхнеюрскими толщами, а также описать складчатые и разрывные структуры.

2. Стратиграфия, литология, седиментология

Среднеюрские отложения в пределах изученного района представлены двумя подразделениями – нижней и средней толщами [1,2]. Нижняя толща представлена переслаиванием алевролитов, кремнистых аргиллитов, песчаников, гравелитов и конгломератов. Присутствуют структуры нагрузки на подошвах слоев, разномасштабная косая слоистость, следы взмучивания. Наблюдаются прослои гравелитов, мелкогалечных конгломератов и конглобрекчий мощностью до 25 м. Галька представлена плохо окатанными обломками черных кремнистых аргиллитов, реже кварцитов, магматических и карбонатных пород. В конгломератах присутствуют линзы кремнистых аргиллитов, обломки древесины и органического детрита. В конглобрекчиях наблюдаются слабо окатанные обломки размером до 10 см вмещающих пород, а в песчаниках присутствуют крупные блоки карбонатных пород размером до 0,5–1 м. Часто пласты песчаников выполняют подводные каналы субдолготного простирания. Наблюдаются штормовые

отложения – линзовидно-слоистые мелкозернистые песчаники и алевролиты, иногда с косой и градационной слоистостью. Были обнаружены обломки фауны иноцерам, флоры и органического детрита. Средняя толща представлена переслаиванием алевролитов, песчаников и кремнистых (?) сланцев. Породы косослоистые, наблюдаются структуры нагрузки, иногда темпеститы и органический детрит.

Верхнеюрские вулканиты слагают две свиты [2]. Нижняя сумунская свита с резким угловым и, вероятно, стратиграфическим несогласием перекрывает смятые в крупные складки обломочные отложения средней юры. В низах свиты залегают конгломерато-брекчии мощностью до 2–3 м, конгломераты и гравелиты, представленные слабо окатанными обломками подстилающих терригенных отложений и вулканитов. В целом, свита сложена риолитами, риодацитами, риолитовыми порфирами, реже кислыми туфами, лавобрекчиями кислого состава. Кроме того, в разрезе присутствуют туфобрекчии, прослои туфопесчаников и, вероятно, андезитов. Породы залегают субгоризонтально, или полого наклонены в северных и южных румбах.

Контакта залегающей выше серганьинской свиты с сумунской свитой не обнаружено. Серганьинская свита сложена дацитами и риодацитами, реже туфами кислого состава, конгломерато-брекчиями и туфопесчаниками. Характерна столбчатая отдельность, образующая шестигранные и пятигранные призмы толщиной до 0,5–1 м. Породы залегают субгоризонтально, или полго наклонены на север и юг. Общая мощность изученных верхнеюрских толщ около 900 м.

3. Складчатые и разрывные структуры

Складчатость пород средней юры имеет северо-западное простирание, конформное основным картируемым структурам этой части орогенного пояса. Наблюдаемые складки среднеюрских пород шириной от первых метров до сотен метров. Встречаются крупные опрокинутые складки юго-западной вергентности. В целом, складки сжатые, асимметричные, концентрические, цилиндрические и, реже, конические. Присутствуют изоклинальные формы. Оси складок ориентированы как субгоризонтально, так и относительно круто (до 20–25°). Непроникающий кливаж редок и ориентирован параллельно складчатости. С этими складками ассоциируют взбросы и надвиги северо-западного простирания, и северо-восточного и юго-западного падения. Сбросы северо-западного простирания проявлены реже. Левосторонние и правосторонние сдвиги часто имеют с надвиговую и сбросовую компоненту. Правосторонние сдвиги имеют преимущественно северо-западное и северо-восточное простирание, а левые сдвиги – восток-северо-восточную ориентировку. Интенсивно деформированные породы средней юры перекрываются с резким угловым несогласием полого залегающими верхнеюрскими вулканическими толщами. Породы верхней юры смяты в открытые пологие сладки шириной до нескольких километров субширотного простирания. Таким образом, разделенные угловым несогласием породы средней и верхней юры имеют различный структурный план, что свидетельствует о, как минимум, двух этапах деформаций, проявленных в этом районе [1].

4. Выводы

1) По комплексу литологических и седиментологических наблюдений установлено, что среднеюрские отложения накапливались в шельфовых прибрежно-морских обстановках, чередующихся с дельтовыми условиями осадконакопления. Источники кластики располагались близко от бассейна осадконакопления.

2) Определены два деформационных этапа. В первый этап либо в конце средней юры, либо в начале поздней юры образовалась сложная складчатость северо-западного простирания, ассоциированная с надвигообразованием. Позднеюрские вулканогенные и вулканогенно-осадочные породы перекрывают деформированную среднюю юру с угловым несогласием. Во второй этап произошла складчатость субширотного простирания, приведшая к пологим деформациям позднеюрских вулканитов.

5. Благодарности

Исследование выполнено по планам НИР ИГАБМ СО РАН (проект 0381-2019-0001) и ФГБУ «ВСЕГЕИ», при поддержке грантов РНФ № 20-17-00169 и РФФИ № 19-05-00945.

6. Литература:

[1] Vasiliev D., Prokopiev A., Ermakov N., Ryazanov K., Petrov E. Tectonic structures of the southeastern flank of the junction zone of the In'yali-Debin synclinorium and the Omulevka terrane // Geology and mineral resources of the North-East of Russia: materials of the X All-Russian scientific and practical conference with international participation, April 08-10, 2020 Yakutsk: NEFU Publishing House, 2020, pp. 30–22.

[2] Ermakov, N., Prokopiev, A., Vasiliev, D., Ryazanov, K., Petrov, E., Yudin, S. New date on stratigraphy and magmatic rocks of the southeastern flank of the In'yali-Debin sinclinorium // Geology and mineral resources of the North-East of Russia: materials of the X All-Russian scientific and practical conference with international participation, April 08-10, 2020 Yakutsk: NEFU Publishing House, 2020, pp. 51–55.

УДК 552.321.1 (571.56)

ПЕТРОГРАФИЯ МЕЗОЗОЙСКИХ ДАЕК ЭВОТИНСКОГО РУДНОГО РАЙОНА (ЮЖНАЯ ЯКУТИЯ, АЛДАНСКИЙ ЩИТ)

Алексей Иванов, Мичил Иванов, Анатолий Журавлев, Александр Кравченко,
Евгений Лоскутов, Владимир Тимофеев, Мария Желонкина
Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, пр. Ленина, 39, г. Якутск, 677000, Россия

PETROGRAPHY OF MESOZOIC DYKES OF EVOTINSKY ORE REGION (SOUTH YAKUTIA, ALDAN SHIELD)

Alexey Ivanov, Michil Ivanov, Anatoly Zhuravlev, Alexander Kravchenko, Evgeny Loskutov,
Vladimir Timofeev, Maria Zhelonkina
Diamond and Precious Metal Geology Institute SB RAS, 39 Lenin Ave., Yakutsk, 677000, Russia

Annotation. The manifestations of alkaline and moderately alkaline intrusive magmatism within the Evotinsky ore region are presented in the form of small intrusive massifs, such as Medvedevsky, Taezhny, Mikhailovsky, etc., and large Evotinsky magmatogenic. In the immediate vicinity of the listed massifs, dikes of syenite-porphyry, bostonite, and lamprophyre (vogesite) developed, tearing rocks of the Precambrian basement and strata of Vendian and Lower Cambrian terrigenous rocks. The overwhelming number of small bodies in the territory of the Evoti ore region is accounted for by the rocks of syenite-porphyry dikes. Bodies of bostonite and vogesite have been rarely found both in the immediate vicinity and in the Taezhny massif itself. As a result of crystal-optical studies, a group of syenite-porphyry dikes was identified for a similar material composition, and it was also suggested that bostonite and lamprophyre dikes can be considered as potentially ore-bearing formations or as one of the ore-controlling factors in this area.

1. Введение

Мезозойский щелочной и умеренно щелочной интрузивный магматизм в пределах Эвотинского рудного района представлен как небольшими массивами (Медведевский, Таежный, Михайловский и др.), так и крупным Эвотинским плутоном. Вблизи от этих массивов в период мезозойской тектоно-магматической активизации [1,2,3 и др.] были сформированы дайки сиенит-порфиров, бостонитов и вогезитов, прорывающие породы докембрийского фундамента, отложения венда и нижнего кембрия. На территории Эвотинского рудного района в основном распространены дайки сиенит-порфиров, но отмечаются единичные дайки вогезитов и бостонитов, которые локализованы как в непосредственной близости, так и в самом массиве Таежный. Основной целью работы являлось выяснение петрографического состава дайкового комплекса для последующего использования этих данных при определении роли дайкового магматизма в рудообразовании Эвотинского рудного района.

2. Петрография пород

Дайки Эвотинского рудного района – редкие тела мезозойских сиенит-порфиров, представленные на местности развалами или отдельными высыпками пород, сильно выветрелыми и зачастую интенсивно измененными. Структура пород порфировая, что обусловлено присутствием вкрапленников плагиоклаза, в меньшей степени амфибола и калиевого полевого шпата (КПШ). Минеральный состав породы: плагиоклаз – 50 %, КПШ – 15 %, амфибол – 15 %, апатит – 1 %, продукты вторичных изменений (серицит и т.д.) – 15 %, рудные минералы – 4 %. КПШ присутствует в двух генерациях. Первая генерация (Рисунок 1 а) представлена призматическими, неправильными порфировыми зернами, частично пелитизированными. КПШ второй генерации представлен неправильными мелкими зернами основной массы, подверженных вторичным изменениям. *Плагиоклаз* присутствует в виде

вкрапленников прямоугольной формы с полисинтетическим двойникованием (Рисунок 1 б). Наблюдается серицитизация как в ядерных, так и в периферийных частях кристаллов (Рисунок 1 б, в). Большая часть зерен плагиоклаза в виде лейст основной массы со следами течения или хаотично распределенного по породе и наряду с КПШ второй генерации составляет общую массу сиенит-порфиров. Все темноцветные минералы изменены и в большинстве случаев с трудом поддаются диагностике. Кристаллы *амфибола* (Рисунок 1 г, д, е) удлиненно призматической, а также неправильной форм желтовато-бурого и зеленоватого цвета имеют зональное строение. Редко присутствуют в виде моноскоплений и неравномерно распределены в породе; угол погасания до 45°. Отмечен баркевикит в виде простых зерен различного размера со светло-коричнево-желтыми цветами плеохроизма. По амфиболу интенсивно развит хлорит, карбонат или магнезит. *Anamum* представлен короткостолбчатыми удлинёнными зёрнами с прямым погасанием как в виде отдельных кристаллов в основной массе (Рисунок 1 е), так и в качестве включений в амфиболе. *Рудный минерал* округлой, кубической неправильной форм, иногда как самостоятельный агрегат развит по темноцветным минералам, практически нацело их замещая.

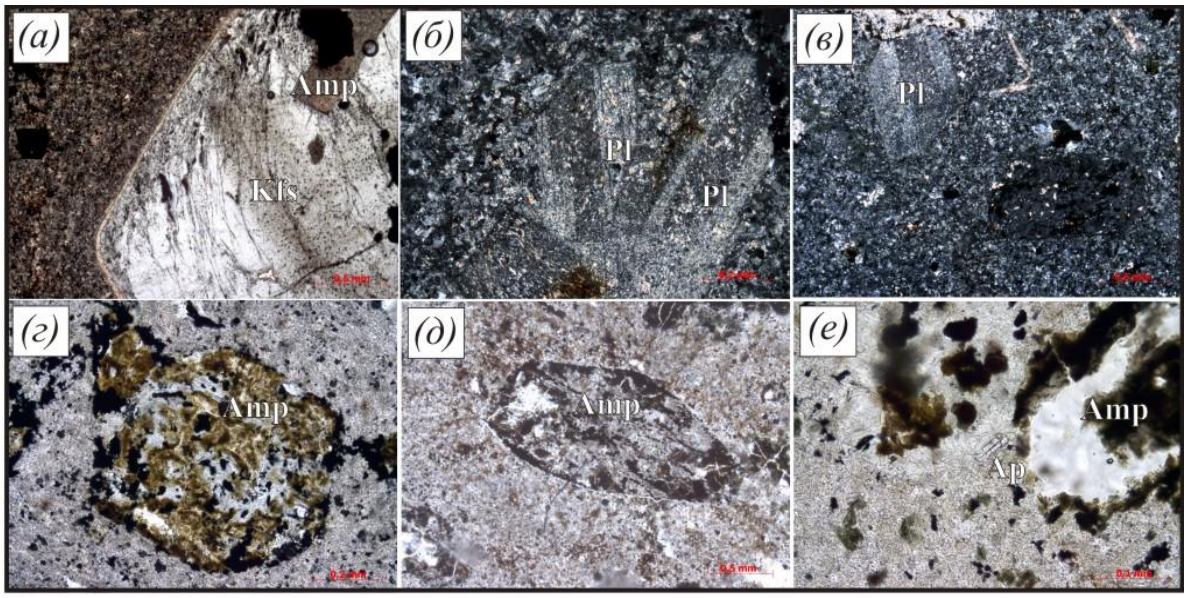


Рисунок 1. (а) – шлиф И20-5, КПШ (Kfs) первой генерации с включением роговой обманки (Amp), увел. 40, николи +; (б) – шлиф И20-6/4, серицитизированные вкрапленники плагиоклаза (Pl), увел. 40, николи +; (в) – шлиф И20-5, вкрапленники КПШ (Kfs) и плагиоклаза (Pl), увел. 10, николи +; (г) – шлиф И20-6/3, измененный амфибол (Amp), увел. 40, николи +; (д) – шлиф И20-5, измененный амфибол (Amp), увел. 40, николи –, (е) – шлиф И20-5, кристалл апатита (Ap) и измененный амфибол (Amp), увел. 40, николи –. Сокращения минералов [4]: Amp – амфибол; Ap – апатит; Bt – биотит; Cpx – пироксен; Kfs – калиевый полевой шпат; Pl – плагиоклаз.

Редкие дайки бостонитов встречены как в массиве Таежный, так и в непосредственной близости от него. Бостонитовая структура пород обусловлена лейстами КПШ и плагиоклаза с зазубренными краями, как ориентированных, так беспорядочно расположенных в породе. Текстура пород массивная. Состав бостонитов: КПШ – 55 %, плагиоклаз – 30 %, пироксен – 2 %, амфибол – 10 %, биотит – 3 %. В породе отмечаются мелкие ксенолиты вмещающих пород биотит-амфиболового состава (Рисунок 2 а) и пород второй фазы массива Таежный (Рисунок 2 б), что говорит о более позднем возрасте этой дайки по отношению к этому массиву. *КПШ* в виде лейст представлен неправильными прямоугольными вытянутыми кристаллами (Рисунок 2 а), а также в виде редких вкрапленников. Границы между вкрапленниками иногда отмечаются сутуровыми швами (характерная бостонитовая структура) (Рисунок 2 в). Кристаллы КПШ характеризуются простыми двойниками, частично или полностью пелитизированны; крайне редко имеют пертитовое строение (неправильной формы вытянутые в одном направлении вростки альбита в ортоклазе). Измененный вторичными процессами (серицитизация ядерных и

периферических частей) *плагиоклаз* представлен прямоугольными, призматическими зернами с неправильными очертаниями, с простым и полисинтетическим двойникованием в виде лейст и редких вкрапленников (Рисунок 2 а). *Пироксен,* представленный призматическими, неправильной формы зеренами с неровными очертаниями, также изменен вторичными процессами (Рисунок 2 г) и имеет цвета интерференции наивысшего порядка (Рисунок 2 г). *Роговая обманка* представлена как фенокристаллами правильной удлиненной, шестиугольной формы (Рисунок 2 а, г), так и неправильными чешуйками; имеет хорошую спайность. Минерал желтовато-бурый, зеленоватый с сине-зеленым и темно-зеленым цветом плеохроизма. Также в породе наблюдаются редкие простые двойники амфибола (баркевикит?), а также кристаллы зонального строения. *Биотит* наблюдается в виде табличек и лейст, с погасанием типа «птичий глаз». Он представлен как в виде самостоятельных зерен, так и в виде моноскоплений (Рисунок 2 д). Контакт изученной дайки с вмещающими метасоматитами массива Таежный ровный, четкий (Рисунок 2 е).

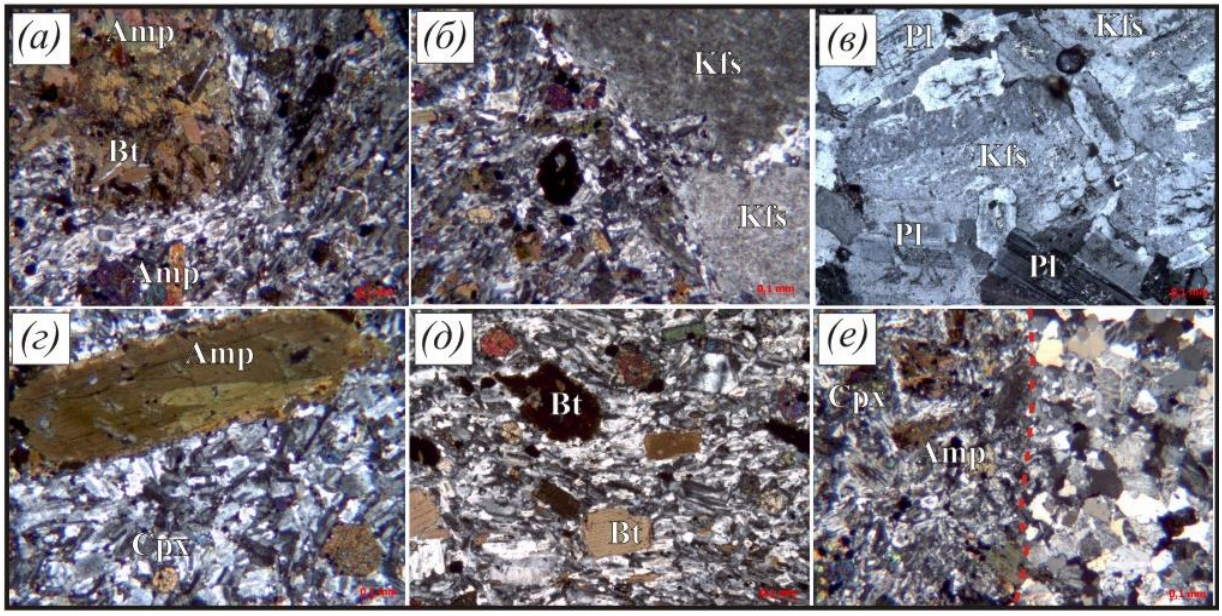


Рисунок 2. Дайка бостонитов. Шлиф И19-31/3: (а) – ксенолит вмещающих биотит-амфиболовых пород, увел. 10, николи +; (б) – ксенолит пород массива Таежный, вкрапленники КПШ (Kfs), увел. 40, николи +; (в) – основная масса породы, увел. 100, николи +; (г) – вкрапленник роговой обманки и мелкого пироксена (Cpx), увел. 40, николи +; (д) – биотит (Bt) в породах дайки, увел. 40, николи +; Шлиф И19-31/4А: (е) – контакт с метасоматитами массива, увел. 10, николи +. Сокращения минералов см. на рис. 1.

Дайка вогезитов (Рисунок 3 а, б, в) расположена в южной части массива Таежный, имеет лампрофировую структуру и следующий состав: плагиоклаз и КПШ – 50 % (основная масса), роговая обманка – 35 %, клинопироксен – 5 %. Основная масса породы микрокристаллическая и трудно диагностируемая даже при больших увеличениях. Интрателлурические вкрапленники представлены роговой обманкой и диопсидом. Помимо обыкновенной роговой обманки часто наблюдаются простые двойники и зональные кристаллы баркевикита (Рисунок 3 а, б). Пироксен представлен редкими прозрачными призматическими кристаллами со светло-зеленым оттенком и цветами интерференции наивысшего порядка. Контакт с вмещающими породами ровный, четкий (Рисунок 3 в).

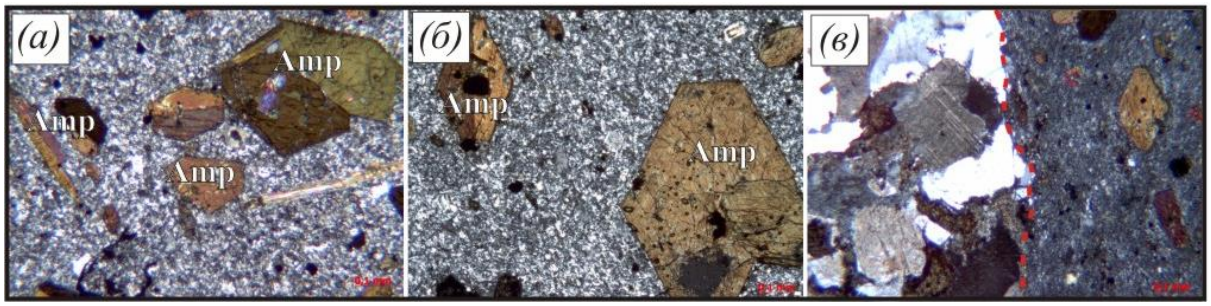


Рисунок 3. Дайка вогезитов. Шлиф И19-33/2: а – общая структура, разновидности амфибола (Amp), увел. 10, николи +; (б) – баркевикит (Amp) в породах дайки увел. 40, николи +; (в) – контакт дайки с вмещающими породами, увел. 10, николи +. Сокращения минералов см. на рис.1.

3. Выводы

1) Все изученные дайки сиенит-порфиров имеют схожий вещественный состав и выделяются в одну группу пород.

2) Установлено, что в дайке бостонитов, прорывающей сиениты массива Таежный отсутствует амфибол и наблюдается повышенное содержание пироксена. Это, вероятно, связано с присутствием в породе ксенолитов вмещающих пород биотит-пироксенового состава. Также в бостонитах отмечены ксенолиты пород второй фазы массива Таежный, что свидетельствует об их более позднем возрасте внедрения.

3) Единственная дайка вогезитов, прорывающая сиениты массива Таежный имеет ксеногенные включения, как и бостониты, пород поздней фазы массива Таежный.

4) Золото-медно-порфировое оруденение Рябинового месторождения локализовано в экзоконтактовых частях даек и штоков щелочных габброидов и лампрофиров [5]. По аналогии мы можем предположить, что изученные дайки бостонитов и лампрофиров в Эвотинском рудном районе также могут быть потенциально рудоносными.

4. Благодарности

Работа выполнена в рамках Государственного задания НИР ИГАБМ СО РАН, также в рамках работ по договору с АО "Золото Селигдара".

5. Литература:

[1] Maksimov E.P. Central Aldan gold-uranium ore magmatogenic system (Aldan-Stanovony shield, Russia) / E.P. Maksimov, V.I. Ujutov, V.M. Nikitin // Tikhookeanskaya Geologiya, 2010, vol. 29, no. 2, pp. 3–26 (in Russian).

[2] Vetluzhskih V.G. Gold deposits of central aldan / V.G. Vetluzhskih, V.I. Kazanskij, A.Ja. Kochetkov // Geology rudnih mestorojdeniy, 2002, vol. 44. no. 6. pp. 467–499. (in Russian).

[3] Kochetkov A.Ja. Mesozoic gold-bearing ore-magmatic systems of Central Aldan // Geology and Geophysics, 2006, vol. 47, no. 7, pp. 850–864 (in Russian).

[4] Whitney, D.L.; Evans, B.P. Abbreviations for names of rock-forming minerals // American mineralogist, 2010, vol. 95, pp. 185–187.

[5] Shatova N.V. Ryabinovoe copper-gold-porphyry deposit (South Yakutia): geological structure, geochemistry of noble gas isotopes and isotopic (U-Pb, Rb-Sr, Re-Os) dating of wall metasomatites and mineralization / N.V. Shatova, V.V. Shatov, A. Molchanov, A.V. Terehov, S. Sergeev, Je.M. Prasolov, G. Dvornik, V. Leont’ev // Regional Geology and Metallogeny. 2019. pp. 75–97 (in Russian).

УДК 552.321.1 (571.56)

ПЕТРОГРАФИЯ МЕЗОЗОЙСКИХ МАГМАТИЧЕСКИХ ПОРОД МИХАЙЛОВСКОГО МАССИВА (ЮЖНАЯ ЯКУТИЯ, АЛДАНСКИЙ ЩИТ)

Алексей Иванов, Мичил Иванов, Анатолий Журавлев, Александр Кравченко,
Евгений Лоскутов, Владимир Тимофеев, Мария Желонкина
Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, пр. Ленина, 39, г. Якутск, 677000, Россия

PETROGRAPHY OF MESOZOIC MAGMATIC ROCKS OF THE MIKHAILOVSKY MASSIF (SOUTH YAKUTIA, ALDAN SHIELD)

Alexey Ivanov, Michil Ivanov, Anatoly Zhuravlev, Alexander Kravchenko, Evgeny Loskutov,
Vladimir Timofeev, Maria Zhelonkina
Diamond and Precious Metal Geology Institute SB RAS, 39 Lenin Ave., Yakutsk, 677000, Russia

Annotation. The paper considers the petrography of Mesozoic alkaline rocks of the Taezhny massif spatially included in the Evota gold ore region using crystal-optical methods, it was found that in terms of mineral composition, structural and textural features of the massif rocks correspond to syenite-porphyries, and are also characterized by monotonic composition, i.e. have a single-phase structure. Based on a comparison of the rocks of the massif with those of the Central Aldan and Verkhne-Amginsky gold ore regions, it has been suggested that ore mineralization may be associated with the formation of the latter.

1. Введение

В пределах Эвотинского рудного района многофазовые магматические структуры представлены Медведевским, Таежным, Эвотинским и др. массивами, образованными в эпоху мезозойской тектоно-магматической активизации [1,2,3 и др.]. Многочисленные малые тела представлены силлами, дайками и небольшими штоками, одним из них является изученный нами Михайловский массив. Несмотря на то, что в пределах Центрально-Алданского рудного района основная часть золоторудных месторождений связана с многофазовым мезозойским магматизмом, в частности Рябиновое, Самолазовское и др. [4,5], на смежной территории Верхне-Амгинского рудного района Хохойского рудного поля рудоконтролирующими в образовании золотосульфидного оруденения являются группы мезозойских однофазовых сиенитовых массивов Лебединского монцонит-сиенит-гранитового комплекса [6], в том числе массивы Северный и Западный Босхо [6]. В Эвотинском рудном районе нами при полевых исследованиях было установлено, что Михайловский массив имеет однофазовое строение, но изучению его вещественного состава не уделялось значительного внимания. Основной целью этой работы являлось детальное петрографическое описание основных типов пород, слагающих Михайловский массив.

2. Петрография пород

Породы массива Михайловский (Рисунок 1 а) представлены темно-серыми, розовато-серыми сиенитами (Рисунок 1 б) и характеризуются монотонностью состава. Контакты с вмещающими породами (архейские граниты) относительно четкие, ровные. В эндоконтакте наблюдаются метасоматиты по гранитам; породы зачастую интенсивно прокварцованы. Наблюдается ориентировка темноцветных минералов вдоль контактов с вмещающими породами. В центре массива отмечается интенсивная зона ожелезнения протяженностью 84 м (Рисунок 1 в) с прожилками и мелкими гнездами кварца. Сиениты содержат многочисленные ксенолиты амфибол-гранатовых кристаллосланцев (Рисунок 1 г). Породы имеют массивную текстуру и порфировую структуру, обусловленную присутствием вкрапленников плагиоклаза и амфибола, в меньшей степени калиевого полевого шпата (КПШ). Состав пород: 50 % КПШ, 25 %

плагиоклаз, 15 % амфибол, 2 % пироксен, 2 % апатит, 6 % рудный минерал. Основная масса представлена мелкими зернами КПШ.

Рисунок 1. а – общий вид пород массива Михайловский; б – сиенит порфир массива с мелкими ксенолитами вмещающих пород; в – ожелезнение пород массива; г – ксенолит кристаллосланцев в сиенит порфире.

Установлен КПШ двух генераций. Ранняя генерация представлена крупными кристаллами неправильной, крайне редко таблитчатой формы, с прямым погасанием, характеризующимися низкими цветами интерференции в серых, темно-серых тонах. КПШ первой генерации частично пелитизирован и приобретает буроватую окраску в местах изменений. Наиболее крупные вкрапленники КПШ содержат идиоморфные кристаллы плагиоклаза и роговой обманки (Рисунок 2 а). Вторая генерация КПШ присутствует в виде мелких, бесформенных, трудно диагностируемых зерен основной массы. Идиоморфные призматические вкрапленники *плагиоклаза* частично серицитизированны как в ядерных, так и периферических частях, с полисинтетическим двойникованием, нередко зонального строения, с косым погасанием (Рисунок 2 б). Характерно пертитовое строение кристаллов. Вторая генерация плагиоклаза выделяется в виде мелких измененных кристаллов основной массы (Рисунок 2 в). *Амфибол* (роговая обманка) имеет хорошую спайность; угол между направлениями спайности 120° (в зависимости от среза). Роговая обманка представлена простыми двойниками, нередко зонального строения (Рисунок 2 г). Большинство кристаллов удлиненно призматической или неправильной формы желтовато-бурого, зеленоватого цвета с плеохроизмом до сине-зеленого и темно-зеленого цветов и углом погасания до 45º. Роговая обманка нередко интенсивно хлоритизирована. Минерал имеет неравномерное распределение по породе и редко встречается в виде шлиров и моноскоплений (Рисунок 2 д). Установлено значительное количество идиоморфного *баркевикита* с светло-коричневато-желтыми цветами плеохроизма в виде

простых и сдвойникованных зерен разного размера. По некоторым зернам (керсутит?) в виде каемки развит рудный минерал (опацитизация). Редкие зерна *пироксена* с углом погасания до 36° представлены как прозрачными призматическими кристаллами идиоморфного облика, так и в виде обломков (ксенолиты?) (Рисунок 2 е). Минерал неравномерно распределен по породе. *Anatum* отмечен как в виде отдельных короткостолбчатых и удлиненных зерен в основной массе породы (Рисунок 2 ж), так и в качестве включений в амфиболе. Погасание прямое, отдельность по (001). *Рудный минерал* развит по амфиболу (керсутит?), образуя каемки вокруг кристаллов (Рисунок 2 з), а также в виде самостоятельных индивидов, неравномерно распределенных по породе. Породы массива содержат многочисленные ксенолиты кристаллосланцев (Рисунок 2 и).

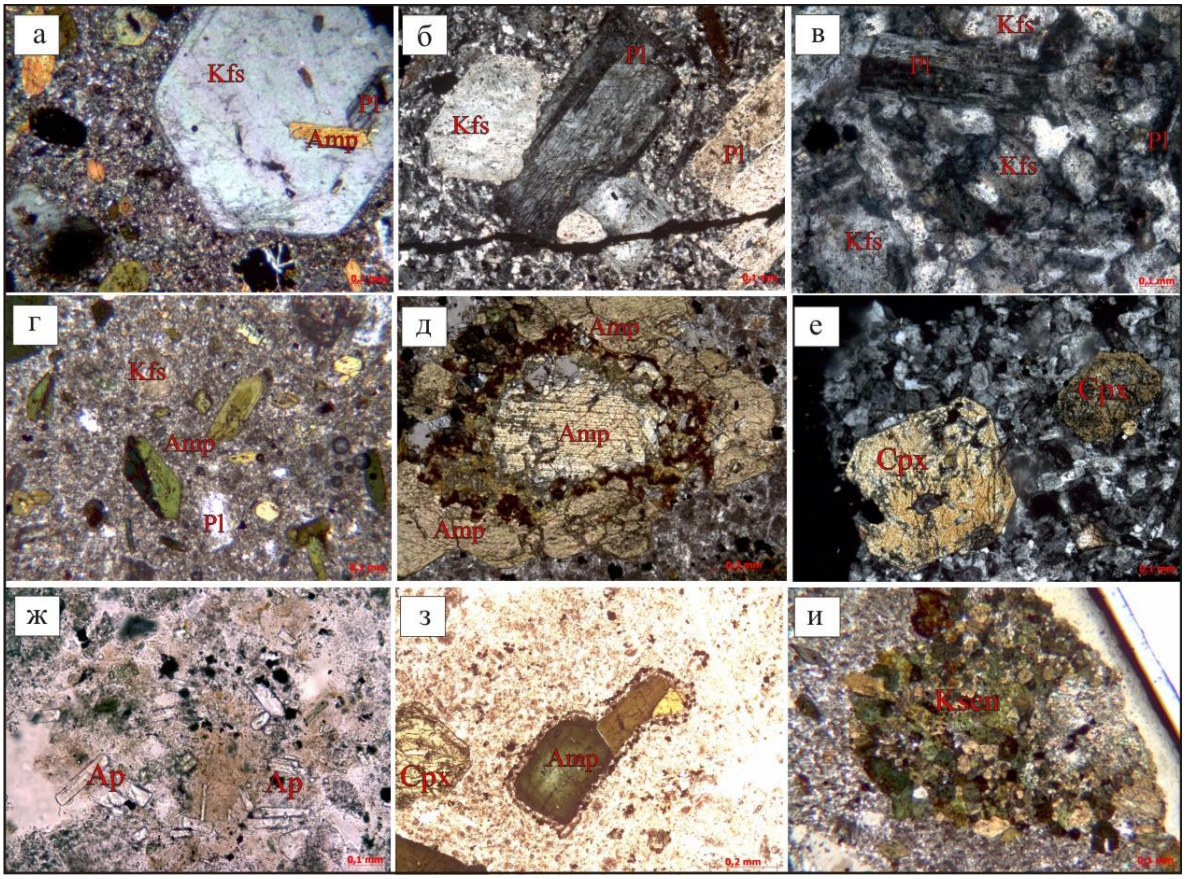


Рисунок 2. а – шлиф И20-12/4, Kfs ранней генерации с включениями Amp и Pl, увел. 10, николи+; б – шлиф И20-12, зональный Pl ранней генерации, увел. 40, николи+; в – шлиф И20-12, Pl второй генерации, увел. 200, николи+; г – шлиф И20-12/8, Amp пород массива Михайловский, увел. 10, николи+; д – шлиф И20-17, шлир Amp, увел. 100, николи+; е – шлиф И20-12, Cpx в породах массива, увел. 100, николи+; ж – шлиф И20-12/7, скопление Ap, увел. 200, николи-; з – шлиф И20-12а, Amp с каймой из рудного минерала, увел. 40, николи-; и – шлиф И20-12/7, ксенолит (Ksen) вмещающих пород в сиенитах массива Михайловский, увел. 40, николи+. Сокращения минералов [7]: Amp – амфибол; Ap – апатит; Cpx – пироксен; Kfs – калиевый полевой шпат; Pl – плагиоклаз.

3. Выводы

1) Установлено, что Михайловский массив сложен меланократовыми сиенит-порфирами; состав пород однообразен, фазы внедрения не выделяются.

2) В отличие от смежной территории Центрально-Алданского рудного района, где основная часть золоторудных месторождений связана с многофазовыми мезозойскими интрузиями, в пределах Верхне-Амгинского рудного района ведущую рудоконтролирующую роль в образовании золотосульфидного оруденения играют мезозойские однофазовые массивы лейкократовых сиенитов. Таким образом, есть основание предполагать, что с магматизмом

Михайловского массива также может быть связана золоторудная минерализация, но это требует дальнейшего исследования.

4. Благодарности
Работа выполнена в рамках Государственного задания НИР ИГАБМ СО РАН, также в рамках работ по договору с АО "Золото Селигдара".

5. Литература:

[1] Maksimov E.P. Central Aldan gold-uranium ore magmatogenic system (Aldan-Stanovoy shield, Russia) / E.P. Maksimov, V.I. Uyutov, V.M. Nikitin // Tikhookeanskaya Geologiya, 2010, vol. 29, no. 2, pp. 3–26 (in Russian).
[2] Vetluzhskih V.G. Gold deposits of central aldan / V.G. Vetluzhskih, V.I. Kazanskij, A.Ja. Kochetkov // Geology rudnih mestorojdeniy, 2002, vol. 44, no. 6, pp. 467–499. (in Russian).
[3] Kochetkov A.Ja. Mesozoic gold-bearing ore-magmatic systems of Central Aldan // Geology and Geophysics, 2006, vol. 47, no. 7, pp. 850–864 (in Russian).
[4] Shatova N.V. Ryabinovoe copper-gold-porphyry deposit (South Yakutia): geological structure, geochemistry of noble gas isotopes and isotopic (U-Pb, Rb-Sr, Re-Os) dating of wall metasomatites and mineralization / N.V. Shatova, V.V. Shatov, A. Molchanov, A.V. Terehov, S. Sergeev, Je.M. Prasolov, G. Dvornik, V. Leont'ev // Regional Geology and Metallogeny, 2019, pp. 75–97 (in Russian).
[5] Strakhov M.F. Petrology and ore content of the Yukhtin granosyenite massif (central part of the Aldan shield) // Proc. Sib. Branch. Earth Sci. Sect. RANS, 2012, vol. 1, no. 40, pp. 25–37 (in Russian).
[6] Ivanov A.I., Kravchenko A.A., Kondratyeva L.A., Loskutov E.E., Zhuravlev A.I, Ivanov M.S. Genesis of Mesozoic alkaline intrusions of the Khokhoi ore field according to the petrographic and petrochemical data (Upper Amga gold mining district, Aldan Shield, North Asian Craton) // World Multidisciplinary Earth Scinces Symposium (WMESS – 2019) IOP Publishing, IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 362 (2019).
[7] Whitney, D.L.; Evans, B.P. Abbreviations for names of rock-forming minerals // American mineralogist, 2010, vol. 95, pp. 185–187.

УДК 551.248(571.56)

ТИПЫ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ПОЛЕЙ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО ФЛАНГА КОЛЫМО-ОМОЛОНСКОГО СУПЕРТЕРРЕЙНА

Людмила Имаева[1,2]
1 Институт земной коры СО РАН, ул. Лермонтова, 128, г. Иркутск, 664033, Россия
2 Академия Наук Республики Саха (Якутия), пр. Ленина, 33, г. Якутск, 677007, Россия

TYPES OF DEFORMATION FIELDS OF THE NORTHWESTERN FLANKE OF THE KOLYMA-OMOLON SUPERTERRAYN

Lyudmila Imaeva[1,2]
1 Institute of the Earth's Crust Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, 128 Lermontov St., Irkutsk, 664033, Russia
2 Academy of Sciences of the Republic of Sakha (Yakutia), 33 Lenina Ave., Yakutsk, 677007, Russia

Annotation. The seismotectonic studies were focused on active segments of the northwestern flank of the Kolyma-Omolon superterrane. The aim of our research is to identify features that show activation of the suture zones and to determine parameters of the stress-strain state of the crust in the study area. Analysis was based on average tensors of seismotectonic deformation, which were estimated for the main epicentral fields of the northeastern regions of Russia. New data is now available on focal characteristics of moderate earthquakes, which can improve determining the kinematic types of junctions of the suture zones of the tectonic taxa located along the Arctic and Pacific continental margins. Regimes of seismotectonic destruction of the crust are determined for the active segments of the northwestern flank of the Kolyma-Omolon superterrane. These regimes are influenced by global geodynamic processes taking place at the lithospheric plate margins, as well as by the dominant deformation fields of the adjacent tectonic taxa.

1. Введение

Сейсмотектонический анализ, включающий элементы геолого-геофизических параметров неотектонических структур и сейсмичности, направлен на выявление признаков реактивизации шовных зон северо-западного фланга Колымо-Омолонского супертеррейна. С целью определения доминирующих режимов сейсмотектонической деструкции земной коры были использованы данные, полученные по средним тензорам сейсмотектонических деформаций, рассчитанные в сейсмоактивных объемах земной коры при условии их однородного деформирования [1,2]. Приведены новые данные по очаговым характеристикам землетрясений умеренных магнитуд, которые были получены с помощью метода расчета тензора сейсмического момента по амплитудным спектрам поверхностных волн [3,4].

2. Сейсмотектонические деформации северо-западного фланга Колымо-Омолонского супертеррейна

Колымо-Омолонский супертеррейн занимает обособленное положение в составе мезозойских структур Верхояно-Чукотской покровно-складчатой области и представляет собой комплекс террейнов, которые различны по геодинамической природе, строению, вещественному составу и истории геологического развития [5,6]. Тектонические структуры супертеррейна отделены от Верхоянского складчато-надвигового пояса системой шовных зон различного ранга, представляющих собой систему активизированных надвигов и взбросов, смещающихся прямолинейными поперечными сдвигами (Рисунок 1). По серии северо-западных разломов преимущественно левосдвиговой кинематики, террейны разобщены на отдельные разломно-блоковые структуры, сформированные в условиях устойчивого северо-восточного сжатия. При этом сжимающие усилия близгоризонтальны (углы падения 3–44º) и действуют вкрест простирания структурных элементов территории.

Напряжения растяжения часто совпадают по простиранию с линиями разломов и ориентированы как горизонтально, так и близвертикально по отношению к земной поверхности (углы падения 2–85º). Оси промежуточного напряжения имеют беспорядочную пространственную ориентацию и широкий интервал углов падения – от 0º до 82º. Кинематика главных тектонических напряжений, выявленная по сейсмологическим данным, указывает на то, что большинство фокальных механизмов очагов землетрясений соответствует взбросам, надвигам и сдвигам. Для фронтальной зоны Полоусно-Дебинского террейна впервые получены очаговые параметры землетрясений умеренных магнитуд (M_w = 4.4–4.9), которые не вошли в расчет средних тензоров сейсмотектонических деформаций. По данным фокальных механизмов очагов этих событий при северо-восточном сжатии здесь фиксируются крутые сбросы и сбросо-сдвиги, что не типично для кинематических характеристик данных структур. Нодальные плоскости разрывов растяжения, формируемые в очагах землетрясений данных событий, совпадают с северо-западным простиранием юго-восточного окончания Усть-Янского грабена Лаптевоморской рифтовой системы, что может, является свидетельством влияния процесса активного рифтогенеза, протекающего в акватории моря Лаптевых, на континент [7].

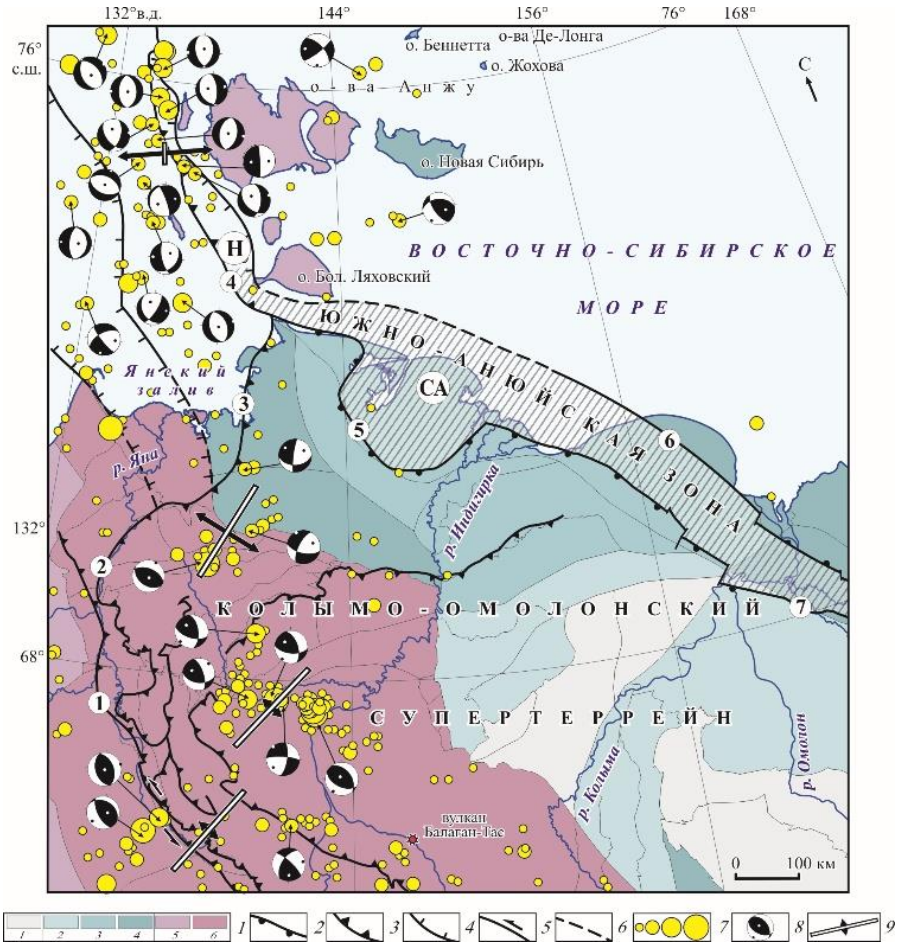


Рисунок 1. Схема современной геодинамики северо-западного фланга Колымо-Омолонского супертеррейна (составлена с использованием материалов [1, 6]).

Шовные зоны: 1 – Адыча-Тарынская, 2 – Полоусненская, 3 – Яна-Святоносская, 4 – Бельковско-Святоносская, 5 – Хромская, 6 – Ярканская, 7 – Уямкандинская.

1 – класс геодинамической активности: *1* – низкий, *2–4* – умеренный, *5–6* – высокий; *2–6 – границы тектонических структур*: *2* – субдукционный шов, *3* – надвиговый шов, *4* – сброс, *5* – сдвиг; *6* – предполагаемые; *7 – эпицентры землетрясений, соответственно с магнитудой (M_w)*: ≤ 40, 4.1–5.0, 5.1–6.0, 6.1–7.0. *8 – фокальные механизмы землетрясений*: дата возникновения события и магнитуда (нижняя полусфера), выходы осей главных напряжений сжатия (черные точки) и растяжения (белые точки). *9 – горизонтальная проекция главных осей деформаций*: длина стрелок соответствует форме тензора деформаций и определенному сейсмотектоническому режиму.

3. Выводы

Активные сегменты северо-западного фланга Колымо-Омолонского супертеррейна характеризуются существенными вариациями режима сейсмотектонических деформаций земной коры, но в то же время они составляют единую уравновешенную геодинамическую систему. На это указывают структурные композиции сопряженных разломов граничных шовных зон и определенные параметры напряженно-деформированного состояния земной коры, которые отражают закономерную смену геодинамических режимов.

4. Благодарности

Исследования проведены по проекту РФФИ № 19–05–00062 «Динамика новейших структур континентально-шельфовой зоны северо-восточного сектора Российской Арктики».

5. Литература:

[1] Seismotectonics of the Northeastern Sector of Russian Arctic. Imaeva, L.P., Kolodeznikov, I.I. (Eds.). Novosibirsk: Publishing House of SB RAS, 2017, 136 pp. (in Russian).

[2] Imaeva, L.P., Imaev, V.S., Koz'min, B.M. Structural–dynamic model of the Chersky seismotectonic zone (continental part of the Arctic–Asian seismic belt) // J. Asian Earth Sci., 2016, vol. 116, pp. 59–68.

[3] Bukchin, B.G. On determining the parameters of the earthquake source from the records of surface waves in the case of inaccurate specification of the characteristics of the medium // Izvestiya Akad Nauk SSSR Fizika Zemli, 1989, no. 9, pp. 34–41. (in Russian).

[4] Lasserre, C., Bukchin, B., Bernard, P., Tapponier, P., Gaudemer, Y., Mostinsky, A., Dailu, R. Source parameters and tectonic origin of the 1996 June 1 Tianzhu (M_w = 5.2) and 1995 July 21 Yongen (M_w=5.6) earthquakes near the Haiyuan fault (Gansu, China) // Geophys. J. Int., 2001, vol. 144, no. 1, pp. 206–220.

[5] Parfenov, L.M. Continental margins and island arcs of the Mesozoids of Northeast Asia. Novosibirsk: Nauka, 1984, 191 pp. (in Russian).

[6] Parfenov, L.M., Oksman, V.S., Prokopiev, A.V., Timofeev, V.F., Tretyakov, F.F., Trunilina, V.A., Deikunenko, A.V. Assemblage of terranes of the Verkhoyansk–Kolyma orogenic zone // Tectonics, Geodynamics, and Metallogeny of the Territory of Sakha (Yakutia) Republic. Moscow: MAIK Nauka/Interperiodika, 2001, pp. 199–254. (in Russian).

[7] Imaeva, L.P., Imaev, V.S., Seredkina, A.I. Seismotectonic deformation of active segments of conjugaion zone of Kolyma-Omolon superterrane and South Anui suture (South-East of Russia) // Geotectonics, 2021, no. 1, pp. 1–18.

УДК 561.38:551.735.15(571.56)

НОВЫЕ ДАННЫЕ О ТАКСОНОМИЧЕСКОМ СОСТАВЕ КОРДАИТОВ ИЗ КЫГЫЛТАССКОЙ СВИТЫ (ВЕРХНИЙ ПАЛЕОЗОЙ) ЗАПАДНОГО ВЕРХОЯНЬЯ

Афанасий Килясов
Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, пр. Ленина, 39, г. Якутск, 677000, Россия

NEW DATA ON THE TAXONOMIC COMPOSITION OF CORDAITES FROM THE KYGYLTAS FORMATION (UPPER PALEOZOIC) OF WESTERN VERKHOYANIE

Afanasiy Kilyasov
Diamond and Precious Metal Geology Institute SB RAS, 39 Lenin Ave., Yakutsk, 677000, Russia

Annotation. The author studied some plant remains from the collection of A.N. Tolstykh, stored in the museum of IGABM SB RAS in order to validate their generic and species identity. The study of plant remains was carried out on the basis of the developed methods of studying cordaites by S.V. Meyen and L.V. Glukhova. In particular, we studied the plant remains attributed by A.N. Tolstykh to the genus *Noeggerathiopsis* Feistmantel according to the macromorphological characteristics of the leaves, to which, as shown by S.V. Meyen, the Angarian cordaites cannot belong. In this connection, the revision of the definitions of the established and described types of A.N. Tolstych based on microstructural (micromorphological) analysis is relevant.

The studied plant remains of cordaites come from the Kygyltas formation of the Dianyshka and Dielendzha rivers basins of the Western Verkhoyanie.

As a result of the study of plant remains from the Kygyltas formation, the *cordaites-ruflorium* complex predominates in the considered localities, the main part of which is occupied by cordaites without dorsal grooves of the genus *Cordaites*, and cordaites with dorsal grooves of the genus *Rufloria* are present in a smaller number. The studied representatives of the genus *Cordaites* are mainly characterized by forms with narrow elongated leaf bases, which allows us to compare the kygyltasian flora with the floral complexes of the Lower Balakhonian sub-series of Kuzbass and its analogues.

1. Введение

Кыгылтасская свита была выделена в 1938 году Н.П. Херасковым [1] в качестве мощной (800-1000 м) толщи тонкого чередования песчаников и алевролитов ("сланцев"), залегающей на песчаниках солончанской свиты и перекрывающейся монотонными алевролитами эчийской свиты. Типовым обычно считается разрез "по р. Аркачан, в районе Кыгылтаса" [1], изученный Н.Н. Стронским. Подробная литологическая характеристика свиты была приведена В.Н. Андриановым с коллегами [2,3]. Несмотря на то, что кыгылтасская свита, охарактеризована богатыми комплексами флоры и фауны, ее возраст до сих пор остается предметом дискуссий.

Основная часть флоры из кыгылтасской свиты Западного Верхоянья ранее изучалась А.Н. Толстых [4]. В кыгылтасской свите ею были установлены следующие виды растительных остатков: *Paracalamites* cf. *sibiricus* Zalessky, *Noeggerathiopsis* sp., *N. theodori* Tschirkova et Zalessky, *Angaropteridium* sp., *A.* cf. *cardiopteroides* (Schmalhausen) Zalessky, *Noeggerathiopsis* sp., *N. vittaefolia* Radczenko., *N.* cf. *theodori* Tschirkova et Zalessky, *N. viljuensis* Tolstych et Verbitskaya, *N. pseudoaequalis* Radczenko, *N. subangusta* Zalessky, *N. tschirkovae* Zalessky – междуречье рек Демунджа-Догтанджа (бассейн р. Дянышка); *Paracalamites pseudovicinalis* Radczenko, *Autophyllites* sp., *Noeggerathiopsis* sp., *N. batschatensis* Radczenko – р. Аркачан; *Ginkgophyllum vsevolodi* Zalessky, *Noeegerathiopsis theodori* Tschirkova et Zalessky, *N. subangusta* Zalessky, *N. singularis* Neuburg – оз. Улахан-Силен-Кюель; *Paracalamites* sp. - бассейн рек Сетынжа и Баянджа; *Koretrophyllites* sp., *Paracalamites* sp. – оз. Сюрен-Кюель; *Paracalamites vicinalis*

Radczenko, *P. evenkensis* Verbitskaya, *P. pseudovicinalis* Radczenko, *P. frigidus* Neuburg, *Koretrophyllites setosus* Radczenko, *Noeggerathiopsis* sp. – р. Ханнах (бассейн р. Тумары); *Paracalamites vicinalis* Radczenko, *Noeggerathiopsis cf. subangusta* Zalessky, *N. theodori* Tschirkova et Zalessky, *N. vittaefolia* Radczenko, *Nephropsis* sp. – р. Кюнкюнюр (бассейн р. Келе); *Angaropteridium* sp., *Noeggerathiopsis batschatensis* Radczenko, *N. subangusta* Zalessky, *N.* cf. *vittaefolia* Radczenko – р. Ветка (бассейн р. Дьеленджа); *Sphenopteris asiatica* Zalessky, *Angarocarpus* sp. - р. Аллара-Кэмбэ; *Noeggerathiopsis* sp., *N. tschirkovae* Zalessky – бассейн р. Чокчи; *Paracalamites vicinalis* Radczenko, *P. planicostatus* Verbitskaya, *P. pseudovicinalis* Radczenko, *Noeggerathiopsis* sp., *N.* cf. *subangusta* Zalessky, *N. intermedia* Radczenko, *Gaussia cristata* Neuburg – р. Ногинья; *Noeggerathiopsis theodori* Tschirkova et Zalessky – р. Ниргичан; *Paracalamites* sp., *Sphenophyllum* cf. *thonii* Mahr., *S. elongatum* Rasskazova, *Zamiopteris* sp., *Z. sublanceolata* Rasskazova, *N. theodori* Tschirkova et Zalessky, *N.* cf. *subangusta* Zalessky, *N.* cf. *intermedia* Radczenko, *N. pseudoaequalis* Radczenko, *N. batschatensis* Radczenko, *N. latifolia* Neuburg, *N.* cf. *derzavinii* Neuburg, *Crassinervia* sp., *Nephropsis* sp., *Gaussia scutellata* Neuburg, *Angarocarpus oviformis* Radczenko – р Хорокыт (бассейн р. Дьеленджа).

Установленные А.Н. Толстых в кыгылтасской свите таксоны были описаны в монографии [4].

По мнению А.Н. Толстых [4], комплекс растительных остатков кыгылтасской свиты Западного Верхоянья сопоставляется с флорой из средней части балахонской серии (верхи алыкаевского и низы промежуточного горизонтов) Кузбасса и с флористическим комплексом клинтайгинского горизонта Тунгусского бассейна. Верхняя часть алыкаевского горизонта Кузнецкого бассейна и весь клинтайгинский горизонт Сибирской платформы в настоящее время относятся к основанию пермской системы, а промежуточный горизонт Кузбасса – к сакмарско-артинскому интервалу нижней перми [5,6]. Аналогичных взглядов на возраст перечисленных региональных стратонов придерживались и предшественники [7], что должно быть веским основание относить кыгылтасскую свиту к нижней перми. Однако находка аммоноидей каменноугольного рода *Prouddenites* "из пограничного слоя кыгылтасской и хорокытской свит" [8] р. Дьеленджа позволила серьезно изменить представления о возрасте кыгылтасской свиты, которая большинством исследователей стала относиться к верхнему карбону [9,10,11]. В связи с этим возник вопрос о правильном сопоставлении растительных остатков кыгылтасской свиты с флористическими комплексами Тунгусской синеклизы и Кузнецкого бассейна.

Научная ревизия коллекции А.Н. Толстых началась в 2019 г. по инициативе Р.В. Кутыгина. Тогда в Томском госуниверситете Л.Г. Пороховниченко переопределила основные экземпляры флоры из разрезов из кыгылтасской свиты ручьев Хорокыт и Ветка (басс. р. Дьеленджа). По левому нижнему притоку руч. Хорокыт басс. р. Дьеленджа был установлен *кордаитово-руфлориевый* комплекс, в котором в основном преобладают виды *C. khorokytica* (Tolstych) Porokhovnichenko (2019) и *C.* aff. *heteroclitus* (Tolstych) Porokhovnichenko (2019), в меньшем количестве виды *Cordaites zalesskyi* Durante, *Cordaites* cf. *neuburgae* Gluchova, *C.* aff. *neuburgae* Gluchova, *Cordaites* aff. *indeterminatus* Gluchova. В этом же местонахождении присутствуют кордаиты *Rufloria (P.) theodorii* (Tschirkova et Zalessky) S. Meyen, единичные сфенофиллы рода *Sphenophyllum*, а также семена рода *Samaropsis* (определения Л.Г. Пороховниченко).

Кыгылтасская свита руч. Ветка басс. р. Дьеленджа так же представлена *кордаитово-руфлориевым* комплексом, где были обнаружены кордаиты: *Cordaites heteroclitus* (Tolstych) Porokhovnichenko (2019), *C. viljuensis* (Verbitskaya et Tolstych) Porokhovnichenko (2019), *Rufloria? tschirkovae* (Zalessky), *R. theodorii*? (Tschirkova et Zalessky) S. Meyen, *Rufloria* ex gr. *subangusta* (Zalessky) S. Meyen, здесь же обнаружен единичный отпечаток сфенофилла *Sphenophyllum? elongatum* Rasskasova (определения Л.Г. Пороховниченко).

Л.Г. Пороховниченко по результатам ревизии был сделан вывод, что кыгылтасская свита по растительным остаткам соответствует, вероятно, верхнекатскому подгоризонту Тунгусского бассейна и алыкаевскому горизонту Кузбасса, а не более молодым отложениям, относящимся к перми, как считалось ранее [12].

Первые результаты переизучения кыгылтасских образцов флоры показали необходимость дальнейшей целенаправленной ревизии других образцов этой коллекции, чему посвящено настоящее исследование.

2. Материл и методика изучения

Материалом для изучения послужила коллекция растительных остатков из кыгылтасской свиты Западного Верхоянья, монографически описанная А.Н. Толстых [4] и хранящаяся в ИГАБМ СО РАН. Большая часть экземпляров первоначально была описана в составе рода *Noeggerathiopsis* Feistmantel. Проведенное С.В. Мейеном [13,14] детальное изучение морфологии и анатомии ангарских кордаитов показало ошибочность их отнесения к роду *Noeggerathiopsis*, поскольку на самом деле они принадлежат родам *Cordaites* и *Rufloria*. В связи с этим, описанные А.Н. Толстых кордаиты рода "*Noeggerathiopsis"* не могут быть использованы в палеоботанике и биостратиграфии до выяснения их истинной родовой принадлежности, что является важной частью валидизации позднепалеозойских флористических таксонов Верхоянья.

Ревизованная коллекции флоры А.Н. Толстых была собрана в середине прошлого века, А.Н. Толстых, Ж.К. Лукьяновой (сборы Ж.К. Лукьянова, 1967; А.Н. Толстых и Ж.К. Лукьянова, 1968) и П.П. Слепцовым (сборы 1968).

Изучение и описания экземпляров флоры проводились по методике, разработанной С.В. Мейеном [12,13] и Л.В. Глуховой [15,16,17]. Микроструктурные исследования фрагментов фитолейм и отпечатков нижней и верхней поверхности листьев выполнялись в отраженном свете с помощью микроскопа МБС-1. Микроструктурный метод позволяет выявлять строение важных эпидермальных структур листьев.

При морфологическом изучение листьев кордаитовых учитывались следующие диагностические признаки: общая форма листа, его размеры и пропорции; жилкование; тип основания листа; форма верхушки и её тип, наличие дорзальных желобков.

3. Результаты исследований

Автором были изучены дополнительно растительные остатки из кыгылтасской свиты по р. Сэтэндьэ (верховье р. Дянышка) и по правому притоку р. Саганжа.

В верховьях бассейна реки Дянышки по р. Сэтэндьэ в кыгылтасской свите преобладают кордаиты без дорзальных желобков - *Cordaites* cf. *odontophyllus* Gluchova, *C. viljuensis* (Verbitskaya et Tolstych) Porokhovnichenko (2019), *C.* aff. *krychtofovichii* Radczenko, в меньшем количестве представлены кордаиты с дорзальными желобками - *Rufloria* cf. *subangusta* (Zalessky) S. Meyen, *R.* ex gr. *theodorii* (Tschirkova et Zalessky) S.Meyen и *R. tschirkovae* (Zalessky) S. Meyen, характеризующие *кордаито-руфлориевый* комплекс.

Схожий комплекс флоры установлен по правому притоку р. Саганжа, здесь были обнаружены *Cordaites krychtofovichii* Radczenko, *C.* cf. *odontophyllus* Gluchova, *C.* ex gr. *singularis* (Neuburg) S.Meyen, *Rufloria* ex gr. *theodorii* (Tschirkova et Zalessky) S.Meyen, характерные для того же *кордаито-руфлориевого* комплекса.

Анализируя полученные данные по кыгылтасской флоре, можно сделать вывод, о том, что в рассмотренных местонахождениях преобладает *кордаито-руфлориевый* комплекс флоры, основную часть которого занимают кордаиты без дорзальных желобков рода *Cordaites*, в меньшем количестве присутствуют кордаиты с дорзальными желобками рода *Rufloria*. Для изученных представителей рода *Cordaites* в основном характерны формы с узкими оттянутыми основаниями листа, что позволяет сопоставлять кыгылтасскую флору с флористическими комплексами нижнебалахонской подсерии Кузбасса и её аналогов.

4. Благодарности

Автор выражает искреннюю благодарность Р.В. Кутыгину (ИГАБМ СО РАН, г. Якутск) и Л.Г. Пороховниченко (ТГУ, г. Томск) за ценные советы и замечания. Исследования выполнены по государственному заданию ИГАБМ СО РАН.

5. Литература:

[1] Kheraskov, N.P., Kolosov, D.M. Geology and geomorphology of Western Verkhoyanie. Trudy VNIIMS, 1938, vol. 3, 116 pp.

[2] Andrianov, V.N. Upper Paleozoic deposits of the Western Verkhoyanie (Tompo-Echian interfluve). Moscow: Nauka, 1966, 132 pp. (in Russian).

[3] Andrianov, V.N. Biostratigraphic scheme of the Permian deposits of the Verkhoyansk Ridge, - V kn.: Problemy stratigrafii devonskih, permskih i triasovyh otlozhenij Verhoyan'ya, Yakutsk, 1975 (in Russian).

[4] Tolstych, A.N. Late Paleozoic flora of the Western Verkhoyanie. Novosibirsk: Nauka, 1974, 102 pp.

[5] Kutygin, R.V., Budnikov, I.V., Sivtchikov, V.E. The main features of the Kasimovian-Gzhelian and Permian stratigraphy in the Siberian platform and adjacent fold belts // Arctic and Subarctic Natural Resources. 2020, vol. 25, no. 4, pp. 5–29 (in Russian). DOI:10.31242/2618-9712-2020-25-4-1.

[6] Budnikov, I.V., Kutygin, R.V., Shi, G.R., Sivtchikov, V.E., Krivenko, O.V. Permian stratigraphy and paleogeography of Central Siberia (Angaraland) – A review // Journal of Asian Earth Sciences, 2020, vol, 196, article 104365, pp. 1–21. DOI: 10.1016/j.jseaes.2020.104365

[7] Verbitskaya, N.G., Iljyukhina, N.P. The main subdivisions of the Upper Paleozoic of the Siberian Platform // Sovetskaja geologija. Izdatel'stvo Nedra, Moskva, 1979, pp. 18-33 (in Russian).

[8] Andrianov, V.N. New data on the age of the Solnchan and Kygyltas formations (Carboniferous) of the Western Verkhoyanie // Sovremennye problemy geologii yakutii. (Sbornik nauchnyh trudov). Izd. Yakutskogo gosudarstvennogo universiteta, Yakutsk, 1981, pp. 57-65, (in Russian).

[9] Andrianov, V.N. Permian and some Carboniferous ammonoids of Northeast Asia. Novosibirsk: Nauka, 1985, 180 pp. (in Russian).

[10] Kutygin, R.V., Budnikov, I.V., Klets, A.G., Peregoedov, L.G. On the find of goniatite Eoshumardites in the Kygyltas Formation of the Western Verkhoyansk region. Otechestvennaya Geologiya, 2008, no. 5, pp. 60–66 (in Russian).

[11] Resolution of the 3rd Interdepartmental Regional Stratigraphic Conferences on Precambrian, Paleozoic, and Mesozoic of Northeastern Russia. St. Petersburg, 2002. Eds. St. Petersburg: VSEGEI, 2009. 268 pp.

[12] Porokhovnichenko, L.G. New data on flora from the Kygyltas Formation (Western Verkhoyanie) // X Chteniya pamyati A. N. Krishtofovicha i XIX NECLIME Annual Meeting, Sankt-Peterburg, 2019, pp. 46-47 (in Russian).

[13] Meyen, S.V. On the anatomy and nomenclature of the leaves of the Angarida cordaites // Paleontologicheskij zhurnal, 1963, no. 3, pp. 96–107 (in Russian).

[14] Meyen, S.V. Upper Paleozoic cordaites of Northern Eurasia. Tr. GIN AN SSSR, vol. 150, M.: Nauka, 1966, 184 pp. (in Russian).

[15] Gluchova, L.V. New data on the cordaites of the Kuzbass // Paleontologicheskij zhurnal, 1967, vol. 1, pp. 110 – 119 (in Russian).

[16] Gluchova, L.V. The importance of micromophology for the taxonomy of the genus Rufloria // Paleontologicheskij zhurnal, 1969, no. 2, pp. 107 - 115 (in Russian).

[17] Gluchova, L.V. Microstructure and stratigraphic distribution of Rufloria. Dep. VINITI № 2467-V 89, Krasnoyarsk, 1989, 77 pp. (in Russian).

УДК 551.248(571.56)

ОСОБЕННОСТИ СОВРЕМЕННОЙ СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ В ЮЖНОЙ ЯКУТИИ

Борис Козьмин[1], Сергей Шибаев[2], Александр Макаров[1], Рустам Туктаров[2]
1 Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, пр. Ленина, 39, г. Якутск, 677000, Россия
2 Якутский филиал Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба РАН», пр. Ленина, 39, г. Якутск, 677000, Россия

FEATURES OF RECENT SEISMIC ACTIVITY IN SOUTH YAKUTIA

Boris Koz'min[1], Sergey Shibaev[2], Alexander Makarov[1], Rustam Tuktarov[2]
1 Diamond and Precious Metal Geology Institute SB RAS, 39 Lenin Ave., Yakutsk, 677000, Russia
2 Yakutian Branch of the Federal Research Center “Unified Geophysical Service of the RAS”, 39 Lenin Ave., Yakutsk, 677000, Russia

Annotation. The structure of the epicentral fields of earthquakes is considered, taking into account the block structure, active faults and the tectonic regime at the border of the Eurasian and Amur lithospheric plates in South Yakutia. The location of the zones of strong events and the type of movements in their foci are discussed. A decrease in the level of seismic energy (in Joules), released during earthquakes in the west-east direction from the Olekma River to the Sea of Okhotsk, was revealed. The scheme of kinematics of interaction of plates and blocks in the Olekmo-Stanovoy seismotectonic zone is presented.

1. Введение

Целью настоящей работы является изучение особенностей проявления сейсмической активности во взаимосвязи с блоковым строением территории Южной Якутии. Как известно, данный регион от р. Олёкмы к Охотскому морю пересекает субширотная Олёкмо–Становая сейсмотектоническая зона (ОСЗ), составляющая восточную часть Байкало–Станового сейсмического пояса. Она представляет широкую (до 200 км) полосу эпицентров землетрясений, разграничивающую Евразийскую и Амурскую литосферные плиты [1]. За 70 лет инструментальных наблюдений зарегистрировано свыше 50 тыс. землетрясений разной интенсивности. Только в конце XX – начале XXI столетий здесь выявлено более десятка 6-9–балльных землетрясений (шкала MSK-64) [2]. Указанные события фиксировались сетью из 7 цифровых сейсмостанций ЯФ ФИЦ ЕГС РАН. В процессе интерпретации данных привлекались мировые каталоги землетрясений ISC, NEIC и бюллетень ЕГС РАН. Вся информация обрабатывалась с помощью программного компьютерного обеспечения WSG. При построении схем эпицентров использовались топографические карты рельефа М 1:2,5 млн. , аэрофото и космоснимки, а также геологические карты М 1:500 тыс. Напряженное состояние земной коры определялось с помощью стереограмм фокальных механизмов землетрясений [1,2] и параметров механизмов очагов из Global Centroid Moment Tensor (CMT) Catalog Search (http://www.globalcmt.org/).

2. Блоковое строение и очаги сильных землетрясений

Пространственно ОСЗ включает Алданский щит Сибирской платформы и сопряжённую с ним Становую складчатую область, разделяемых субширотной деструктивной зоной Станового краевого шва и является «буферной» между Евразийской и Амурской плитами, где сосредоточены основные проявления сейсмичности. На протяжении всей геологической истории в данном регионе наблюдались периоды активизации и затухания темпа тектонических движений. Это отчётливо видно на примере Алданского щита, когда наряду с реактивацией древних деструктивных зон архейского возраста формировались более молодые структуры, возникшие при мезозойской активизации в виде Байкальской рифтовой зоны (БРЗ) во

взаимосвязи с современными геодинамическими процессами на юго–восточной окраине Евразийской плиты. Установлено, что большинство региональных разломов мезозойского времени заложения являются «живыми» и в кайнозое [1,3]. Подвижки по ним способствовали образованию современного рельефа, появлению многочисленных блоков земной коры различного ранга и др. Подтверждением этой тектонической деятельности являются присутствие значительного числа современных локальных и палеосейсмодислокаций, а также высокой сейсмичности в виде сильных и катастрофических 9-10–балльных южноякутских землетрясений и сопровождающих их афтершоков. По современным представлениям Алданский щит состоит из разноранговых блоков (террейнов), соединившихся в процессе аккреции и коллизии [1,4]. Границами блоков служат системы сближенных разломов из раздробленных пород, диафторитов, катаклазитов и др. Эти участки представляют зоны меланжа, надвинутых друг на друга пластин пород различного состава и происхождения, которые отчётливо следятся в аномальных магнитных полях. К ним относятся Темулякитская, Верхнеамгинская, Тыркандинская и Улканская разломные серии северо-западного простирания, которые как бы разграничивают территорию Алданского щита в буферной зоне на 5 крупных испытывающих разнонаправленные движения геоблоков I–го порядка: Чаро-Олёкминский, Центрально-Алданский, Тимптоно-Учурский и Батомгский, причленённых с севера к Становому геоблоку (Рисунок 1). В плане проявления сейсмичности главная роль принадлежит разделяющих их разломным зонам, где чаще возникают природные катастрофы [4]. Последние подтверждаются данными геолого-структурных наблюдений, эпицентральными полями землетрясений и параметрами их фокальных механизмов [1]. К самому активному относится западный Чаро–Олёкминский блок (Рисунок 1 А), где выявлены три максимума сейсмической активности: Олёкминский (отмечены три 9-балльных толчка в 1958 г. и 1967 г.), Чаруодинский (три 7-8–балльных толчка в 2005–2006 гг.) и Нюкжинский (7–балльный толчок 2013 г.), а также множество слабых событий. В блоке действует «байкальское» поле тектонических напряжений растяжения, а в очагах землетрясений преобладают сбросовые подвижки. Сейсмическая энергия выделяется здесь в виде длительных (более 15 лет) роевых серий и крупных подземных толчков с афтершоками. За 60–летний период наблюдений суммарная сейсмическая энергия блока ΣE составила (**$5 \cdot 10^{16}$ Дж.**). В Становом блоке господствует сдвиговое поле напряжений. Подобные подвижки определены в очаге 7–8-балльного Ларбинского толчка (1971 г.) и его афтершока (1972 г.). Кроме того, на южной границе Станового блока (Рисунок 1) зарегистрирована цепочка из эпицентров (1972–1977 гг.), тяготеющих к хребтам Тукурингра и Джагды с подвижками в очаге типа сдвига. Сам блок смещается к востоку в широтном направлении, а сейсмическая энергия проявляется в нём сильными одиночными толчками с небольшой серией афтершоков. За уже названный временной интервал освобождённая сейсмическая энергия в блоке достигла **$2 \cdot 10^{16}$ Дж.** Третий Центрально–Алданский блок (Рисунок 1 В) находится под влиянием напряжений N-E сжатия, связанные с коллизией литосферных плит, где в фокусе местных землетрясений возникают надвиги, сдвиги и взбросо–сдвиги. При этом сейсмическая энергия (ΣE=**$1{,}5 \cdot 10^{16}$ Дж.**) представлена здесь в виде сильного 8–балльного Южно-Якутского землетрясения (1989 г.) и сопровождавшего его большого (свыше 5 тыс.) «облака» повторных толчков с повышенной плотностью слабых событий. Движения блока ориентированы на северо-восток, что способствует подновлению надвиговых смещений вдоль крупного Южно–Чульманского разлома. Меньший уровень сейсмической активности характерен для Тимптоно–Учурского блока (Рисунок 1 С). В нём господствует Тыркандинская система разломов, совпадающая по простиранию с положительной магнитной аномалией, пересекающей Алданский щит от устья р. Тимптон к Токинскому Становику [1]. Она же является основной сейсмоконтролирующей структурой, разделяющей тектонические геоблоки первого порядка (Центрально-Алданский и Тимптоно-Учурский). В блоке «С» зарегистрировано 7–балльное Гонамское землетрясение (2014 г.) с последующими афтершоками, а также ряд землетрясений умеренной (5–6 баллов) силы. Здесь действует тектонический режим сжатия, а механизм очагов землетрясений соответствует сдвигам. При этом блок смещается в S–E направлении, противоположном Центрально–Алданскому блоку. Разрядка сейсмической энергии в блоке достигает **$1{,}2 \cdot 10^{14}$Дж.**

Батомгский блок обладает небольшим сейсмическим потенциалом, где обычно фиксируются единичные события малой интенсивности, а выделившаяся сейсмическая энергия едва достигает **$2{,}4 \cdot 10^{12}$Дж.**

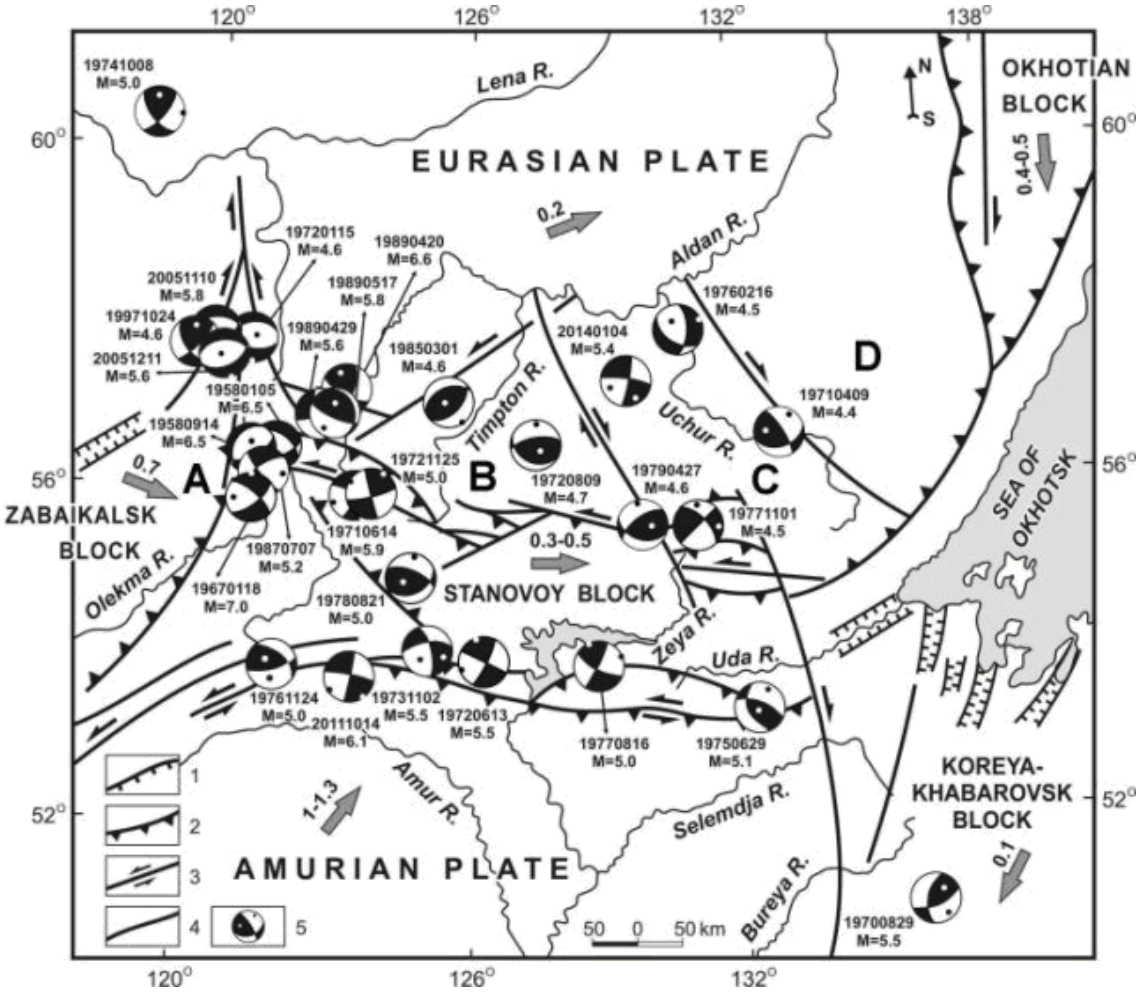


Рисунок 1. Кинематическая схема взаимодействия плит и блоков в Южной Якутии [1, 2 с дополнениями].

Активные разломы: 1–сбросы; 2–надвиги, взбросы; 3–сдвиги; 4– неустановленной кинематики; 5–фокальные механизмы землетрясений, рядом дата и магнитуда М толчка (в стереограммах напряжение сжатия - белая точка, растяжения - чёрная). Блоки I–го порядка: А–Чаро-Олёкминский, В–Центрально-Алданский, С–Тимптоно-Учурский, D–Батомгский. Стрелки – направление движения плит (см/год) [5,6,7].

3. Заключение

Особенности сейсмичности в связи с блоковым строением территории показаны на схеме (Рисунок 1).

В ней использован комплекс геолого-геофизических сведений, наземных геодезических и GPS данных, а также морфотектонические характеристики современного рельефа и др. ОСЗ представлена как крупная зона деструкции земной коры между Байкальским рифтом и Охотским морем, разбитая серией из 2-х плит и 5 блоков.

Её появление связывается с современным транспрессионным (сжатие со скольжением) сближением Амурской и Евразийской литосферных плит в восток-северо-восточном направлении. Источником такого контакта по современным представлениям [1,2,3] может являться столкновение Индийского субконтинента с окраинными структурами Евразии, под влиянием которого произошла коллизия и формирование отдельных разнонаправленных плит и блоков различного размера. На схеме видно, что Становой блок с причленёнными блоками

Алданского щита, зажатыми между Забайкальским (Чаро-Олёкминским) блоком, Евразийской и Амурской плитами, испытывает давление со стороны Забайкальского блока. Последний в результате раскрытия Байкала смещается по данным GPS к юго-востоку со скоростью 0,5–0,7 см/год [5]. Это (0,3 см/год) [5]. С юга на Становой блок оказывает воздействие Амурская плита, которая смещается к восток-северо-востоку относительно Евразийской со скоростью 1–1,3 см/год [7] и также поддерживает движение указанного блока в восточном направлении. В итоге, выявленные особенности в проявлении сейсмичности, полях тектонических напряжений и характеристиках разломов отражают динамику взаимодействия ансамбля плит и блоков в условиях сжатия, которые наблюдаются в краевых частях этих структур, где и возникают самые сильные землетрясения. При этом, в ОСЗ прослеживается постепенное снижение уровня сейсмической опасности с запада от р. Олёкмы (ΣE=**$5 \cdot 10^{16}$ Дж**.) на восток к Охотскому морю (ΣE=**$2.45 \cdot 10^{12}$ Дж**.), где величина выделившейся сейсмической энергии уменьшается в **10^4** раз вызывает субширотное перемещение Станового блока также к востоку в направлении Охотского моря со средней скоростью.

4. Благодарности

Исследование выполнено в рамках научных проектов ИГАБМ СО РАН (№ 0381-2019-0001), ЯФ НИЦ ЕГС РАН (№ 075-01304-20) и РФФИ (19-05-00062).

5. Литература:

[1] Imaev, V.S., Imaeva, L.P. and Koz'min, B.M. Seismotectonics of Yakutia. Moscow: GEOS, 2000, 226 pp. (in Russian).

[2] Parfenov, L.M., Koz'min, B.M., Imaev, V.S. et al. Geodynamics of the Olekma-Stanovoy seismic zone. Yakutsk: YaF SO AN SSSR, 1985, 136 pp. (in Russian).

[3] Gusev, G.S. and Khain, V.E. On the relationship between the Baikal-Vitim, Aldan-Stanovoy and Mongol-Okhotsk terranes (southern Middle Siberia). In: Geotektonika, 1995, no. 5, pp. 68-82 (in Russian).

[4] Smelov, A.P., Zedgenizov, A.N. and Timofeev, V.F. The basement of the North Asian Craton Aldan-Stanovoy shield. In: Tectonics, geodynamics and metallogeny of the Sakha Republic (Yakutia) territory. Moscow: Nauka, 2001, pp. 81-108 (in Russian).

[5] Calais E., Lesne O., Deverchere J., San'kov V., Lukhnev A., Miroshnichenko A., Buddo V., Levi K., Zalutzky V., Bashkuev Y. Crustal deformation in the Baikal rift from GPS measurements. In: Geoph. Res. Let, 1998, vol.25, no. 21, pp. 4003–4006.

[6] Bocharov, G.V. and Zamaraev, N.N. Geodetic measurements in geodynamic polygons of Southern Yakutia. In: Geodeziya i kartografiya, 1991, no.3, pp. 30-34 (in Russian).

[7] Apel E.V., Burgmann R., Steblov G., Vasilenko N., King R., Prytkov A. Independent active microplate tectonics of northeast Asia from GPS velocities and block modeling. In: Geophys. Res Let, 2006, vol. 33, L 11303, pp. 1–5.

УДК 582.28+551.72(571.56)

СПОСОБЫ РАЗМНОЖЕНИЯ ГРИБОВ ВЕНДА ЮГО-ВОСТОКА СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

Петр Колосов
Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, пр. Ленина, 39, г. Якутск, 677000, Россия

METHODS OF REPRODUCTION OF FUNGI IN THE SOUTH-EAST OF THE SIBERIAN PLATFORM

Petr Kolosov
Diamond and Precious Metal Geology Institute SB RAS, 39 Lenin Ave., Yakutsk, 677000, Russia

Annotation. Unicellular fungi (yeast) and mycelial marine fungi are present in columnar stromatolites of the Byuk (Porokhtakh, Tinnov) Upper Vendian (Ediacaran) formation of the Berezovsky trough in the southeast of the Siberian platform. The author considers unicellular fungi to be the ancestors of the saccharomycete yeast. There are different methods of the fungi reproduction: cell division (in individuals), cell budding, and sporogenesis (by exogenous spores). Less often, reproduction occurs through the formation of spores on the mycelial structures of the unicellular fungi, and also through the formation of spores on the hyphae of mycelium (conidiospores). Changes in the reproduction methods of the aforementioned fungi occurred due to the changes of the environmental conditions in the stromatolite ecosystem in the sublittoral of the theperitidal (flooded and adjacent non-salted and semi-salted areas) zones of the huge epicontinental sea basin.

1. Введение

Разнообразные по способам размножения грибы отличной сохранности открыты в бюкской свите (620-550 млн. лет) вендского возраста на юго-востоке Сибирской платформы [1-4]. Они присутствуют на месте образования в окремненных колломорфных (столбчатой формы) строматолитах, образовавшихся в сублиторали в околоприливных (заливаемых и примыкающих к ним незаливаемых и полузаливаемых участках) зонах огромного эпиконтинентального морского бассейна. Размножались бесполым способом. Для поиска и изучения микроскопических органических остатков на СЭМ из образца столбчатого строматолита было вырезано несколько тонких пластин, ориентированных вертикально. Их пришлифовали тонким порошком, затем промыли дистиллированной водой, высушили и напылили золотом, соблюдая стерильность. Это общепринятый приём. Использовался СЭМ JEOL JSM-6480LV в режиме высокого вакуума, ускоряющее напряжение 10 кВ, размер диафрагмы – 2, сигнал SEI, рабочее расстояние – 10 мм, изображения во вторичных электронах.

Иллюстрируемые в статье микрофоссилии исследованы классическим сравнительно-морфологическим методом. Их биологическая интерпретация проведена с использованием самого распространенного и эффективного в научных исследованиях [5] приёма – аналогии. Микрофоссилии относятся к зеленым водорослям и низшим водным микроскопическим грибам. Цель статьи: вклад в познание способов размножения грибов на вендском этапе эволюции.

2. Основная часть

В строматолитах установлено массовое развитие пластинчатой формы зелёных водорослей [4]. Грибы предпочитают крахмалы, которых образуют зеленые и красные водоросли, а также цианобактерии [6]. То есть, в случае с бюкским местонахождением, в экосистеме строматолитов среда была богата питательными веществами, пригодными для грибов. Она способствовала интенсивному размножению и бурному росту, и распространению грибов, особенно одноклеточных (дрожжевых). В водной среде грибам лучше обитание в одноклеточной форме, чем в мицелиальной. Клетки в этой форме поглощают растворенные в воде органические

вещества всей поверхностью тела. Размножение осуществлялось делением клеток, почкованием и спорообразованием (Рисунок 1, 2).

Количество спор очень большое (Рисунок 1). Это, по-видимому, указывает на то, что образование спор связано и со способностью клеток производить их. Известно, что у некоторых видов рецентных грибов количество спор, продуцируемых в сутки, достигает 30000 млн. Главное достоинство мелких спор – возможность быстрого размножения и расселения видов. Споры шаровидные, разных размеров, в рядах и вне рядов расположены разрозненно или образуют рыхлые скопления. Прорастание этих спор также привело к развитию одноклеточных (дрожжевых) грибов.

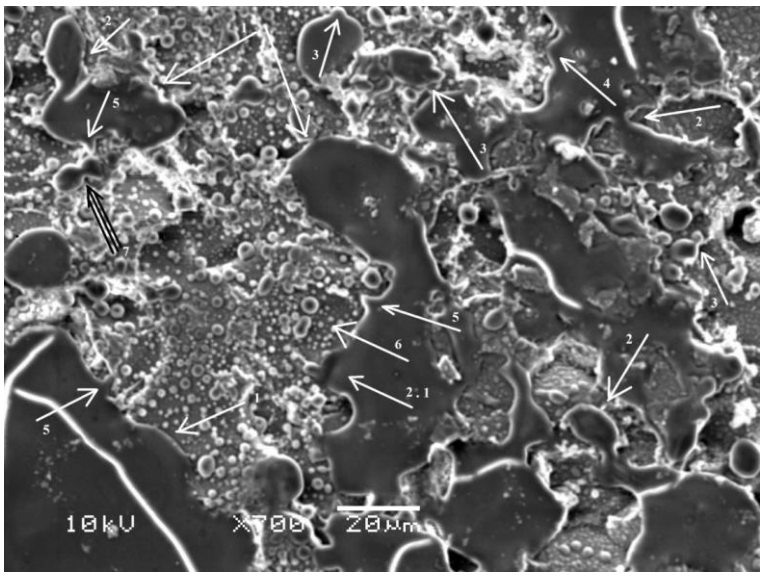


Рисунок 1. Размножение одноклеточных грибов делением клеток и почкованием.

1 – клетки (особи), 2 – деление клеток на две части, 2.1 – увеличение размера клетки путём образования выступа, на котором начала формироваться спора, 3 – отделившиеся от клетки почки начинают образовывать споры, 4 – место зарождения почки на поверхности клетки, 5 – структурное образование на поверхности клетки, 6 – споры разных размеров, 7 - деление дочерней клетки на две части.

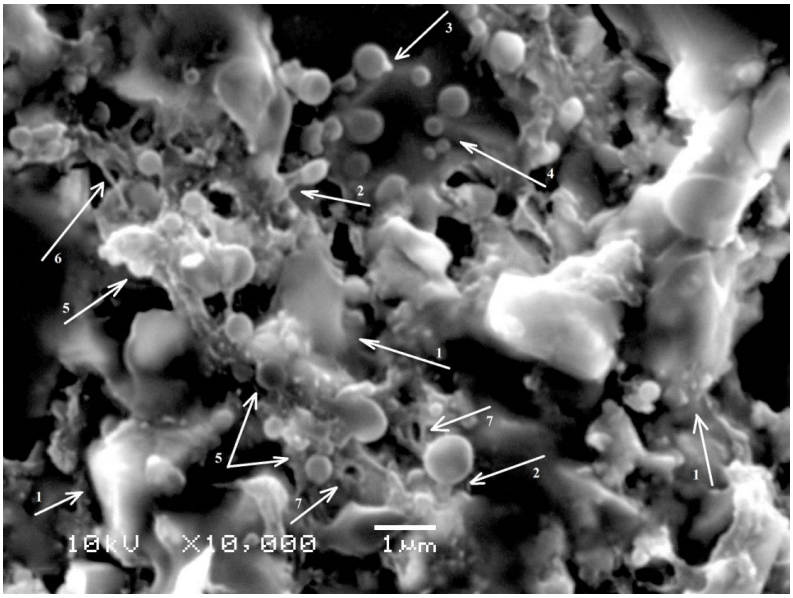


Рисунок 2. Размножение одноклеточных грибов спорообразованием

1 – особи (клетки) со спорами и почками, 2 – споры, отделяющиеся от материнской клетки, 3 – отделившиеся от матери почки становятся молодыми клетками и начинают образовывать споры, 4 – споры и молодые клетки, 5 – размножение спорами и почками, 6 – гифа грибов, 7 – следы выхода газов из клеток грибов.

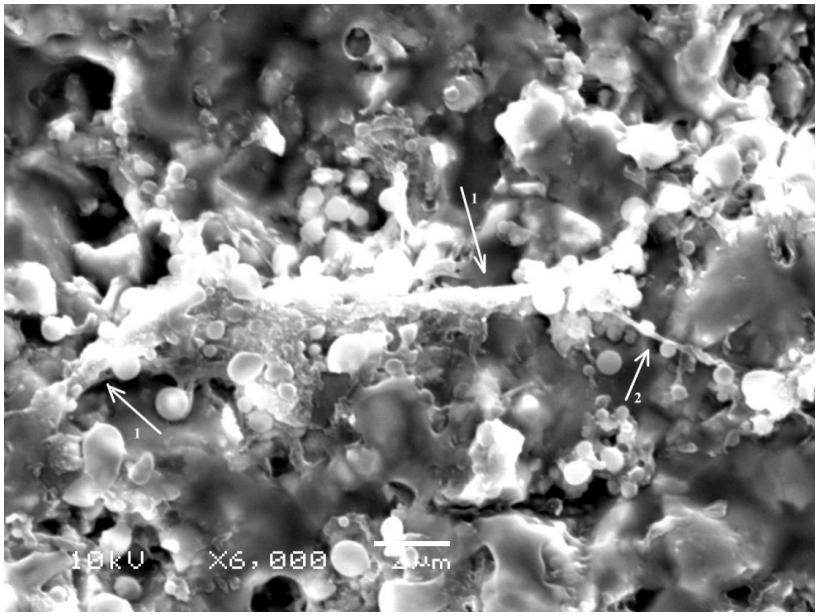


Рисунок 3. Размножение грибов путём образования спор на мицелии и гифе: 1 – споры на мицелии, 2 – споры на гифе мицелия – доказательство грибной природы спор.

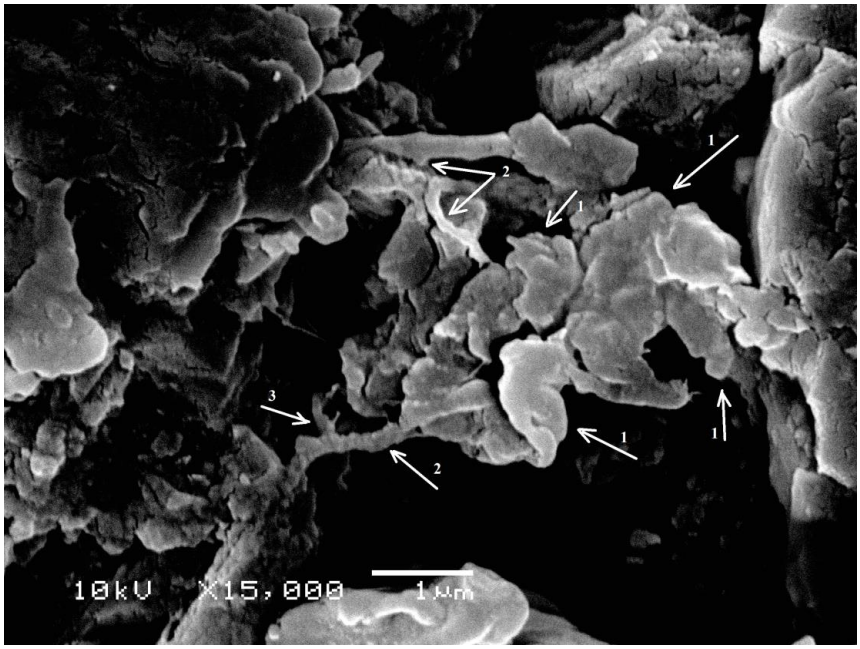


Рисунок 4. Размножение грибов путём образования спор на мицелиях: 1 – грибы одноклеточные, 2 – мицелии со спорами, 3 – ветвление мицелия.

Когда поверхность строматолита находится выше уровня воды в результате регрессии моря, грибы в мицелиальной форме с помощью гифов – поисковиков, добытчиков - лучше находят пищу. Размножение грибов происходило путём образования спор на гифах мицелий, располагаясь цепочкой (Рисунок 3), а также на мицелиях (Рисунок 4).

Благодаря отличной сохранности грибов на месте образования в экосистеме строматолитов удалось изучить их размножение в развитии, установить причинно-следственные связи. Это почти невозможно сделать в случае их находок в отдельных слоях карбонатных, глинистых и аргиллитовых пород, а также в линзах чёрных кремней в известняках и доломитах.

3. Выводы

Уже 600 млн лет назад на Земле обитали хорошо адаптирующиеся к условиям среды грибы. Они размножались бесполыми способами: делением клеток (особей); почкованием клеток; спорообразованием (экзогенными спорами); реже путём образования спор на мицелиях, а также на гифах мицелий. Изменение способов размножения упомянутых грибов происходило в зависимости от изменения условий среды в экосистеме строматолитов. Размножение почкованием характерно рецентным сахаромицетным дрожжам [7]. Исходя из этого можно считать, что в бюкских строматолитах эдиакария найдены предки сахаромицетных дрожжей.

4. Литература:

[1] Kolosov P.N. New microorganisms from the Vendian (Ediacaran) of the Berezovsky Trough, Southern Siberian platform. Paleontological Journal, 2016, 50, pp. 549-556.

[2] Kolosov P.N. Vendian fungi of Yakutia // in IX Readings in Memory of A. N. Kryshtofovich, St. Petersburg, Russia, November 15–17, 2016. BIN RAS, St. Petersburg, 2004), pp. 11-12 (in Russian).

[3] Kolosov P.N. Fungal spores in the stromatolites of the Vendian (Ediacaran) of Yakutia. B: X Readings in memory of A. N. Kryshtofovich (September 23-24, 2019, Saint-Petersburg). Saint-Petersburg, 2019, pp. 33 (in Russian).

[4] Kolosov P.N. The microorganism’s diversity in the Berezovsky trough of the Siberian Platform immediately prior to the Cambrian explosion // Proceedings of the XIV International Scientific-Practical Conference "New Ideas in Earth Sciences" (3-5 April 2019, Moscow) in 7 volumes. vol. I, M.: MGRI, 2019, pp. 140-143 (in Russian).

[5] Metodologiya nauki: problemy i resheniya [Methodology of science: problems and solutions]. Problems of philosophy, 1988, no. 3, pp. 120-123 (in Russian).

[6] South, R., Whittick, A. Introduction of Phycology. Blackwell Scientific Publications, Oxford, London). Mir Publishing House, Moscow, 1987, 597 pp. (in Russian). (South, R., Whittick, A. 1987. Introduction of Phycology. Blackwell Scientific Publications, Oxford, London).

[7] Djakov Yu.T. Recreational mycology. Librokom, 2013, pp. 240 (in Russian).

УДК 551.761.1(571.51)

О ВЫДЕЛЕНИИ ОТОЦЕРАСОВЫХ СЛОЕВ В ПОГРАНИЧНЫХ ПЕРМСКО-ТРИАСОВЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ КОБЮМИНСКОЙ ЗОНЫ ЮЖНОГО ВЕРХОЯНЬЯ

Руслан Кутыгин
Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, пр. Ленина, 39, г. Якутск, 677000, Россия

ON THE IDENTIFICATION OF THE OTOCERAS BEDS IN THE PERMIAN–TRIASSIC BOUNDARY DEPOSITS OF THE KOBYUME BASIN, SOUTHERN VERKHOYANIE

Ruslan Kutygin
Diamond and Precious Metal Geology Institute SB RAS, 39 Lenin Ave., Yakutsk, 677000, Russia

Annotation. The *Otoceras* Beds in the Kobyume basin (= the Kobyume structural-facies zone) of the South Verkhoyanie were identified by paleontological data. These beds are located in the lower part of the Nekuchan Formation and the regional stage of the same name. The *Otoceras* Beds divided into *Concavum* (upper Permian) and *Boreale* (lower Triassic) zones. The *Concavum* Zone contains *Otoceras gracile* Tozer and *Otoceras* sp. Earlier, in Northeastern Russia, the *Concavum* zone was paleontologically based only in the Allakh-Yun basin (= the Allakh-Yun structure-facies zone) of the Southern Verkhoyanie. The *Boreale* Zone in the Kobyume basin is characterized by an index species (*Otoceras boreale* Spath). The data obtained indicate the absence of a stratigraphic hiatus in the Kobyume section at the Permian-Triassic boundary. The presence of the basal zone of the *Otoceras* Beds (*Concavum* Zone) at the base of the Nekuchan Formation of the Kobyume basin suggests the presence of this zone in the neighboring Tompo basin (= the Tompo structure-facies zone) of the Southern Verkhoyanie, where the lower part of the Lekeer Formation (the Nekuchan Regional Stage) is not characterized by ammonoids.

1. Введение

Кобюминская структурно-фациальная зона (СФЗ) располагается на восточной окраине Южного Верхоянья [7] и характеризуется повышенным содержанием вулканокластического материала в пермских и триасовых отложениях [1,8]. Исходя из представлений об увеличении стратиграфического перерыва между пермскими и триасовыми отложениями в северо-восточном направлении от разрезов по р. Сеторым (Аллах-Юньская СФЗ Южного Верхоянья) [5], ранее считалось, что из пермско-триасового разреза Кобюминской зоны отоцерасовые слои выпадают, а триас начинается со слоев с цератитами рода *Tompophiceras*.

Однако детальное изучение типового разреза пограничных пермско-триасовых отложений Кобюминской зоны, расположенного на р. Кобюме ниже устья р. Тирях-Юрях [9], проведенного в 2016 и 2019 гг. совместно с И.В. Будниковым, В.В. Давыдовым, А.Н. Килясовым и В.В. Силантьевым позволило пересмотреть представления о взаимоотношениях пермских и триасовых отложений в рассматриваемой зоне. На основании схожести палеонтологических комплексов и литологического строения рассматриваемого интервала разреза с Аллах-Юньской СФЗ, для Кобюминской СФЗ было предложено [9] выделять некучанскую свиту, широко распространенную в основании триаса Южного Верхоянья, вместо ранее использовавшейся екчанской свиты Западного Приколымья.

Литологическое описание нижненекучанской подсвиты кобюминского разреза и основные палеонтологические элементы (аммоноидеи, конхостраки, двустворки и ихнофоссилии) были рассмотрены немногим ранее [9,11,16], а настоящий доклад будет посвящен обоснованию зональных стратонов отоцерасовых слоев.

2. Результаты и обсуждение

Аммоноидеи нижней ("дотомпофицерасовой") части некучанской свиты обнаружены на правом берегу р. Кобюме в 2,6 км ниже устья р. Тирях-Юрях (Рисунок 1) на двух стратиграфических уровнях – в 1 м и в 2,5 м выше подошвы свиты.

Нижний уровень (1 м выше подошвы некучанской свиты) содержит небольшие (до 3-5 см) карбонатно-глинистые конкреции шаровидной и эллипсоидальной формы. В этих конкрециях изредка встречаются небольшие раковины аммоноидей, иногда обломки относительно крупных экземпляров. Все они отнесены к роду *Otoceras*. Видовую диагностику для большинства экземпляров (за исключением одного), выполнить не удается по причине их фрагментарной сохранности.

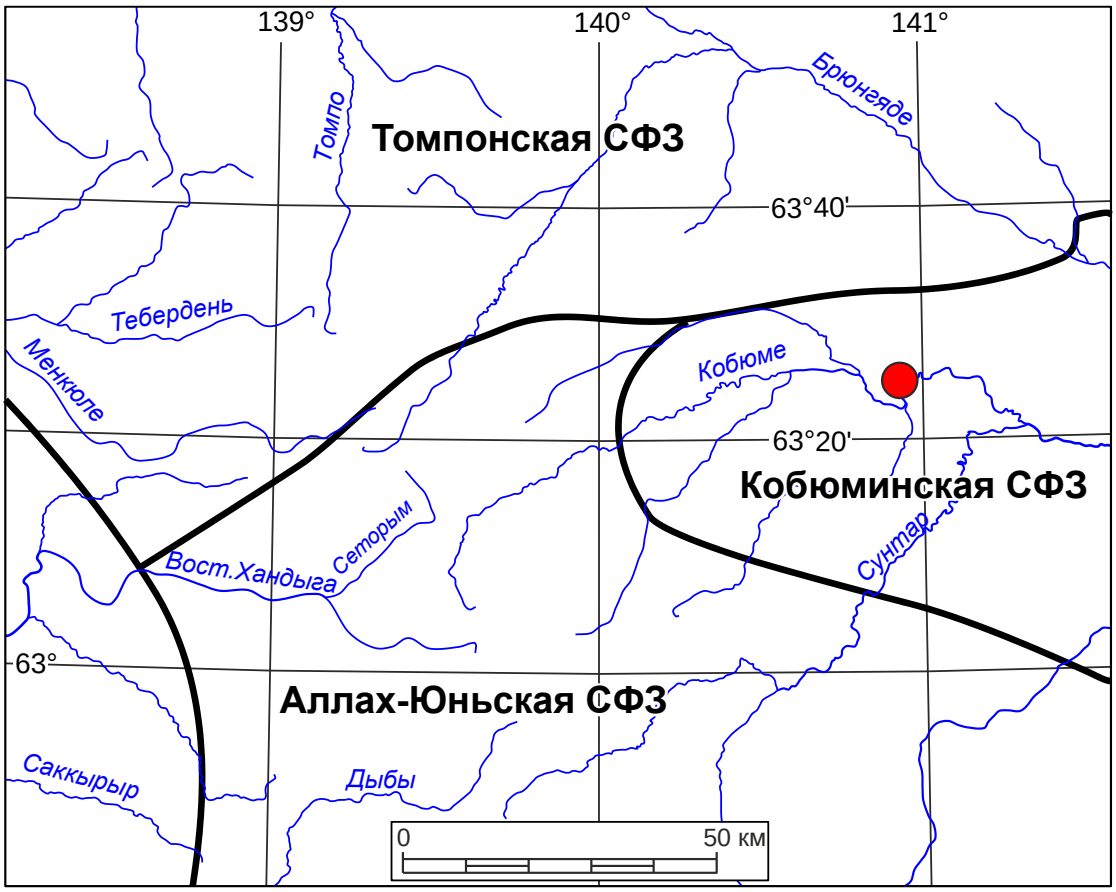


Рисунок 1. Местонахождение аммоноидей рода Otoceras в Кобюминской структурно-фациальной зоне Южного Верхоянья (показано красным кружком).

Наибольший интерес вызывает среднеразмерный экземпляр с плоскими покатыми "плечиками" вентральной стороны, отчетливо обособленными от боковых сторон резкими вентролатеральными краями [9 – Рисунок 3 А]. Морфологически этот экземпляр близок к голотипу *Otoceras gracile* Tozer [13 – pl. 1, fig. 2] из зоны Otoceras concavum нижнего грисбаха острова Аксель Хейберг (Axel Heiberg Island) Канадского Арктического архипелага. Ранее А.С. Дагис и С.П. Ермакова [4] указывали на присутствие в Южном Верхоянье подобных элементов, рассматривавшихся в качестве крайней формы вида *Otoceras concavum* Tozer.

Находка представителя вида *O. gracile* в основании некучанской свиты кобюминского разреза свидетельствует о принадлежности вмещающих отложений к зоне Otoceras concavum, которая в настоящее время относится к верхней части пермской системы [14], а ранее рассматривалась в качестве базальной зоны индского яруса нижнего триаса [4,5]. Следует отметить, что до настоящего времени зона concavum на Северо-Востоке России палеонтологически обосновывалась лишь в верховьях р. Восточная Хандыга (р. Сеторым) Южного Верхоянья

(Аллах-Юньская СФЗ). Присутствие древнейшего аммоноидного комплекса отоцерасовых слоев в Кобюминской подзоне показывает, что географическое распространение зоны concavum в Южном Верхоянье существенно шире, чем считалось ранее. Более того, выделение зоны concavum в маломощном основании некучанской свиты позволяет предположить наличие рассматриваемой зоны и в базальных слоях лекеерской свиты Томпонской структурно-фациальной зоны, соседствующей с Аллах-Юньской и Кобюминской зонами (см. Рисунок 1).

Второй уровень (2,5 м выше подошвы некучанской свиты) охарактеризован единственным относительно крупным экземпляром вида *Otoceras boreale* Spath, широко распространенного в основании триаса Арктической Канады [13] и Восточной Гренландии [3,12]. В Верхоянье основные находки *O. boreale* происходят из нижних частей некучанской и лекеерской свит, соответственно, Аллах-Юньской и Томпонской СФЗ. Исходя из последних данных по содержаниям стабильных изотопов углерода в разрезе пограничных пермско-триасовых отложений руч. Суол (правобережье р. Сеторым) [2,15], второй минимум значений δ^{13}Corg располагается возле границы зон O. concavum и O. boreale [14]. Этот минимум сопоставляется со вторым негативный изотопно-углеродным экскурсом, установленным возле границы перми и триаса в глобальном стратотипе нижней границы индского яруса, расположенном в Южном Китай [15 – Рисунок 3].

Имеющиеся хемостратиграфические данные позволяют предварительно совместить границу зон O. concavum и O. boreale в Южном Верхоянье с пермско-триасовой границей в современном понимании [6]. Следовательно, в кобюминском разрезе (Тиярях-Кобюме) граница перми и триаса, вероятно, располагается в интервале от 1 м до 2,5 м от подошвы некучанского горизонта [9] и одноименной свиты, что на 2–2,5 м ниже, чем в разрезе по руч. Суол правобережья р. Сеторым.

3. Выводы

В Кобюминской структурно-фациальной зоне Южного Верхоянья в нижней части некучанской ("екчанской") свиты выделены отоцерасовые слои, разделенные на зоны O. concavum (верхи перми) и O. boreale (основание триаса). Полученные данные свидетельствуют об отсутствии в кобюминском разрезе стратиграфического перерыва на границе перми и триаса. Впервые на Северо-Востоке России зона O. concavum палеонтологически обоснована за пределами Аллах-Юньской СФЗ. Присутствие базальной зоны отоцерасовых слоев (зона concavum) в основании некучанской свиты Кобюминской СФЗ позволяет предполагать присутствие этой зоны и в соседней Томпонской СФЗ, где нижняя часть лекеерской свиты (некучанского горизонта) аммоноидеями не охарактеризована.

4. Благодарности

Изучение аммоноидей выполнено при финансовой поддержке РНФ (проект № 19-17-00178). Полевые работы проведены по госзаданию ИГАБМ СО РАН.

5. Литература:

[1] Abramov, B.S. Stratigrafiya verkhnepaleozojskih otlozhenij Yuzhnogo Verkhoyan'ya [Stratigraphy of the Upper Paleozoic sediments in the South Verkhoyansk region]. Novosibirsk, Nauka, 1974, 96 pp.

[2] Biakov, A.S., Zakharov, Yu.D., Horacek, M., Richoz, S., Kutygin, R.V., Ivanov, Yu.Yu., Kolesov, E.V., Konstantinov, A.G., Tuchkova, M.I., Mikhalitsyna, T.I. New data on the structure and age of the terminal Permian strata in the South Verkhoyansk region (northeastern Asia) // Russian Geology and Geophysics, 2016, vol. 57, no. 2, pp. 282–293.

[3] Bjerager, M., Seidler, L., Stemmerik, L., Surlyk, F. Ammonoid stratigraphy and sedimentary evolution across the Permian-Triassic boundary in East Greenland // Geol. Magasine, 2006, vol. 143, no. 5, pp. 635–656.

[4] Dagys, A., Ermakova, S. Induan (Triassic) Ammonoids from North-Eastern Asia // Revue de Paléobiologie, 1996, vol. 15, no. 2, pp. 401–447.

[5] Ermakova, S.P. and Kutygin, R.V. The Induan Stage in the eastern upper-Yana region // Geologiya i Geofizika, 2000, vol. 41, no. 5, pp. 671-678.
[6] Gradstein, F.M., Ogg, J.G., Schmitz, M.D., Ogg, G.M. (Eds.). Geologic Time Scale 2020. Elsevier, 2020, 1368 pp.
[7] Koren', T.N. and Kotlyar, G.V. (Eds.). Resheniya Tret'ego Mezhvedomstvennogo regional'nogo stratigraficheskogo soveshchaniya po dokembriyu, paleozoyu i mezozoyu Severo-Vostoka Rossii. St. Petersburg, VSEGEI, 2009, 268 pp.
[8] Korostelev, V.I. Triasovye otlozheniya Vostochnogo Verkhoyan'ya. Yakutsk, Knizhnoe izdatel'stvo, 1972, 174 pp.
[9] Kutygin, R.V., Budnikov, I.V., Biakov, A.S., Davydov, V.I., Kilyasov, A.N., Silantiev, V.V. First Findings of *Otoceras* (Ceratitida) in the Kobyuma Zone of the Southern Verkhoyansk Region, Northeastern Russia // Uchenye Zapiski Kazanskogo Universiteta-Seriya Estestvennye Nauki, 2019, vol. 161, no. 4, pp. 550–570.
[10] Kutygin, R.V., Budnikov, I.V., Sivtchikov, V.E. The main features of the Kasimovian-Gzhelian and Permian stratigraphy in the Siberian platform and adjacent fold belts // Arctic and Subarctic Natural Resources, 2020, vol. 25, no. 4, pp. 5–29.
[11] Miftakhutdinova, D., Silantiev, V., Kutygin, R., Davydov, V., Kilyasov, A. The Phycosiphon-Like and Diplocraterion Trace Fossils from the Permian and Triassic of the Southern Verkhoyanie (Republic of Sakha – Yakutia, Russian Federation) // Proceedings 4th Kazan Golovkinsky Stratigraphic Meeting 2020. Sedimentary Earth Systems: Stratigraphy. Geochronology, Petroleum Resources. Bologna, Filodiritto Publisher, 2020, pp. 303–310.
[12] Spath, L.F. Additions to the Eo-Triassic invertebrate fauna of East Greenland // Meddelelser om Grønland, 1935, bd. 98, no. 2, pp. 1–115.
[13] Tozer, E.T. Canadian Triassic Ammonoid faunas // Bulletin of the Geological Survey of Canada, 1994, no. 467, pp. 1–663.
[14] Yadrenkin, A.V., Biakov, A.S., Kutygin, R.V., Kopylova, A.V. New findings and stratigraphic distribution of foraminifera from Permian-Triassic boundary deposits in the Southern Verkhoyansk Region // Russian Journal of Pacific Geology, 2020, vol. 14, no. 5, pp. 447–459.
[15] Zakharov, Yu.D., Biakov, A.S., Horacek, M. Global Correlation of Basal Triassic Layers in the Light of the First Carbon Isotope Data on the Permian–Triassic Boundary in Northeast Asia // Russian Journal of Pacific Geology, 2014, vol. 8, no. 1, pp. 1–17.
[16] Zharinova, V.V., Scholze, F., Davydov, V.I., Kutygin, R.V. Early Triassic conchostracans from the Tiryakh-Kobyume section (Southern Verkhoyansk region, Republic of Sakha (Yakutia)) // Uchenye Zapiski Kazanskogo Universiteta. Seriya Estestvennye Nauki, 2020, vol. 162, no. 2, pp. 244–252.

УДК 553.411: 551 (571.5)

ГЕОДИНАМИЧЕСКАЯ ПОЗИЦИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ Au-Cu-Mo-ПОРФИРОВОЙ СЕРИИ ЗАБАЙКАЛО-АМУРСКОГО РЕГИОНА

Сергей Летунов, Алексей Корольков, Сергей Сасим
Иркутский государственный университет, ул. Ленина, 3, г. Иркутск, 664000, Россия

GEODYNAMIC POZISIN DEPOSITS Au-Cu-Mo-PORHYRY SEREIS TRANSBAIKAL-AMYRSK REGION

Sergei Letunov, Aleksei Korolkov, Sergei Sasim
Irkutsk State University, 3 Lenin St., Irkutsk, 664000, Russia

Annotation. The tectonic features of the location of the Porphyry series deposits and their association with the ore zones of the Argunsk terrain and the southern margin of the North Asian continent (the Trans-Baikal-Aldan-Stanovoy region), which are active-marginal zones of the Mongol-Okhotsk Paleoocean (southern and northern, respectively) are analyzed. The position and age of mineralization were controlled by the development above different age plume areas.

1. Введение

В рудно-магматическую систему (РМС) порфировой серии, помимо собственно эталонной Au-Cu-Mo-порфировой формации гидротермального генезиса, входят месторождения, имеющие признаки других генетических типов: золото-медно-скарновых, эпитермальных золото-серебряных, стратиформных медистых песчаников, стратиформных свинцово-цинковых, вулканогенно-медноколчеданных, меднорудных зон вторичного сульфидного обогащения, эксплозивных трубок взрыва с вкрапленной минерализацией полисульфидов [1]. К настоящему времени в эту группу добавлены и другие типы – редкометалльно-фтороносные альбитито-грейзеновые, золото-порфировые гидротермальные, связанные с дайками гранит-порфиров и грорудитов. В целом их геолого-генетическая модель представляет собой крупную РМС глубинного заложения, венчающуюся кальдерами, жерловинами со штоками и дайками субвулканических пород [2]. При этом рудоносные вулканоплутонических комплексы имеют весьма пестрый петрохимический и геохимический состав от габбро-диорит-тоналит-плагиогранитного (***S*** тип) с комагматичными им базальт-андезит (адакаит)-дацитовыми и латитовыми вулканитами (***I*** тип) до диорит-гранодиорит-монцонитов (***M***-тип) и гранитов с сопутствующими дацит-риолитовыми сериями. Завершают ряд – граносиенит-сиениты, ассоциированные с шошонитами, грорудитами, сельвсбергитами и трахитами (***A***-тип). Нередки среди них и бимодальные высококалиевые базальт-риолитовые серии и гибридные дайки. При этом указанные магматические серии характерны для различных геодинамических обстановок: от активноокраинных (АКО) и островодужных до коллизионных. К подобному типу, где совмещены все эти типы обстановок и относится территория Забайкало-Амурского региона [3]. Встречающиеся здесь в большом количестве месторождения порфировой серии отличаются большим разнообразием продуктов полигенного разновозрастного рудогенеза [4] и магматизма, вызванного дополнительным развитием в данном регионе ряда горячих областей, определивших своеобразие тектоники, истории их формирования и металлогенической зональности [5].

2. Основная часть

Известно, что возникновение большинства плюмовых структур происходило на этапе закрытия палеоокеанов как сопряженных с этим процессом по механизму «формирующийся континент-суперплюм», описанному М.И. Кузьминым и др. (2016). В нашем случае пространственное сближение двух континентальных блоков и погружающихся под них фронтальных зон субдукции: с севера - Северо-Азиатского континента (с Малхано-Пришилкинско-Верхнеамурской АКО), а с юга – Аргунским террейном, привело к тому, что в находящейся

между ними узкой зоне закрытия Монголо-Охотского палеоокена, произошло смыкание не только его берегов, но зон субдукции. Это обусловило, сначала, вдвое ускоренное переполнение слэбами подконтинентальной литосферы, их быстрый отрыв и погружение до слоя D_2, а затем вскоре и аномальную ответную активизацию (вспышку) с формированием плюмов и горячих точек. Наличие подобных плюмовых структур приводило к метаморфизму, гранитизации и частичному плавлению как пород самих палеосубдукционных зон, так и низов кристаллических щитов (Алдано-Станового). В первом случае развитие получил массовый коллизионный и постколлизионный гранитоидный магматизм, а во втором – щелочной. Бимодальный вулканизм тяготел к зонам глубинных разломов, рассекавших надплюмовые области.

В этих условиях дополнительного подтока глубинной энергии, вещества и флюидов РМС порфирового типа приобретают не только большие размеры, дифференциацию по фациям, характеризуются площадным метасоматозом, разнообразием генетических типов оруденения, но и имеют отчетливую связь с геохимическим составом «перерабатываемого» протолита. В случаях зарождения РМС в аккреционных призмах, сложенных терригенно-флишевыми толщами турбидитовых бассейнов и задуговых морей, содержавших надкларковые концентрации редких элементов и бораты, развивается редкометалльная рудная специализация альбитито-грейзеновых и кварцево-редкометалльно-фтороносных руд Sn, W, Li, Be, Ta, Nb порфировой серии [6,7]. При зарождении РМС в карбонатсодержащих толщах задуговых морей, содержавших надкларковые концентрации полиметаллов, эвапориты, доломиты и бор, развивается медно-свинец-цинк-порфировое, свинцово-цинково-скарновое, кварцево-полисульфидное оруденение, содержащее сопутствующую турмалиновую и флюоритовую минерализацию. При зарождении порфировых РМС в нижних и средних частях интенсивно гранитизированной континентальной коры Алдано-Станового щита, где количество воды и ряда летучих компонентов было в дефиците, а кремнезема и алюмосиликатов в избытке, проявляется золото-молибден-порфировая, золото-порфировая, молибден-порфировая в монцонит-, плагиогранит-, гранодиорит-, гранит- и сиенит-порфировых субвулканических штоках и дайках. Детали своеобразия металлогении месторождений порфировой серии зависят и от времени поэтапного закрытия Монголо-Охотского океана. Так, на своем западном фланге, т.е. в Забайкало-Монгольском регионе, он полностью закрылся на рубеже ранней и средней юры. В Нижне-Приамурском регионе полностью океаническое пространство исчезло уже только в конце верхнеюрско-раннемелового времени [8]. При этом этот процесс начальной фазы закрытия происходил над Азиатским суперплюмом, имеющим на рубеже позднего палеозоя и раннего мезозоя диаметр около 8,3 тыс. км [9]. В результате его вырождения, к среднему мезозою он распался на Сибирский и Таримский (с размерами по 1500 – 2000 км) [10] и серию значительно меньших по его периферии: Хангайский, Алдано-Зейский (диаметром около 800 км) [11], Восточно-Забайкальский и далее на восток - Мая-Селемджинский (диаметром 350 – 450 км) [12]. В целом все они выстраиваются в виде единой цепочки, совпадающей с осью Монголо-Охотской зоны.

В региональном плане ось Монголо-Охотской зоны является своеобразной осью зеркальной симметрии по отношению к поясовому размещению месторождений порфировой серии. С севера от неё размещается Малхано-Пришилкинско-Верхнеамурский металлогенический пояс, наследующий одноименную зону АКО, а с юга – Северо-Амурский металлогенический пояс, наследующий северную периферию Амурской АКО. В первом поясе профилирующее золото-медно-молибден-порфировое оруденение представлено медно-молибденовой (месторождения Эрдэнэд, Идерское, Олекминское, Аманан-Макитское), золото-порфировой (Дарасунское, Карийское, Ключевское, Уконик, Кировское, Золотая Гора), молибден-порфировой (Жирекен, Давендинское, Орекитканское) и золото-молибден-порфировой (Береинское) рудными формациями. Во втором металлогеническом поясе развит тот же (золото)-медно-молибден-порфировый тип оруденения, но имеющий более медно- полиметаллическую (с серебром) специализацию: Бугдаинское, Быстринское, Лугоканское, Иканское, Боргуликанское и другие месторождения. Здесь отмечается несколько пониженная золотоносность месторождений всей

порфировой серии, но при стандартном медно-молибденовом её уклоне (месторождения Чаликоу, Винигетишань, Арыннурское, Шахтаминское и др.).

Некоторое различие, зафиксированное в составе рассматриваемых металлогенических поясов, определяется тем, что первый («золото-молибденовый» тип) сформировался за счет активизации раннедокембрийской коры Северо-Азиатского континента и, соответственно, характеризуется развитием «рудогенерирующих» порфировых интрузий, относящихся в основном к А-типу (сиениты, монцониты, граносиениты) и I-типу (плагиограниты, тоналиты), сопровождающихся внутрирудными дайками различных порфиров и порфиритов, при небольшом участии интрузий бимодальной серии.

Второй тип поясов («медно-молибден-полиметаллический») развивался в пределах средне-верхнепалеозойской коры, слагающей периферию Аргунского террейна. Соответственно, в основном тут типичен бимодальный базальтоидный магматизм М-типа и гранитоидные ареал-интрузии S-типа. Здесь, в Приаргунском геоблоке, характеризующимся преобладанием нижнекембрийских карбонатных толщ, отмечается свинцово-цинковая гидротермальная, кварцево-полисульфидная и скарновая минерализация «нерчинского» типа. В верхнеюрско-нижнемеловых кальдерах, выполненных вулканитами бимодальной серии, развито промышленное уран-молибден-порфировое оруденение (месторождения Стрельцовского рудного поля).

В Монголо-Охотской (Заганско-Агинско-Борщевочной) зоне, располагающейся между вышерассмотренными металлогеническими поясами, а именно в Хэнтейском, Даурском и Агинском террейнах, получили развитие карбон-пермо-триасовые и нижнеюрские турбидитовые комплексы, при резко подчиненной роли островодужных вулканитов. Соответственно, здесь профилирующей выступила редкометалльная минерализация. Это медно-молибденовое (Сыпчугурское месторождение), золоторудное с молибденом (Ара-Илинское, Любавинское, Пильное) и телетермальное золото-серебро-порфировое (Балейское, Тасеевское). Этот тип оруденения, как известно, чаще всего формируется в узлах пересечения крупных разломов северо-восточного простирания (Борщевочный, Шилкинский, Онон-Туринский и др.) с поперечными сквозными зонами скрытых разломов северо-западного и субмеридионального простирания (Кличкинско-Балейско-Дарасунский и др.).

3. Выводы

Таким образом, в известную схему А.Д. Озерского и С.С. Смирнова трехпоясной рудной зональности Забайкалья, необходимо добавить, находящиеся южнее и приуроченные к Аргунскому террейну, «северомонгольский» медно-молибден-порфировый (Керулен-Аргунский) и еще южнее - «северокитайский» уран-полиметаллический (Приаргуно-Манчжурский) металлогенические пояса.

4. Литература:

[1] Sillitoe R.H., Porphyry Copper Systems, Society of Economic Geologists, Inc. EconomicGeology, 2010, vol. 105, pp. 3–41.

[2] Superporphyry copper and gold deposits. PGS Publishing, Linden Park, 2005, vol. 1, 257 pp.

[3] Petrov O.V., Morozov A.F. (Eds.) Mineragenic map of Russia at 1:500 000 scale. Moscow: VSEGEI, 2006 (in Russian).

[4] Nokleberg W.J. (Ed.) Metallogenesis and Tectonics of Northearst Asia. U.S. Geological Survey Professional, 2010, pp. 1765.

[5] Letunov S.P., Korolkov A.T., Sasim S.A., Kasperskiy S.V. Geodynamic position of the polygenic-porphyry deposits of the Transbaikal-Mongol-Priamurian region // Geology and mineral resources of the Eastern Siberia. Irkutsk: Irkutsk State University Press, 2019, pp. 39-52 (in Russian).

[6] Bubnov E.T. Rare-metal ore genesis in geodynamic events of crust (Exemplified by Transbaikal granite intrusions). Irkutsk: Irkutsk State University Press, 1995, 264 pp. (in Russian).

[7] Ratkin V.V. Metallogeny of newly formed continental lithosphere of the Sikhote-Alin //Lectures for Young Scientist. Moscow: IGEM RAS, 2013 (in Russian).

[8] Khanchuk A.I. (Ed.) Geodynamics, magmatism and metallogeny of East Russia. In 2 books. Vladivostok: Dalnauka, 2006, Book 1, 572 pp. (in Russian).
[9] Yarmoluk V.V., Kovalenko V.I., Kuzmin M.I. North-Asian superplume in the Phanerozoic: Magmatism and deep geodynamics // Scientific Journal Geotectonics, 2000, vol. 5, pp. 3-29.
[10] Kuzmin M.I., Yarmoluk V.V. Plate tectonics and mantle plumes as a basis of deep-seated Earth's tectonic activity for the last 2 GA // Russian Geology and geophysics, 2016, vol. 57, no.1, pp. 8-21.
[11] Petrishchevsky A.M., Yushmanov Y.P. Geophysical, magmatic and metallogenic manifestation of a mantle plume in the upper reaches of the Aldan and Amur rivers // Russian Geology and geophysics, 2014, vol. 55, no.4, pp.443-462
[12] Didenko A.N., Malyshev Yu.F.m Saksin B.G. (Eds.) Deep structure and metallogeny of East Asia Vladivostok: Dalnauka, 2010, 332 pp. (in Russian).

УДК 551.348(571.56)

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ПОЛЯ И РАЗВИТИЕ СЕЙСМИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ЧАРУОДИНСКОГО РОЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Александр Макаров[1], Борис Козьмин[1], Сергей Шибаев[2]
1 Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, пр. Ленина, 39, г. Якутск, 677000, Россия
2 Якутский филиал Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба РАН», пр. Ленина, 39, г. Якутск, 677000, Россия

GEOPHYSICAL FIELDS AND DEVELOPMENT OF THE CHARUODA'S EARTHQUAKE SWARM SEISMIC PROCESS

Aleksandr Makarov[1], Boris Koz'min[1], Sergey Shibaev[2]
1 Diamond and Precious Metal Geology Institute SB RAS, 39 Lenin Ave., Yakutsk, 677000, Russia
2 Geophysical Survey of the Russian Academy of Sciences (GS RAS), 39 Lenin Ave., Yakutsk, 677000, Russia

Annotation. The article highlights the development of the seismic process of the Charuodinsky swarm of earthquakes and its correlation with the geophysical fields. It describes the expected direction of the process evolution, as well as its properties.

1. Введение

Как известно Южная Якутия представляет наиболее сейсмоактивную зону Республики Саха (Якутия). В ее пределах происходят различные сейсмические явления. К одним из числа таких относится крупнейший и самый долгоживущий Чаруодинский рой землетрясений. В настоящий момент развитие Чаруодинского роевого процесса изучено и проанализировано вплоть до 2005 г. Кроме того, в ежегодных сборниках землетрясений было рассмотрено Чаруодинское землетрясение-3, которое произошло в 2009 г.

На территории Южной Якутии действует сеть из 8 цифровых сейсмостанций. Полученные данные обрабатываются на основе метода засечек с помощью программы WSG. По мере накопления информации появляется возможность анализа всего процесса, начиная с самых первых проявлений событий вплоть до 2019 год.

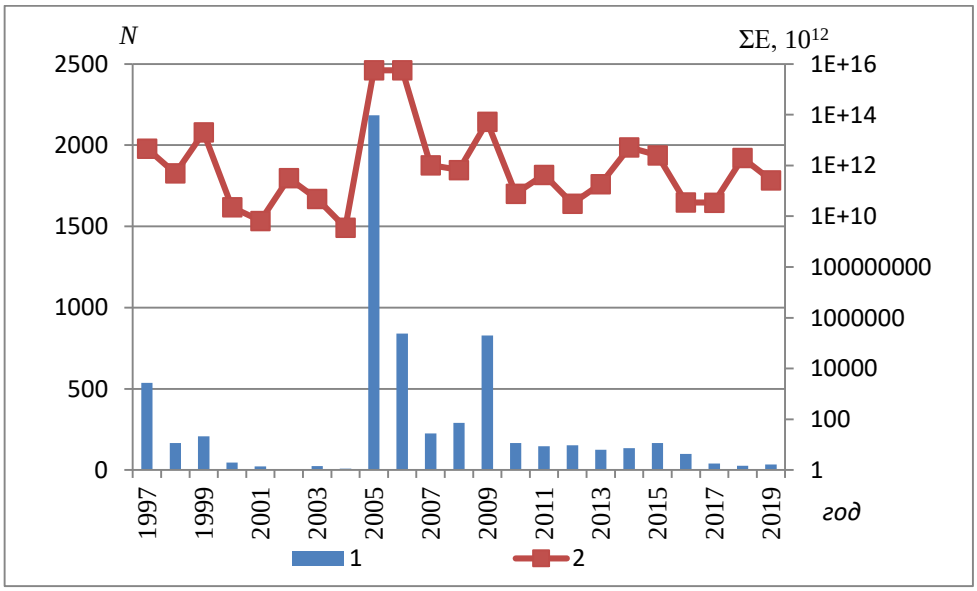


Рисунок 1. Графики изменения во времени суммарной сейсмической энергии (ΣE) и годовых чисел N толчков в течение всего периода действия Олдонгсинского и Чаруодинского роев (1997–2019).

2. Развитие сейсмического процесса Чаруодинского роя землетрясений

Чаруодинский рой землетрясений фактически является продолжением Олдонгсинского роя, который действовал достаточно активно с 1997 по 1999 гг. Однако проявление первого наиболее отражено по выделенной энергии и количеству событий (Рисунок 1). Все сейсмические удары происходили в пределах Олекмо-Чарского нагорья. Также при сравнении карт ОСР-97 (В) и ОСР-2016 (В) можно заметить, что эта территория из 8-балльной вошла в зону 9-балльной интенсивности землетрясений. В глобальном масштабе они локализуются между Становой-складчатой системой и Байкальской рифтовой зоной., которые и обуславливают поля напряжений изучаемой территории [1].

Большое влияние на исследуемую область оказывают Чаруодинская и Темулякитская системы разломов, которые оконтуривают очаговую зону с запада и востока соответственно, в свою очередь на севере ее ограничивают близширотные разрывные структуры следящимися из Вернетоккиноской впадины, а на юге – дугообразным Ат-Бастаахским разломом [2].

Анализ данных о эпицентрии роев, карты изосейст Чаруодинского-I землетрясения четко указывают на движение эпицентральной зоны Чаруодинского роя в северо-восточном направлении. Рой следится на карте поля силы тяжести от бассейна р. Ат-Бастаах, в котором началось развитие Олдонгсинского роевого процесса [2], до русла р. Чаруода, смещаясь в направлении увеличения значений аномального поля Δg (от -78 до -72 млГал) [3].

На карте магнитного поля зон [4] развития Олдонгинских и Чаруодинских землетрясений отмечается уменьшение значений намагниченности, совпадая с предполагаемым движением эпицентральной зоны Чаруодинского роя.

3. Выводы

На основе локализации эпицентральных зон, поля тектонических напряжений, ориентации гравиметрических и магнитных полей выявлено, что процессы Байкальского рифтогенеза распространяются в восточном направлении.

4. Благодарности

Работа выполнена в рамках проектов: НИР ИГАБМ СО РАН № 03В1-2019-0001, РФФИ № 19-05-00062.

5. Литература:

[1] Shibaev S.V., Petrov A.F., Koz'min B.M., Imaeva L.P., Melnikova V.I., Radziminovich N.A., Timirshin K.V., Petrova V.E., Gileva N.A., Peresypkin D.M. Charuoda earthquake swards 2005 and its feeled earthquakes: Charuoda-I november 10 in 19^h29^m Kp = 15.7, Mw = 5.8, I0 = 8 and Charuoda-II december 11 at $15^h54.8^m$ december 11 = $14^h54.8^m$ (South Yakutia) //Earthquake of the North Eurasia, 2005. Obninsk: GS RAS, 2011, pp. 404-417 (in Russian).

[2] Kozmin B.M., Shibaev S.V., Petrov A.F., Timirshin K.V. The structure of the epicentral fields of earthquakes in the south Yakutia in 1997 – 2013// Geology and mineral resources of the North-East Proceedings of the VII All-Russian Scientific and Practical Conference dedicated to the 60th anniversary of the Institute of Diamond and Precious Metals Geology of the SB RAS, April 5-7, 2017: in 2 volumes-Yakutsk: NEFU Publishing House, 2017., pp. 139-144 (in Russian).

[3] Kovaleva N.P., Koryakina M.A., Khlebnikova A.V. Map of the gravity field of the Republic of Sakha (Yakutia) on a scale of 1:1 000 000, Yakutsk: SUE RS(YA) YPSE, 2004 (in Russian).

[4] Stepanova S. K. Map of predicted reserves of magnetite ores of the Aldan iron ore province on a scale of 1:500 000, Yakutsk: PGA Yakutskgeology, 1983 (in Russian).

УДК 564.82 (551.735.2; 551.736.1)

БРАХИОПОДЫ КУБАЛАХСКОЙ СВИТЫ НИЗОВЬЯ Р. ЛЕНЫ (КУБАЛАХСКИЙ РАЗРЕЗ)

Виктор Макошин
Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, пр. Ленина, 39, г. Якутск, 677000, Россия

BRACHIOPODS OF THE KUBALAKHIAN FORMATION OF THE LOWER REACHES OF THE LENA RIVER

Victor Makoshin
Diamond and Precious Metal Geology Institute SB RAS, 39 Lenin Ave., Yakutsk, 677000, Russia

Annotation. Data on the vertical distribution of brachiopods in the Lower and Upper Kubalakh subformations of the Kubalakh section (lower reaches of the Lena River) are presented. The Jakutoproductus protoverkhoyanicus Zone, which characterizes the Kygyltassian Horizon of the Verkhoyanie, is identified in the Lower Kubalakh Subformation. Brachiopods Jakutoproductus verkhoyanicus (Fredericks) and Jakutoproductus crassus Kaschirzew, characteristic of the Jakutoproductus verkhoyanicus Zone of the Khorokytian Horizon of Verkhoyanie, are found in the Upper Kubalakh Subformation.

1. Введение

В приустьевой части правобережья р. Лены обнажаются наиболее северные разрезы перми Верхоянья, представленные преимущественно тонкозернистыми прибрежными отложениями. Разрез Кубалахский расположенный на правом берегу низовья р. Лены в районе устья руч. Кубалах. Он имеет протяженность более 15 км и является стратотипическим для большинства свит верхнего палеозоя Усть-Ленской подзоны [1,2]. Ранее разрез послойно изучался А.А. Межвилком, А.С. Каширцевым, Р.В. Соломиной, Н.И. Гогиной, М.Д. Булгаковой, О.И. Богуш, О.В. Юферевым, В.Н. Андриановым, Б.С. Абрамовым и др.

В 1966 г. А.С. Каширцевым была разделена верхоянская свита (нижняя пермь), выделенная А.А. Межвиком [3], на тугасирскую, кубалахскую и туорасисскую [1]. По выявленному комплексу брахиопод, среди которых присутствует вид *Verchojania* aff. *cheraskovi* (Kaschirzew), тугасирская свита была отнесена к верхнекаменноугольным отложениям [1]. Кубалахская свита А.С. Каширцевым с коллегами [1] по выявленной фауне брахиопод рассматривалась в качестве базального стратона пермской системы.

Р.В. Соломина (1982 г.) в кубалахской свите (в понимании [1]) ниже устья руч. Кубалах определяла брахиопод *Jakutoproductus protoverkhoyanicus* Kaschirzew и *Verchojania parenensis* (Zavodowsky), а выше устья руч. Кубалах - *Jakutoproductus verkhoyanicus* (Fredericks), *J.* cf. *crassus* Kaschirzew, *Waagenoconcha humboldti irginae* (Stuckenberg), *Rhynchopora* cf. *variabilis* Stuckenberg, *Rh. nikitini* Tschernyschew.

Согласно последней Унифицированной региональной схеме пермских отложений Верхояно-Охотского региона [2] в Усть-Ленской структурно-фациальной подзоне граница карбона и перми проведена в основании туорасисской свиты, основываясь на данные Б.С. Абрамова [4] о появлении раннепермского комплекса брахиопод (*Jakutoproductus verkhoyanicus* (Fredericks), *J. crassus* Kaschirzew и др.) именной в этой свите, тогда как подстилающая кубалахская свита была охарактеризована брахиоподами верхнекаменноугольной зоны Jakutoproductus protoverkhoyanicus. Однако новые данные не подтверждают ранее приводившиеся для кубалахской свиты палеонтологические списки, что потребовало существенного изменения в составе брахиоподового комплекса указанной свиты, а также переосмысления взгляда на положение границы карбона и перми в разрезе.

2. Основной раздел

Разрез Кубалахский был послойно изучен совместно с Р.В. Кутыгиным, Л.Г. Перегоедовым и А.Н. Килясовым в 2010 и 2019 гг. Долина руч. Кубалах рассекает разрез кубалахской свиты на два обнажения, которые ранее нами было предложено рассматривать в ранге подсвит [5]. Ниже устья руч. Кубалах установлена нижнекубалахская подсвита (обн. 10R3, слои 1-10, видимая мощность 224 м). В устье руч. Кубалах наблюдается перерыв в обнажении, мощностью около 80 м. Выше устья руч. Кубалах вскрывается верхнекубалахская подсвита (обн. 10R2, слои 1-7, видимая мощность 86 м).

Нижнекубалахская подсвита представлена моноклинально залегающими аргиллитами разнозернистыми алевролитами и мелкозернистыми песчаниками. В прослое мелкозернистого песчаника (средняя часть слоя 9) обнаружен один экземпляр *Rhynoleichus* sp. Выше в отложениях мелкозернистого песчаника (кровля слоя 9) и крупнозернистого алевролита (основание и кровля слоя 8) определены десятки экземпляров брахиопод *Jakutoproductus protoverkhoyanicus* Kaschirzew, характеризующего одноименную зону каменноугольных отложений [2,5,6,7]. В аргиллитах и мелкозернистых алевролитах слоя 7 найдены десятки экземпляров *Verchojania abramovi* Makoshin и единичные экземпляры брахиопод *Jakutoproductus protoverkhoyanicus* Kaschirzew, *Verchojania* cf. *monstrosus* (Ganelin), *V.* sp., *Cancrinella*? *alazeica* Zavodowsky, *Tornquistia* sp., *Rhynchopora* sp. В крупнозернистых алевролитах основания слоя 2 установлено более 10 экземпляров *Tornquistia kolymensis* Afanasjeva. Вид *Verchojania abramovi* Makoshin интересен наличием язычка в передней части синуса. Данный признак позволяет расширить диагностические признаки рода *Verchojania* [8]. Вид *Verchojania* cf. *monstrosus* (Ganelin) в Верхоянье обнаружен впервые. *Verchojania monstrosus* (Ganelin) является видом-индексом одноименного биостратона верхней части пареньского надгоризонта (верхний карбон) Колымо-Омолонского региона [2,9]. Под вопросом остается отнесение вида *Cancrinella*? *alazeica* Zavodowsky к роду *Cancrinella*. В связи с проведенной В.Г. Ганелиным и С.С. Лазаревым [10,11], а также В. Ли [12] ревизией рода *Cancrinella*, необходимо выяснить принадлежность вида *C.*? *alazeica* к роду *Cancrinella* или *Costatumulus*, что требует дополнительной монографической обработки материала.

Верхнекубалахская подсвита охарактеризована переслаивающиеся разнозернистыми алевролитами с редкими прослоями песчаников. В кровле подсвиты выделяется пачка мелко- и среднезернистых песчаников мощностью 10 м, являющаяся четким литологическим маркером. В мелкозернистых алевролитах основания слоя 3 установлены десятки экземпляров брахиопод *Waagenoconcha* aff. *wimani* (Fredericks) и два экземпляра *Orbiculoidea* sp. В кровле слоя 4 определены десятки раковин брахиопод *Jakutoproductus verkhoyanicus* (Fredericks), *J. crassus* Kaschirzew, *Rhynchopora* sp. Выше в крупнозернистых алевролитах слоев 5 и 6 найдены единичные экземпляры *Jakutoproductus verkhoyanicus* (Fredericks) и *J. crassus* Kaschirzew. Представленный комплекс брахиопод верхнекубалахской подсвиты характерен для зоны J. verkhoyanicus, хорокытского горизонта Верхоянья [6]. Установленные ваагеноконхи отличаются от подробно описанного Т.Г. Сарычевой *Waagenoconcha wimani* (Fredericks) [13], меньшим размером, приуроченностью наибольшей ширины к средней части створки, менее выпуклой и менее обособленной макушкой, которая слабее выходит за замочный край. Ранее в процессе исследования опорных верхнепалеозойских разрезов Верхоянья были найдены такие же экземпляры в обнажениях эчийской свиты руч. Эндыбал, руч. Челгэ (Западное Верхоянье) и р. Соболох-Маян, руч. Суровый (Орулганский хребет). Видовое отношение найденных ваагеноконх требует дальнейшего сбора палеонтологического материала, с последующим его детальным монографическим изучением.

3. Выводы

В результате изучения коллекций брахиопод Кубалахского разреза в нижнекубалахской подсвите выделена зона Jakutoproductus protoverkhoyanicus, характеризующая верхнюю часть кыгылтасского горизонта Верхоянья. По находкам в верхнекубалахской подсвите брахиопод *Jakutoproductus verkhoyanicus* (Fredericks) можно уверенно относить рассматриваемые

отложения к зоне Jakutoproductus verkhoyanicus, соответствующей хорокытскому горизонту Верхоянья. В связи с этим, граница карбона и перми, совмещаемая с границей кыгылтасского и хорокытского горизонтов, проходит не в основании туорасисской свиты, а внутри кубалахской.

4. Благодарности

Выражаю искреннюю благодарность Р.В. Кутыгину, Л.Г. Перегоедову, А.Н. Килясову за участие в совместных полевых исследованиях, а также В.Г. Ганелину за ценные консультации. Работа выполнена по госзаданию ИГАБМ СО РАН, проект № 0381-2019-0002.

5. Литература:

[1] Kaschirzew, A.S., Kaschirzew, V.A., Safronov, A.F., Semenov, V.P. Key section of Carboniferous and Lower Permian sediments in the estuary of the Lena River // Trudy IX nauchnoj konferentsii inzhenerno-tekhnitseskogo fakul'teta (tezisy dokladov). Yakutsk, 1966, pp. 54–58 (in Russian).

[2] Resolutions of the Third Interdepartmental Regional Conference on the Stratigraphy of the Precambrian, Paleozoic, and Mesozoic of Northeastern Russia, St. Petersburg, 2002, Koren, T.N. and Kotlyar, G.V., Eds., St. Petersburg: Vseross. Nauchno-Issled. Geol. Inst., 2009 (in Russian).

[3] Mezhvilk, A.A. Stratigraphy of Northern Kharaulakh // Sovetskaya geologiya, 1958, no. 7, pp. 43–61 (in Russian).

[4] Abramov, B.S. and Grigorjeva, A.D. Biostratigraphy and Brachiopods of the Permian of the Verkhoyansk Region. Moscow: Nauka, 1988, 204 pp. (in Russian).

[5] Makoshin, V.I., Kutygin, R.V. Biostratigraphy and brachiopods of the Asselian–Sakmarian sediments of the Kubalakh section (lower reaches of the Lena River) // Otech. Geol., 2014, no. 4, pp. 17–21 (in Russian).

[6] Makoshin, V.I., Kutygin, R.V. Asselian–Sakmarian (Lower Permian) Brachiopod Zonation of the Verkhoyansk Region, Northeast Russia // Stratigraphy and Geological Correlation, 2020. Vol. 28. No. 7. P. 716–744.

[7] Makoshin, V.I., Kutygin, R.V., Peregoedov L.G. Biostratigraphy and brachiopods of the Carboniferous-Permian boundary deposits of the Kubalakh section (lower reaches of the Lena River) // XVIII International Congress on the Carboniferous and Permian. August 11-15, 2015, Kazan, Russia. Kazan: Kazan University Press, 2015, pp. 115.

[8] Makoshin, V.I. A New Species of the Genus *Verchojania* Abramov (Brachiopoda, Productida) from the Upper Carboniferous of the Northern Verkhoyansk Region // Paleontological Journal, 2020, vol. 54, no. 2. pp. 111–116.

[9] Ganelin, V.G., Tschernjak, G.E. Marine basins of Northeast Asia // The Carboniferous of the World. Vol. III. Madrid: Instituto Tecnologico GeoMinero de Espana, 1996, pp. 207–234, 384–397.

[10] Ganelin, V.G., Lazarev, S.S. Revision of the Permian thin-ribbed linoproductoids: Article 1. The ''Cancrinella'' koninckiana (Keyserling, 1846) Group // Paleontological Journal, 1999, vol. 33, pp. 243–253 (in Russian).

[11] Ganelin, V.G., Lazarev, S.S. Revision of the Permian thin-ribbed linoproductoids: Article 2. The ''Cancrinella'' ogonerensis Zavodowsky Group, 1960 // Paleontological Journal, 2000, vol. 34, no. 1, pp. 40–46 (in Russian).

[12] Li, W., Shi, G.R., Yarinpil, A., He, W., Shen, S. Cancrinella and Costatumulus (Brachiopoda) from the Permian of South Mongolia and South China: Their morphology, biostratigraphy and distribution // Geobios, 2012, vol. 45, no. 3, pp. 297–309.

[13] Sarytcheva, T.G. Productides of the genus Waagenoconcha Chao in the Carboniferous and Permian of Siberia and the Arctic // Voprosy evolutsionnoy morphologii brakhiopod. Moscow: Nauka, 1984, pp. 120–135 (in Russian).

УДК 522.22, 552. 23, 522.33

МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ УЛЬТРАКАЛИЕВЫХ ПОРОД УЧАСТКА КАЛЮМНЫЙ СЫННЫРСКОГО МАССИВА (СЕВЕРНОЕ ПРИБАЙКАЛЬЕ)

Максим Милаушкин[1,2]

1 Институт геологии и минералогии имени В.С. Соболева СО РАН, пр. Академика Коптюга, 3, Новосибирск, 630090, Россия

2 Кафедра минералогии и геохимии, Новосибирский государственный университет, ул. Пирогова, 1, Новосибирск, 630090, Россия

MINERAL AND GEOCHEMICAL FEATURES OF ULTRA-POTASSIUM ROCKS OF THE KALUMNY SITE OF THE SYNNYRSKY MASSIF (NORTHERN BAIKAL REGION)

Maksim Milaushkin[1,2]

1 V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy, SB RAS, 3 Acad. Koptyuga Ave., Novosibirsk, 630090, Russia

2 Department of Mineralogy and Geochemistry, Novosibirsk State University, 1 Pirogova St., Novosibirsk, 630090, Russia

Annotation. A mineralogical and geochemical study of the alkaline ultra-potassium rocks of the Kalyumny site (Synnyr massif) was carried out. The chemical compositions of rocks in the series biotite pyroxenite-shonkinite-part of the alkaline syenites form a single evolutionary trend towards synnyrites. The chemical composition of the minerals is stable and generally unchanged in all varieties of rocks of the massif.

In synnyrites, there is a moderately differentiated distribution of rare earths elements (REE). Other breeds differ in the concentration of REE with a relative similarity in the nature of their distribution. In general, the nature of the geochemical spectra of the REE distribution is identical for all rocks of the site. The rocks are enriched with LREE, as well as large-ionic lithophilic elements. Synnyrites are of great practical interest, as they are a promising source of potassium-aluminum raw materials.

1. Введение

Сыннырский массив – уникальный и самый большой в мире ультракалиевый массив миаскитового химизма. Сынныриты – уникальные ультракалиевые породы, сложенные агрегатом псевдолейцита. Сынныриты являются потенциальным источником K-Al-Si. Участок Калюмный обладает наибольшими запасами руды, его эксплуатация является весьма перспективным направлением. Цель данной работы – выявление минералого-геохимических особенностей ультракалиевых пород участка Калюмный Сыннырского массива, обоснование их генетического родства и уточнение схемы формирования пород участка. Работа основана на петрографических описаниях коллекции шлифов щелочных пород участка Калюмный (38), с использованием оптической (Olympus BX51, ZEISS Primotech) микроскопии, электронной микроскопии (90), на микрозондовых (156), петрохимических (РФА - 200), геохимических (ICP-MS - 45) анализах. Проведен химический анализ 200 образцов пород. Определение содержаний главных элементов в породах выполнено рентгенофлуоресцентным методом (ИГХ СО РАН, г. Иркутск). Химический анализ минералов был осуществлен с помощью (электронно-зондового микроанализатора JXA-8230 в ИГМ СО РАН, г. Новосибирск) и с помощью энерго-дисперсионного спектрометра (ЭДС) на сканирующем электронном микроскопе (СЭМ) MIRA 3 LMU (Tescan Orsay Holding), оснащённом системой микроанализа Aztec Energy XMax-50 (Oxford Instruments Nanoanalysis Ltd). Определение содержаний рассеянных элементов проведено методом масс-спектрометрии с ионизацией в индуктивно связанной плазме (ICP-MS) на приборе ELEMENT2 (ИГХ СО РАН, г. Иркутск).

2. Геологическое строение и возраст Сыннырского массива

Сыннырский плутон является самым большим в мире ультракалиевым массивом центрального типа, миаскитового химизма. Сыннырский щелочной массив находится на территории Северо-Байкальского рудного района (СБРР) в пределах Байкальской складчатой области. Геодинамическая обстановка территории приурочена к протяженной рифтовой зоне палеозойского возраста от оз. Байкал до Алданского щита [1].

Форма массива по геофизическим и геологическим представлениям – грибообразная, лакколитовая. Массив сформирован в результате внедрения двух интрузивных фаз: ранней лакколитовой интрузии высококалиевых фоидных сиенитов, занимающей площадь около 500 км^2 и позднего диапирового штока пуласкитов площадью около 90 км^2. Площадь массива почти 600 км^2.

Возраст пород по данным (K-Ar метод) 320-340 млн. лет [2]. Проведенные U-Pb геохронологические исследования цирконов из щелочных сиенитов Сыннырского массива показали, что возраст пород составляет 289,5±3,5 млн лет [3].

Участок Калюмный, изученный на поисково-оценочной стадии, является наиболее перспективным рудным объектом в пределах массива [4, 5].

Петрохимические особенности пород участка Калюмный

Исследован химический состав основных петрогенных компонентов пород участка. Как видно из диаграмм (Рисунок 1) химические составы пород в ряду биотитовый пироксенит – шонкинит – часть щелочных сиенитов образуют единый эволюционный тренд. В этом ряду происходит постепенное увеличение кремнекислотности пород, наблюдается увеличение содержания Al, уменьшение содержания Mg и Fe от меланократовых к лейкократовым породам. Это указывает на процессы кристаллизационной дифференциации при формировании пород участка. Петрохимические данные подтверждают образование пород из единой магмы (Рисунок 1).

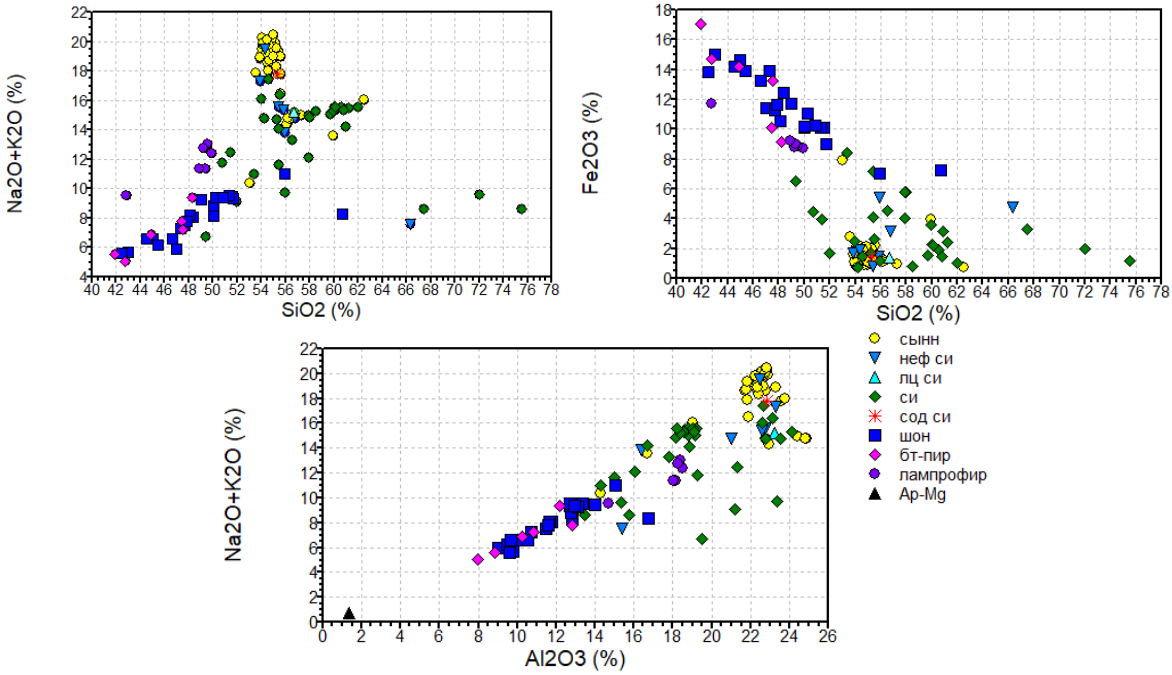


Рисунок 1. Вариационные диаграммы распределения петрогенных элементов в породах участка Калюмный. Показаны парные корреляции для следующих оксидов: Na_2O+K_2O/SiO_2, Fe_2O_3/SiO_2, Na_2O+K_2O/Al_2O_3,

1 – сыннириты, 2 – нефелиновые и лейцит- нефелиновые сиениты, 4 – щелочные сиениты, 5 – содалитовые сиениты, 6 – шонкиниты, 7 – биотитовые пироксениты, 8 – лампрофиры (дайки), 9 – магнетит-апатитовые породы.

Предполагаемая схема магматизма Сыннырского массива следующая: биотитовые пироксениты – шонкиниты – лейцитовые сиениты (сыннириты) – нефелиновые сиениты (дитроиты) – фельдшпатоидные сиениты (пуласкиты) – кварцевые сиениты – щелочные граниты – щелочные лампрофиры (дайки) – фоскориты – карбонатиты.

Геохимические особенности пород участка Калюмный

В сыннырите умеренно-дифференцированное распределение редких земель (REE). Другие породы, отличаются концентрацией REE при относительном подобии характера их распределения. В целом, характер геохимических спектров распределения REE идентичен для всех пород участка, что свидетельствует об их генетическом родстве. Породы обогащены LREE, а также крупноионными литофильными элементами (Рисунок 2, 3).

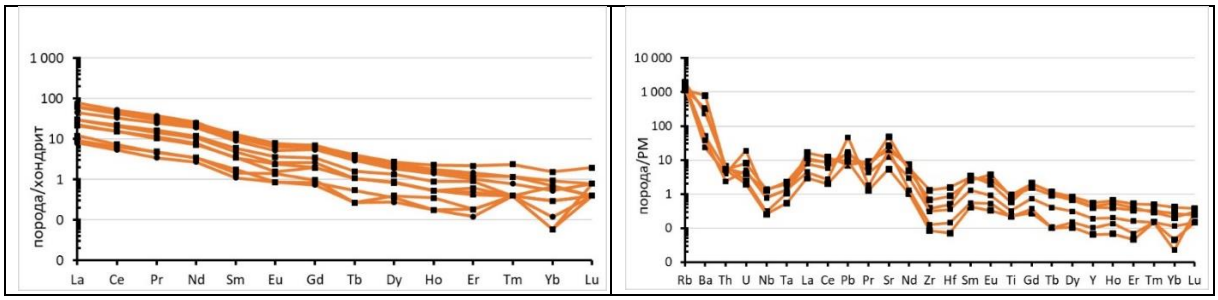


Рисунок 2. Распределение редкоземельных элементов, нормированные по хондриту C1 [6], и редких элементов нормированные по примитивной мантии [7] в сыннырите участка Калюмный.

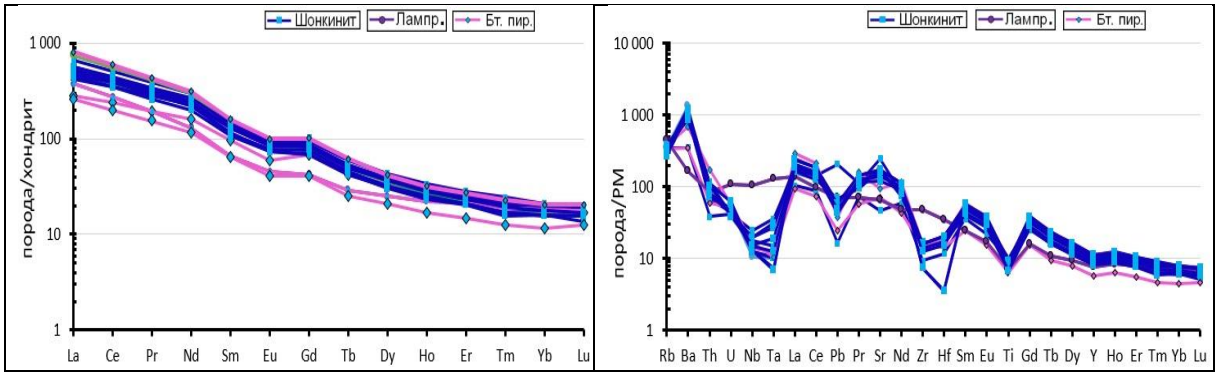


Рисунок 3. Распределение редкоземельных элементов, нормированные по хондриту C1 [6], и редких элементов нормированные по примитивной мантии [7] в биотитовых, пироксенитах, шонкинитах, лампрофирах, щелочном вулканите участка Калюмный.

3. Составы минералов

Пироксены во всех типах пород представлены диопсидом, с небольшой долей эгиринового минала. Слюды по составу близки к Fe - флогопиту и Mg - биотиту. Калиевый полевой шпат без примесных компонентов в лейкократовых разновидностях пород, в лампрофирах, шонкинитах представлен микроклином со значительной долей альбитового минала. Гранат в породах представлен андрадитом. Кальсилит встречается только в сыннырите. Кальсилит имеет выдержанный состав. В нем содержится от 1 до 2 % примеси железа. Рудные минералы представлены магнетитом, его среднее содержание в породах составляет около 1 – 2 %. Акцессорные минералы: апатит, сфен, ильменит, циркон. Сфен и ильменит выдержанного состава. Апатит относится к группе фторапатитов, содержит до 4 % стронция и до 1 % цериевых редких земель.

4. Выводы

1. Изучены минералого-геохимические особенности ультракалиевых пород участка Калюмный. Уточнена предполагаемая схема формирования пород участка.
2. Ультракалиевые породы участка Калюмный вероятней всего образовались из единой магмы, что подтверждается их петрохимическими и минералого-геохимическими характеристиками.
3. Сыннырит – уникальные ультракалиевые породы, которые могут быть использованы как источник K-Al сырья.

5. Литература:

[1] Gordienko IV, Bulgatov AN, Nefedyev MA, Orsoev DA. Geological and geophysical, forecast-metallogenic researches and exploration prospects of North Baikal ore district mineral resources. Izvestiya Sibirskogo otdeleniya Sektsii nauk o Zemle Rossiiskoi akademii estestvennykh nauk. Geologiya, poiski i razvedka rudnykh mestorozhdenii // Proceedings of the Siberian Department of the Section of Earth Sciences of the Russian Academy of Natural Sciences. Geology, Prospecting and Exploration of Ore Deposits, 2014, no. 2, pp. 5–18 (in Russian).

[2] Zhidkov A.Ya., Mirkina S.L., Golubchina M.N. Ob absolyutnom vozraste shchelochnykh i nefelinovykh sienitov Severo-Baikal'skogo nagor'ya // Proceedings of the Siberian Department of the Section of Earth Sciences of the USSR Academy of Natural Sciences, 1963, 149(1) (in Russian).

[3] Izbrodin I.A., Doroshkevich A.G., Rampilov M.O., Ripp G.S., Lastochkin E.A., Khubanov V.B., Posokhov V.F., Vladykin N.V. Vozrast, mineralogicheskaya i geokhimicheskaya kharakteristika porod Chininskogo shchelochnogo massiva, Zapadnoe Zabaikal'e // Geologiya i Geofizika, 2017, no. 8, pp. 1135–1156 (in Russian).

[4] Tarasov A.V., Ikhina E.R., Kayukov A.E., Goglev D.A. Opyt primeneniya nizkovysotnoi aeromagnitnoi s"emki s kompleksom GEOSKAN-401 - Geofizika na Synnyrskom ul'trakalievom massive. Razvedka i okhrana nedr // Exploration and protection of mineral resources, 2019, no. 10, pp. 20–31 (in Russian).

[5] Arkhangel'skaya V.V. Mestorozhdeniya Synnyritov Rossii. Razvedka i okhrana nedr // Exploration and protection of mineral resources, 2014, no. 6, pp. 20–24 (in Russian).

[6] McDonough W.F., Sun S.-s., The composition of the Earth // Chemical Geology, 1995, no. 120, pp. 223–253.

[7] Sun S.-s., McDonough W.F. Magmatism in Oceanic Basin. Geol. Soc. Amer. Spec. Publ, 1989, no. 42(1), pp. 313–345.

УДК 564.8

УНИКАЛЬНАЯ НАХОДКА СИЛУРИЙСКИХ КОРАЛЛОВ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ЗАПАДНОЙ ЯКУТИИ

Арсен Николаев[1], Валерий Баранов[2]
1 Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, ул. Белинского, 58, г. Якутск, 677000, Россия
2 Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, пр. Ленина, 39, г. Якутск, 677000, Россия

UNIQUE FIND OF THE SILURIAN CORALS IN THE CENTRAL PART OF WESTERN YAKUTIA

Арсен Nikolaev[1], Valeryi Baranov[2]
1 M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, 58 Belinsky St., Yakutsk, 677000, Russia
2 Diamond and Precious Metal Geology Institute SB RAS, 39 Lenin Ave., Yakutsk, 677000, Russia

Annotation. The first from the Silurian rocks of the central part of western Yakutia described by coral faunas: two species tabulate corals Favosites cf. gothlandicus Lamarck, 1816 and Parastriatopora mutabilis (Tchernychev, 1937), and two species rugose corals Altaja ex gr. gracilis (Billings, 1858) and Pseudophaulactis ex gr. lukofilloides Zaprudskaja in Ivanowski, 1963.

1. Введение

Изучение ископаемых кораллов началось 250 лет назад после выхода в свет книги «Система природы» выдающегося естествоиспытателя Карла Линнея. Основы систематики кораллов были заложены другим выдающимся натуралистом Ламарком. Единая система кораллов была разработана Эдвардсом и Геймом в середине XIX века. Большой вклад в разработку систематики кораллов внесла австралийский палеонтолог Д. Хилл. Отечественными палеонтологами был издан в 1962 году капитальный научный труд «Основы палеонтологии», в котором рассмотрена морфология скелета кораллов и предложена их классификация.

Изучением силурийских табулят Сибирской платформы начали заниматься только в середине прошлого столетия. Большая роль в их изучении принадлежит Б.С. Соколову и Ю.И. Тесакову. Все их находки ограничивались только юго-западной и западной окраиной Сибирской платформы. Табуляты из силурийских отложений центральной части Западной Якутии ими не изучались. Изучением ругоз Сибирской платформы интенсивно начали заниматься только в середине прошлого века. А. Б. Ивановский обобщил все имеющиеся к тому материалы только по западной части Сибирской платформы в кандидатской диссертации «Силурийские ругозы западной части Сибирской платформы и их биостратиграфическое значение». В 1965 им была защищена диссертация на соискание степени доктора геолого-минералогических наук. Ее тема называлась «Ругозы ордовика и силура (система, морфогенез скелета, стратиграфическое и палеобиогеографическое значение)». В этих работах были описано более 70 видов ругоз и около 20 видов табулят из силура, но из центральных районов Западной Якутии ругозы им не описывались.

2. Материал

200 экземпляров одиночных и колониальных ругоз и около 10 ветвистых и массивных полипняков табулят из аллювиальных отложений правого, на правом борту р. Оленек возле поселка Оленек. Кораллы совершенно не окатаны и имеет хорошую сохранность.

3. Морфология скелета табулят и ругоз

Кораллы являются наружнораковинными животными, т. е. их мягкое тело было защищено от внешней среды скелетом. Поскольку, мягкое тело у ископаемых кораллов обычно не

сохраняется, при разработке их систематики используются форма скелета и внутренние особенности его строения. Табуляты являлись колониальными животными. Они размножались бесполым (почкованием) и половым путем, т.е. у них существовала и личиночная стадия. Скелетная постройка, которую образуют табуляты называется полипняком, форма которого может массивной, кустистой, стелющейся или пластинчатой. Полипняк состоит из кораллитов - следов роста кораллового полипа, каждый из которых находился на дистальном конце в ямке, которая называется чашкой. Форма чашек изменяется от полигональной, тетрагональной, гексагональной до эллиптической. Пространство, где находился полип, также как и ругоз, называется люменом. На поверхности чашек могут быть развиты септальные образования – шипы или короткие септы. Горизонтальные пластины, поддерживающие тело полипа называются днищами. Днища могут быть полными или неполными. Диссипименты и осевой столбик у табулят встречаются чрезвычайно редко. Поверхность каждого кораллита покрыта эпитекой. Кораллиты в колонии сообщались друг с другом посредством соединительных пор, соединительных каналов и соединительных трубок [2].

Ругозы или четырехлучевые кораллы были как одиночными, так и колониальными животными. Морфология их внешнего скелета очень разнообразна. Их верхняя часть, где имеется небольшое углубление, в котором жил полип, называется чашкой или дистальным частью, а нижняя часть, которой он прикреплялся к субстрату – проксимальной. Одиночные ругозы по форме внешнего скелета подразделяются на: 1) рогообразные, которые в зависимости от угла при вершине делятся на ряд подтипов; 2) туфлеобразные или кальцеоловые, с одной плоской поверхностью, которая при жизни соприкасалась с дном и крышкой, которая закрывала чашку; 3) цилиндро-конические; 4) дискоидальные. Одиночные ругозы прикреплялись к дну при помощи каблучка прирастания или корневых выростов [1,3].

Колониальные ругозы размножались почкованием, значительно реже делением. Колония ругоз называется ветвистой, если она соприкасается только в месте отпочкования. Колония называется массивной, если кораллиты плотно соприкасаются на всем ее протяжении. Если в массивной колонии присутствуют ветвистые участки она называется рамозной. В цероидной разновидности массивной колонии кораллиты всегда сохраняют свои стенки, а ветвистой – стенки утрачиваются.

Снаружи все ругозы покрыты тонким слоем голотеки, на которой различимы линии нарастания или руги (морщины), от которых и произошло название ругоз. Внутрь от голотеки расположен следующий покрывающий слой – эпитека, на которой видны продольные ребра и борозды. В ископаемом состоянии голотека часто не сохраняется и тогда скелет выглядит продольноребристым. На верхнем или дистальном конце коралла находится углубление, которое называется чашкой. В нем находилось тело полипа. Форма чашек бывает бокаловидной или воронкообразной с отвернутыми, острыми или плоскими краями. На дне чашки могут быть расположены возвышения (осевые столбики, вортексы и т.д.) или ямки. Внутренняя полость коралла, ограниченная снаружи голотекой и эпитекой называется люменом, а область люмена, в которой жил полип называется висцеральной камерой. В чашке часто наблюдаются фоссулы – это углубления на ее дне, представляющие расширение межсептальных промежутков около протосепт. Скелетные образования внутри коралла подразделяются на вертикальные и горизонтальные. К вертикальным образованиям относятся септы, а к горизонтальным – днища и диссипименты. У ругоз встречаются септы несколько порядков и циклов. Первые появившиеся протосепты делят люмен на шесть секторов или сектантов, каждый из которых делится новыми септами. У силурийских ругоз часто выделяются септы трех порядков-циклов. Очень часто у ругоз встречаются осевые структуры, которые могут быть представлены истинным осевым столбиком, развивающимся независимо от септ и столбиком, связанным с главной или противоположной септой. В том случае, если в образовании осевых структур принимают участие как горизонтальные, так и вертикальные образования, то они называются осевыми колоннами.

Большое значение для систематики табулят придают строению микроструктуры стенки.

4. Описание табулят и ругоз

Тип Coelenterata
Класс Anthozoa
Подкласс Tabulata.
Отряд Favositida Wedekind, 1937
Подотряд Favositina Wedekind, 1937
Семейство Favositidae Dana, 1846
Подсемейство Favositidae Dana, 1846

Род *Favosites* Lamarck, 1816

Вид *Favosites* cf. *gothlandicus* Lamarck, 1816 относится к подсемейству Favositinae. Его синонимика достаточно полно изложена Ю.И. Тесаковым [4]. Полипняки средних размеров до 32 мм в диаметре и высотой до 21 мм. Кораллиты полигональные, пяти- шестиугольные. Диаметр крупных кораллитов составляет 2.0–2.2 мм. Стенки толщиной до 0,3 мм. Стенка с четко выраженным срединным швом. Поры мелкие округлые, располагающиеся на стенках в 1 – 2 ряда. Днища горизонтальные или слегка вогнутые, располагающиеся друг от друга на расстоянии 0,1 – 2 ,0 мм. Из-за неполноты материала вид описан со знаком cf. (сходный) (Рисунок 1).

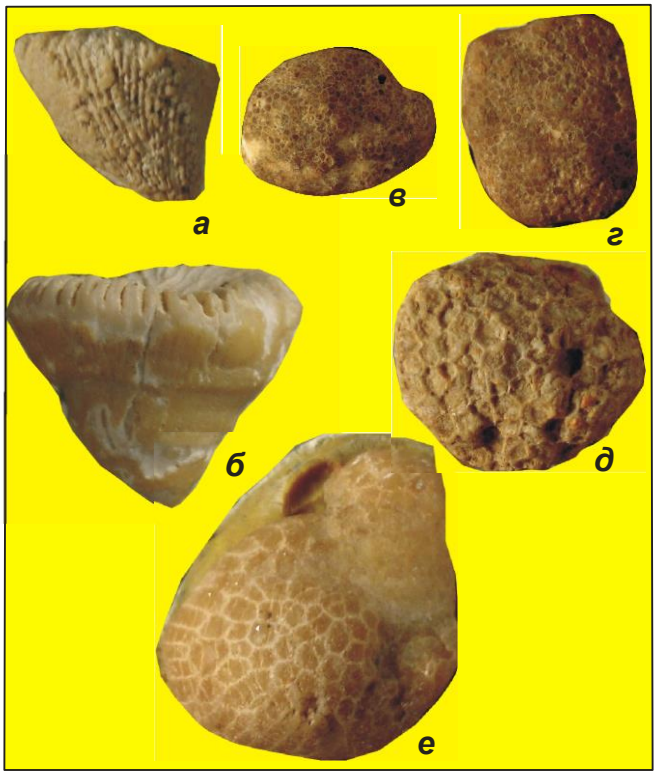


Рисунок 1. Внешняя форма полипняков ругоз (а–е) и табулят (в– е) из силурийских отложений западной части Центральной Якутии:
а–б – кубковидные ругозы *Pseudophaulactis* ex gr. *lukofilloides* Zaprudskaja in Ivanowski, 1963. в–г – желваковидные и цилиндрические полипняки *Parastriatopora mutabilis* (Tchernychev, 1937), д–е – массивные полипняки *Favosites* cf. *gothlandicus* Lamarck, 1816.

Отряд Halysitida
Подотряд Thamnoporina
Семейство Pachyporidae Gerth, 1921

Род *Parastiatopora* Sokolov, 1949

Вид *Parastriatopora mutabilis* (Tchernychev, 1937) отнесен к семейству Pachyporidae. Полипняки цилиндрические, кораллиты полигональные, диаметром до 35 мм. Обломки длиной до 30 мм. Основание колоний не изучено. Кораллиты растут радиально вверх, затем резко изгибаются к внешнему краю колонии и открываются на поверхность. Максимальный диаметр кораллитов в

центральной части колонии составляет от 0,9 до 1,2 мм. Чашки не сохранились. Стереоплазматическое кольцо выражено не очень отчетливо. Стенки в центральной части колонии тонкие от 0,15 до 0,25 мм. На периферии их толщина увеличивается до 0,30 мм. Поры расположены как на стенках кораллитов, так в углах. Диаметр пор 0,15–0,20 мм. Днища в центральной части и на периферии колонии горизонтальные, расположенные друг от друга на расстоянии 0,1–1 мм. Септальные образования не наблюдаются. Размножение происходит внутричашечным почкованием (Рисунок 1).

Местонахождение. Правый берег р. Оленек напротив поселка Оленек, центральная часть Западной Якутии.

Географическое и стратиграфическое распространение. Силурийские отложения Сибирской платформы и Западной Европы. В Подолии (Украина) встречается в лудловском ярусе.

Подкласс Sclerocorallia

Отряд Rugosa

Подотряд Streptelasmatida

Надсемейство Densiphyllicioidea

Семейство Streptelasmatidae Nicholson in Nicholson et Lydekken, 1869

Род *Pseudophaulactis* Zaprudskaja in Ivanowski, 1963

Pseudophaulactis ex gr. *lukofilloides* Zaprudskaja in Ivanowski, 1963. (Рисунок 1).

Описание. Крупные (до 35 мм в высоту и до 28 мм в диаметре) одиночные, рогообразно изогнутые кораллы, покрытые голотекой с хорошо выраженными морщинами. При разрушении голотеки обнажается септальный аппарата, который создает иллюзию ложной продольной ребристости. На ранних и средних стадиях роста широкие септы примыкают очень плотно друг к другу. Они сильно изгибаются ближе к осевой части, но правильного вортекса не образуют. На взрослых стадиях септы становятся тоньше. Днища различной формы: полные, неполные и куполообразно-выпуклые. Расстояние между днищами составляет 0,8 – 1,1 мм.

Местонахождение. Правый берег р. Оленек напротив поселка Оленек, центральная часть Западной Якутии.

Географическое и стратиграфическое распространение. Силурийский период, лландоверийский ярус Сибирской платформы, Средней Азии и Горного Алтая.

Надсемейство Arachnophyllioidea

Семейство Arachnophyllidae Dybowski, 1873

Род *Altaja* Zheltonogova, 1960

Altaja ex gr. *gracilis* (Billings, 1858)

Синонимика. *Altaja silurica* gen. et sp. nov.: Желтоногова, 1960, с. 87, табл. S-24, фиг. 1; *Altaja gracilis* (Billings): Ивановский, Кульков, 1974, с. 33, табл. 9, фиг. 2, табл. 10, фиг. 1.

Описание. Колонии массивные. Колонии пяти- или шестиугольные. Кораллиты в поперечном сечении имеют диаметр 6 – 8 мм. Септы достигают центр кораллита. Малые септы погружены в диссепиментариум. Общее количество септ составляет 38–42. Чашки неглубокие с отчетливыми срединными столбиками. Из-за неполноты материала и отсутствия сведений о строении днищ вид описан со знаком ex gr. (из группы).

Местонахождение. Правый берег р. Оленек напротив поселка Оленек, центральная часть Западной Якутии.

Географическое и стратиграфическое распространение. Средняя часть силура Канады, верхняя часть лландоверийского яруса севера Сибирской платформы и южных районов Западной Сибири.

5. Выводы

Уникальность находки лландовенийских табулят и ругоз в среднем течении р. Оленек внутри поля распространения кембрийских известняков можно объяснить либо переносом льдинами обломков пород, которые выходят на дневную поверхность в 300 км выше по течению реки, либо тектоническим блоком.

6. Литература:

[1] Sokolov B.S. Subclass Tabulata. Tabs // Fundamentals of paleontology. Reference book for paleontologists and geologists of the USSR. Moscow: publishing house of the Academy of Sciences of the USSR, 1962, pp. 192–265.

[2] Sokolov B.S., Ivanovskiy A.B., Krasnov E.V. Morphology and terminology of coelenterates. M .: publishing house "Science", 1971, pp. 159.

[3] Soshkina E.D., Dobrolyubova T.A., Kabakevich N.V. Subclass Tetracoralla. Four-beam corals // Fundamentals of paleontology. Reference book for paleontologists and geologists of the USSR. Moscow: publishing house of the Academy of Sciences of the USSR, 1962, pp. 286–356.

[4] Tesakov Yu.I. Favositides of Podolia. Moscow: Nauka, 1971, pp. 116.

УДК 550.34.06.013.3

СЕЙСМОФАЦИИ ВУЛКАНИТОВ УЛКАНО-КЫЛЛАХСКОГО РИФТА АЛДАНО-МАЙСКОГО ПРОГИБА ПО ДАННЫМ СЕЙСМОСТРАТИГРАФИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Анатолий Оболкин
Институт проблем нефти и газа ЯНЦ СО РАН, ул. Петровского 2, г. Якутск, 677980, Россия

SEISMOFACIES OF THE VOLCANIC ROCKS OF THE ULKAN-KYLLAKH RIFT OF THE ALDAN-MAYA BASIN ACCORDING TO THE DATA OF SEISMOSTRATIGRAPHIC ANALYSIS

Anatoly Obolkin
Institute of Oil and Gas Problems YSC SB RAS, 2 Petrovsky St., Yakutsk, 677980, Russia

Annotation. Based on the materials of seismic surveys, the structure of the northern part of the rift zone, which lies at the base of the Aldan-Maisky trough, has been studied by the method of seismostratigraphic analysis. The existence at the base of the rift zone of seismic facies of volcanic rocks, subvolcano, plate complex, rifting forming an independent structural stage of the Paleoproterozoic age at the base of the rift zone is shown. The seismic facies correlate with the outcrops of volcanic rocks, plate complex, rifting in the Ulkan Basin, which confirms the point of view expressed earlier by the author about the existence in the Paleoproterozoic of a single Ulkano-Kyllakh rift zone separating the Batomgsko-Maisky horst-anticlinorium from the Siberian platform.

1. Введение

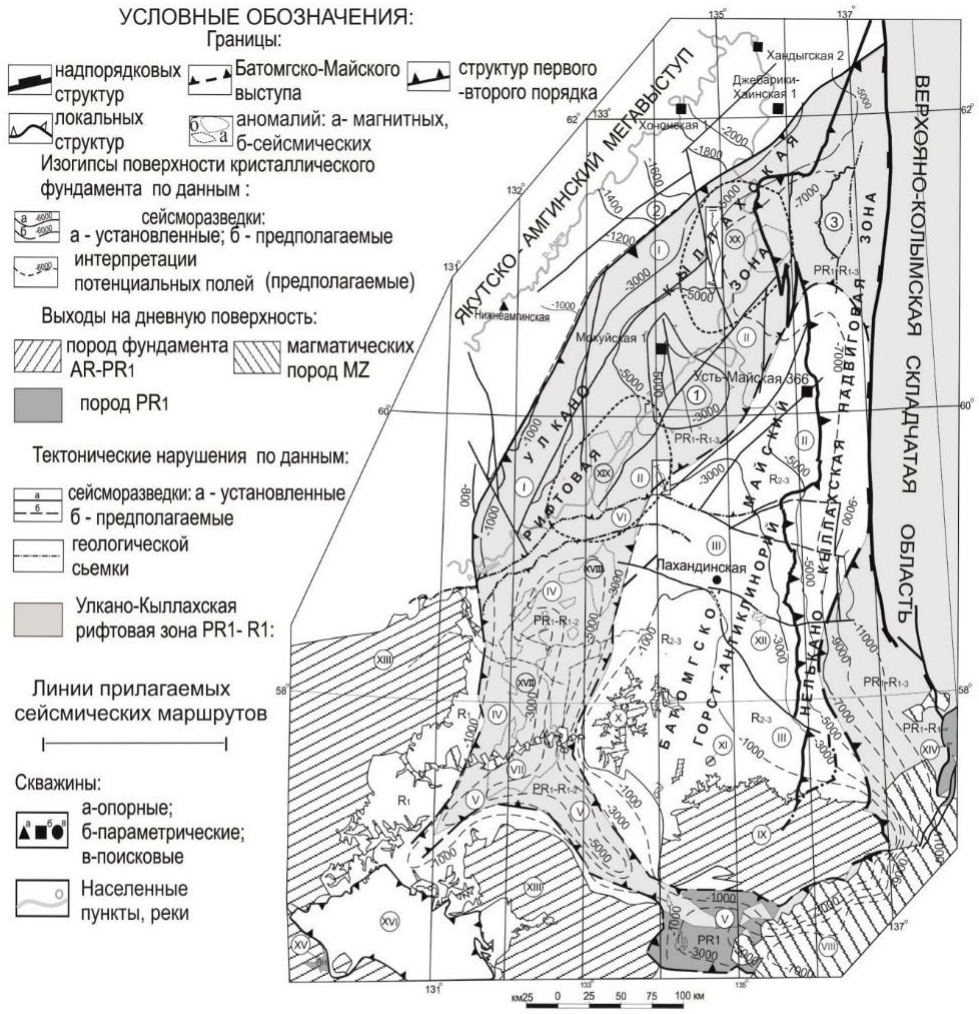
По результатам исследований сейсморазведкой методом общей глубинной точки (МОГТ) в основании Алдано-Майского прогиба выявлены Улкано-Кыллахский рифт и Батомгско-Майской выступ фундамента (Рисунок 1). Предварительные результаты работ опубликованы в 2011 г и в материалах конференций [1]. Кроме стандартных методов интерпретации сейсморазведочных материалов использовалась сейсмостратиграфия (СС) [2]. Одним из актуальных вопросов изучения Улкано-Кыллахского рифта является рассмотрение аномалий сейсмической записи вулканогенного и плитного типов, коррелируемых с вулканитами Улканского прогиба. В докладе приводятся результаты СС анализа нижних структурно-тектонических этажей (СТЭ) рифтовой зоны (РЗ), ранее показанных в производственных отчетах [1].

2. Основная часть

По данным интерпретации сейсмических материалов прогиба, выполненных с применением СС, в нижней части Улкано-Кыллахской РЗ выделены сейсмофации (СФ) вулканитов (Рисунки 1-3). Вулканиты проявляются в сейсмическом волновом поле характерными особенностями, к которым относятся:

1. СФ субвулканов в виде локальных конусов выноса, окаймляющих приподнятую зону, несогласного залегания по отношению к подстилающим и перекрывающим толщам;
2. Выделение высокоамплитудных, извилистых, линзовидных ОВ различной протяженности, переходящих по латерали в протяженные, выдержанные СФ, прослеживаемые на десятки км;
3. Проявление высокоамплитудных отраженных волн (ОВ), по всей толще СФ вулканитов, и в ряде случаев СФ пластовых тел;
4. Появление в разрезе осадочного чехла, субпластовых тел с переходами, в зонах дизъюнктивов, на выше или ниже залегающие уровни;
5. Прослеживаемость в неизменном виде (сохранность амплитуд ОВ слагающих СФ) с малых до больших (10-13км) глубин [1].

На рисунке 1 показан фрагмент I-I сейсмического профиля №070303А, временной разрез которого показан на рисунке 2 А. На разрезе выделены (снизу вверх): СФ вулканитов, переходящих вверх по склону в СФ субвулкана, что подтверждается положительным максимумом магнитной аномалии, пересеченной сейсмическим профилем (Рисунок 2 А,Б); СФ плитного комплекса перекрытых вулканитами; выше по разрезу выявлены косослоистые СФ борта рифта, залегающие с угловым несогласием на вулканитах, слагающих основание рифтовой зоны (Рисунок 2 А, Б). В северной части основания рифта, присутствуют аналогичные аномалии (Рисунок 3). Суммарная мощность рассмотренных СФ вулканитов составляет от 1800 до 3000 м. В плане СФ вулканитов по площади значительно перекрывают примыкающие аномалии положительного магнитного поля (Рисунок 1). В районе расположения Мокуйской скважины перекрывающая плитный комплекс верхняя СФ вулканитов выпадает из разреза.



I-Алданская моноклиналь. Впадины: II-Алданская; III-Майская; IV-Учурская; V- Улканская, VI-Дыгдинский вал. Вулкано-плутонические структуры: VII-Кет-Капский; VIII-Удско-Куйдусунский. Выступы кристаллического фундамента: IX-Батомгский; X-Омнинский; XI-Кадарский; XII-Ингилийский; XIII-Учурский. XIV-Билякчанский тектонический блок. XV-Мевочанский авлакаген. XVI- Токкинская впадина. Магнитные положительные аномалии: XVII-Аимская; XVIII-Чыянская; XIX-Мильская; XX-Кыллахская. Локальные структуры: 1-Нижнемайская; 2- Куолумский вал; 3-Горностахская антиклиналь.

Рисунок 1. Структурная карта поверхности кристаллического фундамента Алдано-Майского прогиба по данным сейсмо-, грави-, магниторазведки [1].

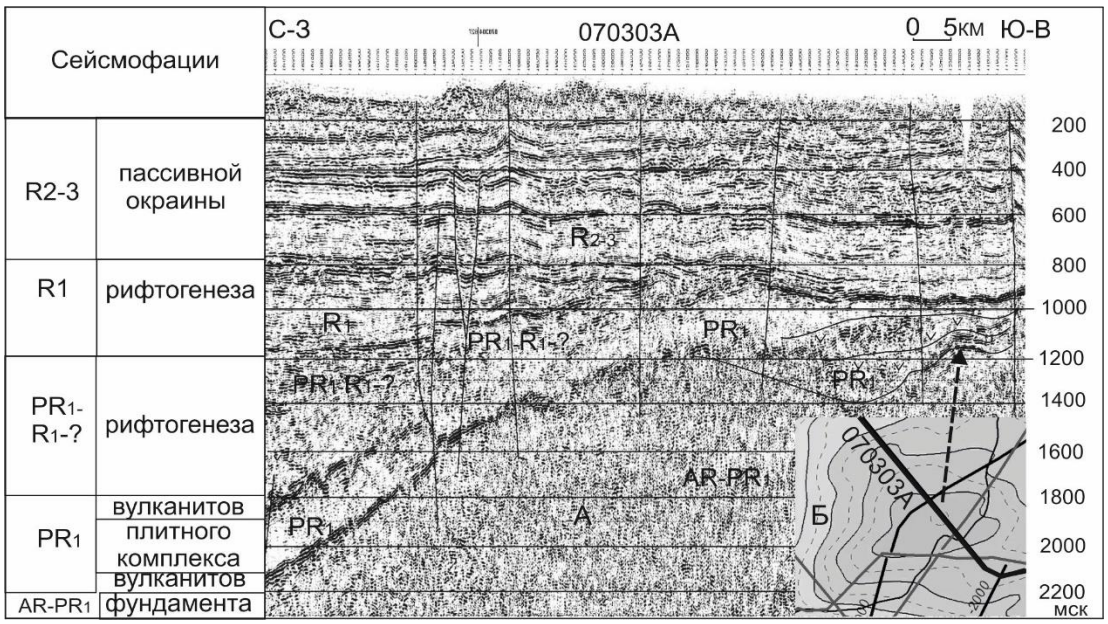


Рисунок 2. А.- Фрагмент временного разреза профиль (I-I) на рисунке 1. Сейсмофации южной части Алдано-Майского прогиба. Б -Выкопировка из карты аномального магнитного поля ΔТа (нТл) РС(Я) масштаба 1:500000

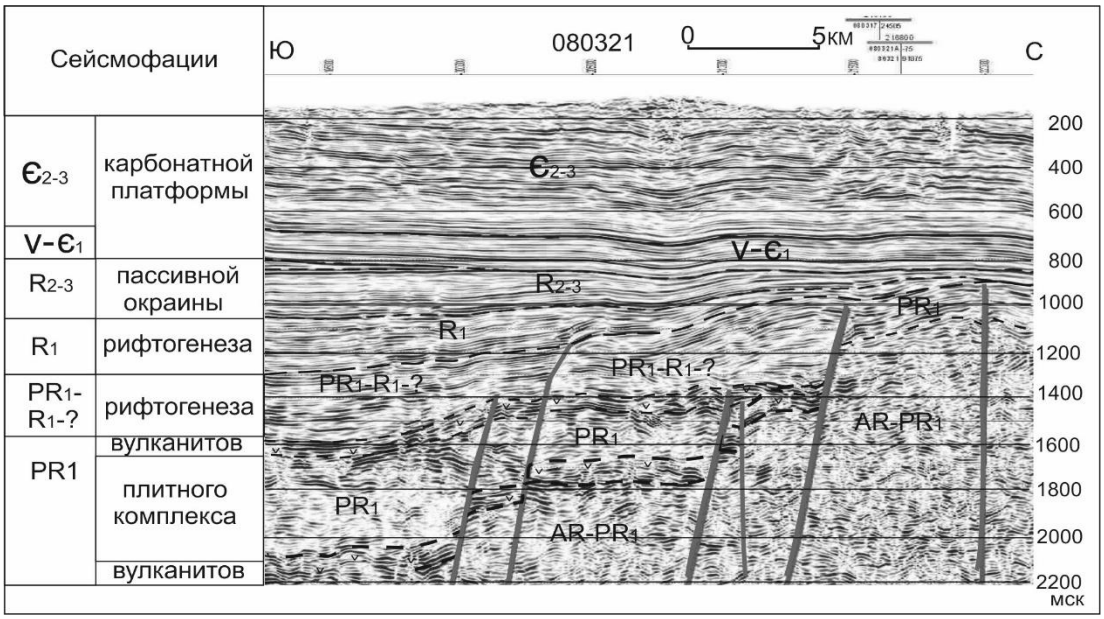


Рисунок 3. Фрагмент временного разреза профиль (I-I) на рисунке 1. Сейсмофации центральной части Алдано-Майского прогиба.

3. Обсуждение, выводы

М.А. Семихатов с соавторами показал, что «…учурская серия перекрывает различные горизонты улканско-бириндинских толщ и на обширных пространствах выходит на фундамент, запечатывая собой Улканский прогиб» [3]. В.А. Гурьянов и А.Ю. Песков выделили четыре стадии формирования прогиба. На первой стадии формирование топориканских осадков шло в мелководных прибрежно-морских впадинах. На второй стадии началось проявление Улкачанского трахибазальтового вулканизма в мелководных прибрежно-морских условиях. На третьей стадии – установлен перерыв в вулканизме и осадконакоплении с пенепленизацией и тектонической активизацией прогиба, завершившегося вулканизмом улкачанских интрузий гекунданских габброидов. В вначале четвертой, элгэтэйской стадии выявлено излияние лав с прослоями грубозернистых, терригенных пород, отложившихся в континентальных условиях. На

конечной стадии тектогенеза, установлено зарождение и становление многофазного Улканского щелочно-лейкогранитового батолита [4].

Анализ улканских вулканогенно-осадочных комплексов дает основание для выделения синхронных стадий, общих для всего Алдано-Майского прогиба. Наблюдаемые в основании прогиба СФ вулканитов и плитного комплекса РЗ, коррелируются с осадочно-вулканогенными комплексами второй, третьей, и началом четвертой стадий формирования Улканской РЗ. Вначале становление РЗ прогиба проходило в локальных тектонических зонах, подобных Улканской. В последующем, в позднем палеопротерозое в элгетейское время, в основную фазу тектогенеза произошло их объединение в единую Улкано – Кыллахскую рифтовую зону.

4. Литература:

[1] Obolkin A.P. Structures of the Aldan-Maya trough according to seismic data. Geology and Mineral Resources of the North-East of Russia. Materials of the IX All-Russian Scientific and Practical Conference on April 10-12, 2019. IGAIM, NEFU, AN RS (Y), YaO RMO, Yakutsk, 2019, vol. 2, pp. 86-90.

[2] Peyton Ch., et al. Seismic stratigraphy. Use in prospecting and exploration of oil and gas. MIR, Moscow, 1982, vol. 1, pp. 375, vol. 2. pp. 486.

[3] Semikhatov M.A., Serebryakov S.N. Siberian hipostratotype of the Riphean. Moscow: Transaction of Geological Institute, vol. 367, pp. 18.

[4] Guryanov V.A. Peskov A.Yu. Ulkan paleorift structure: features of development, geodynamic situation (south-eastern framing of the Siberian platform) // Regional geology and metallogeny. 2015, no. 62, pp. 57–63.

УДК 552.2:551.72

ВОЗРАСТ И ТЕКТОНИЧЕСКОЕ ПОЛОЖЕНИЕ КАЛАРСКОГО МАССИВА АВТОНОМНЫХ АНОРТОЗИТОВ (ЮГО-ЗАПАД АЛДАНО-СТАНОВОГО ЩИТА)

Николай Попов[1], Владимир Мальковец[2,3], Игорь Лиханов[3]
1 Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, пр. Академика Коптюга, 3, г. Новосибирск, 630090, Россия
2 НИГП АК «АЛРОСА» (ПАО), Чернышевское шоссе 16, г. Мирный, 678175, Россия
3 Институт геологии и минералогии имени В.С. Соболева СО РАН, пр. Академика Коптюга, 3, г. Новосибирск, 630090, Россия

THE AGE AND TECTONIC POSITION OF THE KALAR MASSIF ANORTHOSITES (SOUTHWEST OF ALDAN-STANOVOY SHIELD)

Nikolay Popov[1], Vladimir Malkovets [2], Igor Likhanov[3]
1 Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 3 Akademika Koptyuga Ave., Novosibirsk, 630090, Russia
2 NIGP ALROSA PJSC, Chernyshevskoe 16, Mirny, 678175, Russia
3 V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy, SB RAS, 3 Acad. Koptyuga Ave., Novosibirsk, 630090, Russia

Annotation. Discussion about the age of the Kalar massif anorthosite of the Aldan-Stanovoy Shield - Late Archean or Early Proterozoic - has been going on for decades. The dating resulting in this study confirms the second point of view. Ancient age values of 2649±29 Ma characterize xenogenic zircons, captured from the accommodating rocks, and the young 1847±29 Ma - the process of the formation of large masses of anorthosites and consolidation of the Proterozoic stage of the tectonic melange zone in the articulation of the West Aldan and Tyndinsky composite terrains.

1. Введение

Автономные анортозиты представляют собой характерную принадлежность древних кратонов. Совместно с сопряжёнными гранитоидами их принято объединять в анортозит-мангерит-чарнокит-гранитную ассоциацию. На Алдано-Становом щите известны две провинции этой ассоциации, обнажающиеся на востоке в южном обрамлении щита, которые слагают Джугджурскую группу массивов и на западе - Каларская группа (Куронахский и Ингамакитский массивы). Последняя расположена в зоне тектонического меланжа одноимённого названия, разделяющего Западно-Алданский (на севере) и Тындинский (на юге) составные террейны [1].

2. Геологическое строение и соотношение разных типов пород

Наиболее полное представление о Каларском массиве анортозитов представлено Г.Н. Баженовой [2,3], которая впервые обозначила контуры массива, разделив его на две ветви и выделила основные типы пород. В дальнейшем [4] уточнялись детали строения и соотношений разных типов пород. Средний состав массива по разным оценкам без учёта экзоконтактовых гранитоидов соответствует высокоглинозёмистым базальтам [5]. Объёмные характеристики массива и строение слагающих слоёв расслоенного комплекса детально исследованы Е.В. Шарковым [6] и И.А. Томбасовым [7,8]. Мощность выделенных мегаритмов, по их мнению, колеблется от 500 до 2500 м, а массива в целом прогнозируется до глубины 12 км, со ссылкой на расчёты Ю.А. Зорина с соавторами [9]. В целом обе ветви массива с южной стороны имеют тектоническую границу и сопровождается зонами диафторитов. Северный контакт считается эруптивным и содержит в экзоконтактовой зоне разного типа гранитоиды, с неоднозначными соотношениями и вызывающими часто противоположные мнения о их образовании. По наблюдениям Б.Г. Горелова [10] анортозиты содержат ксенолиты плагиогранито-гнейсов

станового комплекса и, в свою очередь, пересекаются гранитоидами Каларского массива кодаро-удоканского комплекса. Вместе с тем, данные дальневосточных геологов [11,12], о титаноносных габброидах сэйимского комплекса (восточная часть Имангакитского массива), свидетельствуют, что габброиды и оруденение предшествуют неметаморфизованным анортозитам, а сами претерпели гранулитовый метаморфизм. Детальные исследования с применением горно-геологических и буровых работ, убедительно подтвердили эту точку зрения. Кроме того, на опубликованных картах/схемах (в том числе Региона БАМ) отражено большое количество габброидов, в том числе с ультрамафическими дифференциатами, для которых не определена генетическая и возрастная принадлежность.

3. Предыдущие изотопно-геохронологические исследования

Как справедливо отметили уважаемые авторы статьи [13], что несмотря на длительное (80, сейчас уже более 90 лет) изучение Каларского массива анортозитов, после опубликования «более ста работ, рассматривавших различные аспекты проблемы анортозитов этого региона. Однако до сих пор остаются дискуссионными вопросы о возрасте (архей или протерозой) и о геодинамических условиях его формирования (в режиме тектоники плит или плюм-тектоники)» (с. 651). В этой работе U-Pb изотопные исследования трёх ксеногенных зёрен циркона из анортозитов 2670±8 млн. лет (пересечение дискордии) и 2620±10 млн. лет (конкордантное значение) интерпретируются как возраст вмещающих пород, а образование собственно анортозитов датируется Sm-Nd изохроной 1926±64 млн. лет со ссылкой на предыдущие исследования [14].

Недавние U-Pb датировки возраста для Куронахского массива по цирконам из ассоциирующих с анортозитами чарнокитов и метагаббро краевой зоны дали близкие значения 2611±38 и 2623±23 млн. лет, соответственно [15]. В этой же работе для цирконов из анортозита получена датировка 1849±15 млн. лет (нижнее пересечение дискордии), которое интерпретируется как возраст кристаллизации анортозитов. Позднее, несколько небольших массивов эндербитов, объединённых в джеульский комплекс и крупный массив чарнокитов алтуальского комплекса, расположенных около 10 и 20 км западнее Куронахского массива на его продолжении, оценены как образовавшиеся 2627±16 и 2612±16 млн. лет тому назад [16]. Возраст этих гранитоидов, по мнению авторов «соответствует возрасту пород каларского комплекса» (с. 19), а их образование, с синхронным гранулитовым метаморфизмом непосредственно предшествовало внедрению массивов каларского комплекса.

Sm-Nd изотопный возраст каларского чарнокит-анортозитового комплекса [17] по минеральной изохроне неизменённых (неметаморфизованных) анортозитов равен 1913-1926 млн. лет с погрешностями определений – 64 и 123 млн. лет, соответственно. Возраст протолита оценивается в диапазоне от 2,90 до 3,33 млрд. лет. Минеральная изохрона, для экзоконтактовых чарнокитоидов показала более молодой возраст - 1698±42 млн. лет с модельным возрастом 3,9 млрд. лет.

Раннепротерозойский возраст определён для мафитовых комплексов, прорывающих удоканские осадочные толщи Чинейского расслоенного массива [18] и куранахского комплекса диабазов [19] - 1867±3 и 1863±9 млн. лет, соответственно, а также гранитов кодарского комплекса (1876±4 - 1873±3 млн. лет) [20].

4. Результаты исследований

Проба для исследования отобрана из андезинита в центральной части Куронахского массива (координаты 56°42'35"Сш, 120°42'10"Вд), в истоках руч. Сайбалах, правого притока р. Саикта, которая, в свою очередь, является правым притоком р. Куронах, в карьере для добычи облицовочного камня. Макроскопически это среднезернистая лейкократовая порода с редкими порфировыми выделениями серого плагиоклаза и ирризирующей в малиново-сиреневых тонах основной тканью. Порода сложена таблитчатыми кристаллами плагиоклаза (№ 40-45), иногда с

мирмекитами, клинопироксеном (около 5 %), резко подчинённым количеством амфибола и биотита и акцессорными – титаномагнетитом и апатитом.

Датирование цирконов проводилось методом LAM-ICPMS (Agilent 7900cs с лазерным пробоотборником NewWave 193nm) в “National Key Centre GEMOC/CCFS” в Университете Маккуори (Сидней, Австралия). Одновременно с U-Pb датирование проводился анализ редких и рассеянных элементов в цирконах. Всего было проанализировано 8 зерен цирконов. Для одного зерна были проанализированы ядро и край. По результатам U-Pb датирования выделяется две популяции цирконов: архейская 2,6 млрд. лет (n = 4) и палеопротерзойская 1,8 (n = 4) млрд лет. Содержания Th, U и Th/U отношения в цирконах архейской популяции варьируют в следующих пределах (г/т): 83-141, 109-385 и 0,2-1,1 соответственно. Содержания Th, U и Th/U отношения в цирконах палеопротерозойской популяции варьируют в следующих пределах (г/т): 213-250, 255-367 и 0,6-0,96 соответственно. Количество проанализированных зерен не достаточно для построения надежной диаграммы с конкордией. Для уточнения возрастных этапов для рассчитанных возрастов были построены графики средневзвешенных $^{207}Pb/^{206}Pb$ - значений возрастов. При анализе этих графиков выделяются следующие возрастные этапы: 1847±29 млн. лет, 95 % дов. инт., СКВО = 0,032, вероятность 0,52 (n = 3) и 2649±29 млн. лет, 95 % дов. инт., СКВО = 0,99, вероятность 0,37 (n = 3). Архейская популяция цирконов интерпретируется нами как ксеногенная, захваченная из вмещающих архейских пород при образовании анортозитов Каларского массива. Палеопротерозойская популяция цирконов соответствует возрасту формирования Каларского анортозитового массива. Наши новые данные по возрасту Каларского массива (1847±29 млн. лет) хорошо совпадают с возрастом анортозитов Куронахского массива (1849±15 млн. лет) полученные в работе [15]. Происхождения двух цирконов с более молодыми $^{207}Pb/^{206}Pb$ возрастами 1979±15 млн. лет и 2558±62 млн. лет в настоящий момент трудно интерпретировать и для более корректной интерпретации требуется проведение дополнительных исследований.

5. Выводы

Таким образом, в дискуссии о неоднозначной интерпретации времени формирования каларских анортозитов представлены дополнительные данные в пользу раннепротерозойского (1847±29 млн. лет) возраста. Позднеархейские датировки (2649±29 млн. лет), получены для ксеногенных цирконов, захваченных из вмещающих пород, с близкими оценками возраста метаморфизма. Автономные анортозиты Каларского массива являются закономерным членом зоны тектонического меланжа, которая трассирует пояс сочленения Западно-Алданского и Тындинского составных террейнов. Вместе с тем, севернее анортозитового массива, в пределах Западно-Алданского составного террейна известны крупные массы мафитов и гранитоидов с близкими раннепротерозойскими датировками, что свидетельствует о неоднозначности определения объёма зоны меланжа.

6. Литература:

[1] Smelov A.P., Zedgenizov A.N., Timofeev V.F. Aldano-Stanovoy Shield // Tectonics, Geodynamics, and Metallogeny of the Republic of Sakha (Yakutia), Ed. by L. M. Parfenov and M. I. Kuz’min (MAIK Nauka/Interperiodica, Moscow, 2001), pp. 81-100 (in Russian).

[2] Bazhenova G.N. Geological position and structure of the Kalar anorthosite massif / Geology and geophysics, 1964, no. 6, pp. 124-133 (in Russian).

[3] Bazhenova G.N. Anorthosites Kalar massif / Anorthosites of the USSR. M.: Nauka, 1974, pp. 70-84 (in Russian).

[4] Byhover V.N., Lavrovic N.N. New data on the Kalar massif anorthosites (Eastern Siberia) / Izvestia of the USSR Academy of Sciences. The series of geological, 1980, no. 2, pp. 17-26 (in Russian).

[5] Sukhanov M.K. Anorthosite association of the Kalar Massif (Aldan Shield) / Earth and Moon Anorthosites. M.: Science, 1984, pp. 86-111 (in Russian).

[6] Sharkov E.V. Kalar anorthosite-mangeritic complex in Eastern Siberia / Geology and Geophysics, 1981, no. 5. pp. 80-88 (in Russian).

[7] Tombasov I.A. Massif anorthosites of the south of the Aldan Shield - their formational affiliation (on the example of the Kalar massif) / Otechestvennay geology, 2006, no. 2, pp. 29-34 (in Russian).
[8] Tombasov I.A. Kalar anorthosite massif - representative of horizontally stratified magmatic series / New data on geology of Zabaikalya. Moscow-Chita, 1986, pp. 17-24 (in Russian).
[9] Zorin Yu.A., Turutanov E.H., Novoselova M.R., Balk T.V. Deep structure of the Kalar Gabbro-anorthosite massif by gravimetric data / Izvestia of the USSR Academy of Sciences. The series of geological, 1988, no. 4, pp. 130-134 (in Russian).
[10] Gorelov B.G. Relationship of anorthosites and gabbroids of the Olekmo-Kalar massif with the plagiogranito-gneis of the Stanovoy complex and the granites of the early phase of the Kodaro-Odokan complex / Dokl. of the USSR Academy of Sciences, 1967, vol. 174, no. 6, pp. 1396-1397 (in Russian).
[11] Karsakov L.P., Mikhalevsky A.M. About the age of Seiim Gabbroids in the Kalar Gabbro-Anorthosite Massif (Eastern Siberia) / Dokl. of the USSR Academy of Sciences, 1990, vol. 315, no. 2, pp. 449-452 (in Russian).
[12] Karsakov L.P., Roganov V.G. Seiim intrusive complex of stratified Gabbroids and its ore (Eastern Siberia) / Pacific geology, 1995, no. 1, pp. 99-110 (in Russian).
[13] Glukhovsky M.S., Kuzmin M.I., Bayanova T.B., Bazhenova G.N., Elizarov D.V., Serov P.A. Autonomous anorthosites of the Aldan Shield and related rocks: age, geochemistry and the mechanism of education (on the example of the Kalar massif), 2011, vol. 439, no. 5, pp. 651-659 (in Russian).
[14] Glukhovsky M.S., Moralev V.M., Sukhanov M.K. Tectonic position of early Proterozoic anorthosite and granitoids of the Aldan Shield and the zonality of the processes of thermotectogenesis / Geotectonics, 1993, no. 3, pp. 69-81 (in Russian).
[15] Salnikova E.B., Larin A.M., Kotov A.B., Glebowitzky V.A., Sukhanov M.K., Yakovleva S.S., Kovach V.P., Berezhnaya N.G., Tolkachev M.D. Kalar anorthosite-charnokit complex (Aldan-Stanovoy Shield): age and tectonic position / Stratigrafy. Geological correlation, 2004, vol. 12, no. 3, pp. 3-11 (in Russian).
[16] Larin AM, Kotov A.B., Salnikova E.B., Glebowitzky V.A., Sukhanov M.K., Yakovleva S.S., Kovach V.P., Berezhnaya N.G., Velikoslavinsky S.D., Tolkachev M.D. Kalar complex (Aldan-Stanoyoy Shield) - the ancient representative of the anorthosite-mangerite-charnocite-granitic / Petrology, 2006, vol. 14, no. 1, pp. 4-24 (in Russian).
[17] Sukhanov M.K., Zhuravlev D.S. Sm-Nd isotopic age of the Kalar charnokit-anorthosite complex (Eastern Baikal) / Geochemistry, 2002, no. 8, pp. 898-902 (in Russian).
[18] Popov N.V., Kotov A.B., Postnikov A.A., Sal'nikova E.B., Shaporina M.N., Larin A.M., Yakovleva S.Z., Plotkina Yu.V., and. Fedoseenko A.M Age and Tectonic Position of the Chiney Layered Massif, Aldan Shield // Doklady Earth Sciences, 2009, vol. 424, no. 1, pp. 64–67.
[19] Popov N.V., Kotov A.B., Salnikova E. B., Postnikova A.A., Timofeev V. F., Berezkin V. I., Larin A.M., Fedoseenko A.M. and Yakovleva S.Z. Kuranakh Complex Diabases in the Western Part.
[20] of the Aldan–Stanovoi Shield: Age and Tectonic Setting // Doklady Earth Sciences, 2012, vol. 442, Part 1, pp. 45–48.
[21] Larin A.M., Kotov A.B., Salnikova E.B., Kovac V.P., Makariev L.B., Timashkov A.N., Berezhnaya N.G., Yakovleva S.S. New data on the age of Kodar and Tukuring complexes, Eastern Siberia: geodynamic effects / Petrology, 2000, vol. 8, no. 3, pp. 267-279 (in Russian).

УДК 551.2.03+553.078

ПОЗДНЕПАЛЕОЗОЙСКИЙ ОКРАИННО-КОНТИНЕНТАЛЬНЫЙ РИФТОГЕННЫЙ МАГМАТИЗМ ОМОЛОНСКОГО КРАТОННОГО ТЕРРЕЙНА И ЭПИТЕРМАЛЬНОЕ Au-Ag ОРУДЕНЕНИЕ (СЕВЕРО-ВОСТОК АЗИИ)

Владимир Прийменко[1], Антон Глухов[1], Вячеслав Акинин[1], Александр Котов[2], Антон Кузнецов[2], Екатерина Сальникова[2], Геннадий Ползуненков[1]

1 Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт им. Н.А. Шило ДВО РАН, ул. Портовая, 16, г. Магадан, 685000, Россия

2 Институт геологии и геохронологии докембрия РАН, Набережная Адмирала Макарова, 2, г. Санкт-Петербург, 199034, Россия

RIFTOGENIC STAGE OF LATE PALEOZOIC CONTINENTAL MARGINAL MAGMATISM OF THE OMOLON CRATONIC TERRANE AND EPITHERMAL GOLD-SILVER MINERALIZATION (NORTHEAST ASIA)

Vladimir Priymenko[1], Anton Gluhov[1], Vyacheslav Akinin[1], Alexander Kotov[2], Anton Kuznetsov[2], Ekaterina Salnikova[2], Gennadiy Polzunenkov[1]

1 North-East Interdisciplinary Scientific and Research Institute FEB RAS, 16 Portovaya St., Magadan, 685000, Russia

2 Institute of Precambrian Geology and Geochronology RAS, 2 Makarova Emb., St.-Petersburg, 199034, Russia

Annotation. Riftogenic stage of late paleozoic continental marginal magmatism within the Omolon cratonic terrane is identified and linkage gold-silver mineralization with it is substantiated.

1. Введение

В структуре Омолонского кратонного террейна (далее ОМ) выделяются рифейско-мезозойский чехол и архейско-протерозойский фундамент. Окраинно-континентальный фанерозойский известково-щелочной магматизм проявился на ОМ в девоне (Кедонский пояс, далее КВП), раннем мелу (Олойский пояс) и раннем-позднем мелу (Охотско-Чукотский вулканогенный пояс). Вулканогены КВП также известны под названием «кедонская серия» [1,2]. В её состав входят (снизу вверх) три крупных толщи: 1) андезиты, кварцевые латиты, трахириолиты, 2) базальты, трахиандезиты, 3) риолиты, трахиандезиты, трахириодациты. Вулканитам комагматичны граниты, гранодиориты, граносиениты, кварцевые монцониты, диориты булунского интрузивного комплекса. С вулканизмом КВП связывается также формирование эпитермального золото-серебряного оруденения месторождений Кубака, Биркачан, Бургали, Ольча, Ёлочка [1,3].

2. Основной раздел вашей статьи

Проблемой этой модели является длительный хронологический разрыв между этапом формирования КВП и эпитермальных жил месторождений. Наши определения возраста циркона U-Pb методом из прорывающих эффузивы гранодиоритов, составил 335±2 млн. лет [4]. Гранодиориты вмещают золото-серебряные жилы рудопроявления Нижний Биркачан. Ar-Ar возраст жильного адуляра месторождения Биркачан оценивается предварительно в 286 млн. лет. Ранее нами был определен Ar-Ar возраст плато для адуляра Au-Ag месторождения Кубака, который составил 299±3,5 млн. лет [5]. Однако и для Кубаки и для Биркачана надежного $^{40}Ar/^{39}Ar$ возраста адуляра (валидного плато с не менее чем 3 ступенями и >60 % выделенного ^{39}Ar) получить пока не удалось, а полученные верхнекарбоновые-нижнепермские Ar-Ar даты необходимо принимать как верхний возрастной рубеж эпитермальной минерализации. Примечательно, наиболее древние Rb-Sr датировки этих руд укладываются в хронологический диапазон 335–324 млн. лет [6,7], при этом оценка была основана на изотопных и геологических данных [3].

Имеющиеся данные по Au-Ag месторождениям указывают, что временной разрыв между формированием минерализации и вулканогенов кальдерного и посткальдерного комплексов составляет в подавляющем большинстве случаев не более 2-5 млн. лет [8]. Данные в пределах полей молодого вулканизма показывают еще меньший интервал между образованием кальдерного комплекса и геотермальных систем, продуцирующих Au-Ag оруденение – не более 0,1–0,3 млн. лет [9]. Это является фактом существования «пост-кедонского» этапа тектоно-магматической активизации, который мог быть связан с рифтингом, широко развитым в пределах окраинно-континентальных поясов мира [10]. К этому этапу авторы относят трахиты, трахиандезиты и трахидациты снайперской и одинокинской толщ, которые выделяют в «особый раннекаменноугольный цикл вулканической активности» [11] и в молассовый комплекс [1]. Связь золото-серебряной минерализации ОМ с этими образованиями субщелочного состава подтверждается данными геохимии: преобладанием Au над Ag и повышенной ролью Te.

3. Выводы

Таким образом, в истории развития, проявленного на ОМ позднепалеозойского окраинно-континентального магматизма, можно выделить все этапы, характерные для других надсубдукционных поясов, а образование позднепалеозойской золото-серебряной промышленно-значимой минерализация связано с постсубдукционным рифтогенезом.

4. Благодарности

Авторы выражают благодарность А.А. Езучевскому, В.Г. Кузнецову, Т.А. Кормушину и В.Ю. Соловьёву за оказанную помощь при сборе материала снайперской толщи кедонской серии, близ рудопроявления Лабазное.

5. Литература:

[1] Goryachev, N.A., Egorov, V.N., Savva, N.E., Kuznetsov, V.M., Fomina, M.I. and Rozhkov, P.Yu. Geology and metallogeny of phanerozoic complexes of the southern Omolon Massif. Dal'nauka, Vladivostok, 2017, 312 pp. (in Russian).

[2] Lychagin, P.P., Dylevskiy, E.F. and Likman, V.B. Magmatism of the Omolon sredinny massif // Izv. Akad. Nauk SSSR, 1990, Ser. Geol., no. 7, pp. 17–29 (in Russian).

[3] Kotlyar, I.N. Petrologic modeling during prediction and assessment of gold–silver mineralization in weakly explored mining regions. Age of gold ores of the Kubaka deposit // Magmatism and Metamorphism of Northeast Asia: Proc. 4th Regional Petrographic Conference on Northeast Russia, (SVKNII DVO RAN, Magadan, 2000, pp. 156–159 (in Russian).

[4] Glukhov, A.N., Kotov, A.B., Priymenko, V.V., Sal'nikova, E.B., Kuznetsov, A.B. & Podol'skaya, M.M. New age data of the Bulun complex (Omolon massif) // Materialy IX Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii "Geologiya i mineral'nye resursy Severo-Vostoka Rossii" [Transactions of the All-Russian Meeting "Geology and mineral resources of the northeast Russia"]. Yakutsk: Northeast Federal University Publishing House, 2019, pp. 27–30 (in Russian).

[5] Akinin, V.V., Glukhov, A.N., Polzunenkov, G.O., Alshevsky, A.V. & Alexeev, D.I. The age of the Kubaka epithermal gold-silver deposit (Omolon Massif, Northeast Russia): geological and isotopic-geochronological constrains (U-Pb and 40Ar/39Ar Methods) // Russian Journal of Pacific Geology, 2020, vol. 14, pp. 32–42.

[6] Natalenko, M.V., Struzhkov, S.F., Ryzhov, O.B., Vakin, M.E., Ishkov, B.I., Gilles, B., Karchavets, V.P., Ustinov, V.I. and Shergina, Yu.P. // Geological structure and mineralogy of the Birkachan deposit. Rudy Met., 2002, no. 6, pp. 37–52 (in Russian).

[7] Stepanov, V.A., Shergina, Yu.P., Shkorobogatova, G.S., Shishakova, L.N. and Rublev, A.G. Age of ores of the Kubaka gold deposit (Omolon Massif) // Geology of the Pacific Ocean, 1998, 17 (5), pp. 89–97.

[8] Guillou-Frottier L., Burov E.B., Mile´si J.P. Genetic links between ash-flow calderas and associated ore deposits as revealed by large-scale thermo-mechanical modeling // Journal of Volcanology and Geothermal Research, 2000, vol. 102, pp. 339–361.

[9] Leonov, V.L. and Grib, E.N. Strukturnye pozitsii i vulkanizm chetvertichnykh kal'der Kamchatki (Structural settings and volcanism of Kamchatka quaternary calderas) // Vladivostok: Dal'nauka, 2004, 189 pp. (in Russian).
[10] Yarmolyuk, V.V., Kovalenko, V.I. Riftogenic Magmatism of Active Continental Margins and Its Mineralization, Bogatikov, O.A. (Ed.). Nauka, Moscow, 1991, 263 pp. (in Russian).
[11] Gagiev M.Kh., Shul'gina V.S., and Gagieva A.M. New data on the paleozoic stratigraphy of the Omolon Massif // Sketches on the Stratigraphy of Northeast Asia (SVKNII DVO RAN, Magadan, 2000, pp. 57–98 (in Russian).

УДК 553.078

ПОЛИФОРМАЦИОННОСТЬ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ И ЭПИТЕРМАЛЬНОЕ AU-AG ОРУДЕНЕНИЕ (СЕВЕРО-ВОСТОК АЗИИ)

Владимир Прийменко, Антон Глухов
Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт им. Н.А. Шило ДВО РАН, ул. Портовая, 16, г. Магадан, 685000, Россия

POLYFORMATION ORE DEPOSITS AND EPITHERMAL AU-AG MINIRALIZATION (NORTH-EAST ASIA)

Vladimir Priymenko, Anton Glukhov
North-East Interdisciplinary Scientific and Research Institute FEB RAS, 16 Portovaya St., Magadan, 685000, Russia

Annotation. On the example of epithermal Au-Ag deposits, complex criterias for estimation polyformation are distinguished: geological-structural, mineralogical, geochemical, ages of crystallization ore minerals.

1. Введение

Явления полихронности и полигенности рудных месторождений, а также их влияние на масштаб и богатство оруденения достаточно широко освещены в литературе [1,2,3]. Полиформационные месторождения образуются в результате наложения нескольких этапов рудообразования, при этом возможен метафорфизм более ранних образований более поздними. Мнения по конкретным Au-Ag месторождениям Северо-Востока Азии, особенно крупным, разделяются, – одни исследователи считают их, по аналогии с месторождением Дукат, полиформационными – Кубака, Купол, Биркачан [2,4,5,6], а вторая группа исследователей считает, что эти крупные месторождения можно считать одноэтапными, т.е. моногенными [7,8,9,10]. В тоже время, отправной точкой для этих дискуссий являются, в основном, частные результаты минералогического изучения. Зачастую не учитываются геохимические данные, за редким исключением [11], или геологические и геохимические во многом уходят на второй план при преобладании минералогических [5]. Мы попытаемся восполнить этот пробел и показать, что именно комплексный анализ, учитывающий геохимию индикаторных элементов первичного опробования руд, может быть наиболее эффективным и наглядным для этих целей.

2. Основной раздел вашей статьи

Нами был произведён анализ опубликованных данных по Au-Ag месторождениям позднемелового и позднепалеозойского возраста: геолого-структурных, минералогических, геохимических [5,6,10,11 и др.]. Также, использовались данные оценок возраста кристаллизации жильного адуляра ^{40}Ar-^{39}Ar методом и цирконов U-Pb методом из секущих руды даек [4,8,7,9,12 и др.]. В качестве примеров нами выбраны месторождения Невенрекан, Ирбычана и Купол как представители позднемеловых месторождений и Ольча, Кубака – позднепалеозойских [2,5,6,9]. Важно отметить, что продолжительность образования моногенных эпитермальных месторождений активными геотермальными системами оценивается приблизительно в 0,1 – 0,3 млн. лет [13]. Нами был произведен статистический анализ многомерной статистики главных компонент по данным содержаний индикаторных химическим элементов Au, Ag, As, Bi, Cu, Pb, Sb, Te, Zn, Sn, полученных по рудам этих месторождений (данные химического состава получены методом атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно связанной плазмой в лаборатории ООО “Стюарт Геокемикл энд Эссей”, обработка данных производилась в программе STATISTICA). Были рассчитаны факторные нагрузки по каждому образцу. На трехмерных диаграммах наиболее значимых факторов (Рисунок 1) видно, что месторождения, верхнемеловые (Ирбычан, Купол) и позднепалеозойские (Ольча и Кубака) имеют достаточно четкие различия в факторных нагрузках, относительных содержаниях индикаторных химических

элементов (Рисунок 1 а). Фактически они формируют диаметрально расположенные поля: позднемеловые – левое, позднепалеозойское – правое. На рисунке №1 б все месторождения позднемеловые, но при этом выделяются точки месторождения Невенрекан, с одной стороны – три точки попадают в поле точек образцов месторождений Ирбычан и Купол, а с другой стороны – пять точек образуют «хаотичные» факторные нагрузки по всем трем факторам. Для ещё большей контрастности мы показали, как наглядно выглядят факторные нагрузки образцов месторождения Невенрекан и месторождений Кубака и Ольча (Рисунок 1 в). Полиформационное позднемеловое месторождение Невенрекан, казалось бы, не имеет ничего общего с позднепалеозойскими месторождениями, но если присмотреться, то можно увидеть, что несколько точек достаточно близки к скоплению, образованному позднепалеозойскими месторождениями, что может указывать на их геолого-генетические сходства, т.е близость «моногенной части» Au-Ag оруденения месторождения Невенрекан к его геолого-генетическим моногенным позднепалеозойским аналогам.

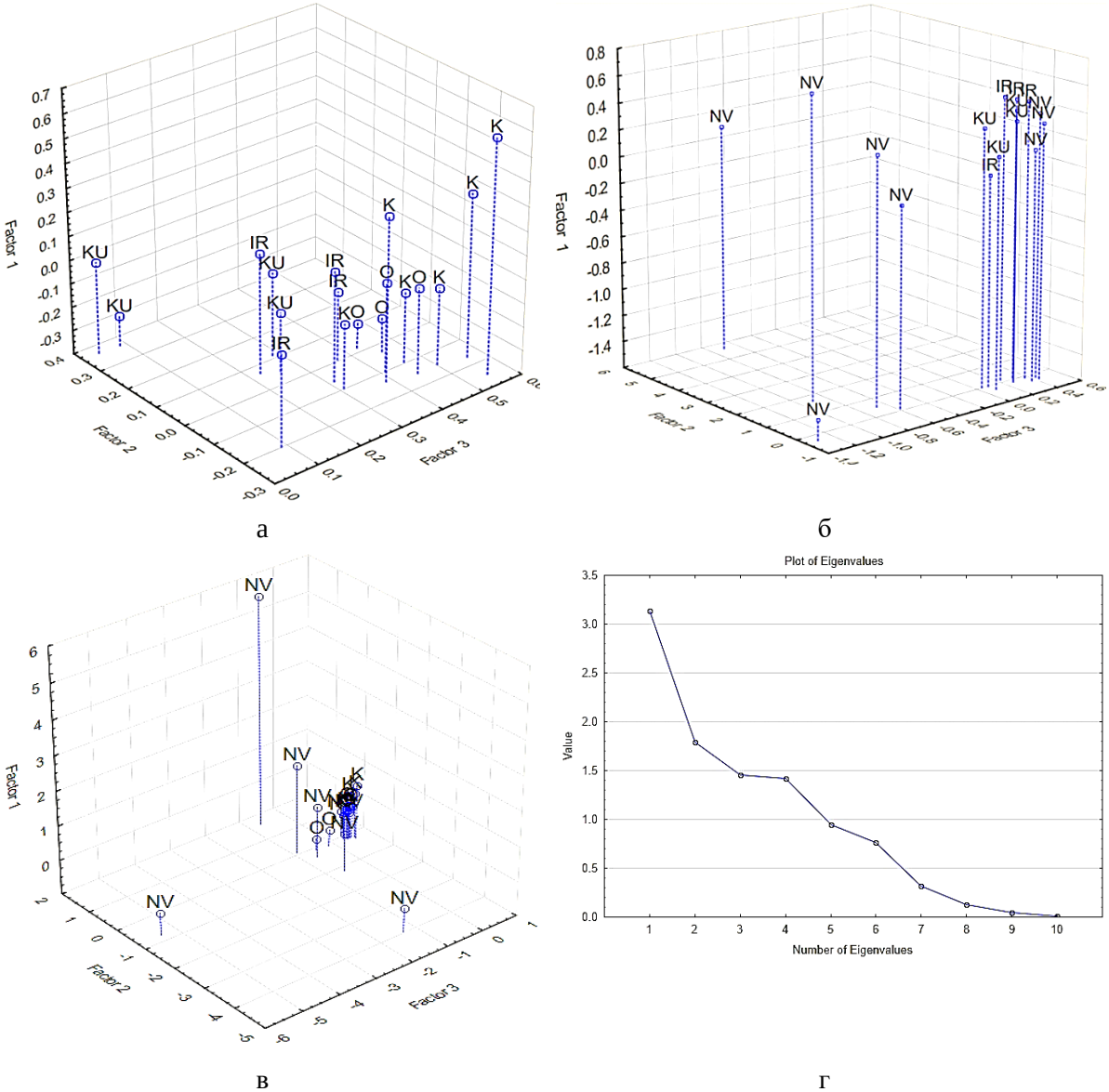


Рисунок 1. Трехмерные диаграммы факторных нагрузок а, б, в. Индексами отмечены точки факторных нагрузок по образцам руд месторождений: IR – Ирбычан, NV – Невенрекан, KU – Купол, К – Кубака и О – Ольча. Г – график каменистой осыпи.

3. Выводы

1. Среди Au-Ag месторождений выделяются одноэтапные («моногенные»): Ирбычан, Купол, Хаканджа, Сопка-Кварцевая, Дальнее, Ороч (мелового возраста), Кубака, Ольча, Биркачан, Елочка, Бургали (палеозойского возраста). Им противопоставляются полиформационные объекты Невенрекан, Карамкен, Коррида [14], Нявленга, Дукат, Лунное, Приморское (все - мелового возраста) [5,11,14]. Среди Au-Ag месторождений палеозойского возраста полиформационные объекты неизвестны.
2. Крупные и богатые месторождения могут быть как полиформационными (Дукат), так и «моногенными» (Кубака, Купол).
3. При выявлении полиформационных месторождений необходимо учитывать нарушенную первичную структуру их геохимического поля, своеобразный «хаос» в распределении индикаторных химических элементов – образцы из незатронутых поздним рудным этапом, в нашем случае, эпитермальных Au-Ag руд – дадут схожие результаты с моногенными объектами исследования одного геолого-генетического типа и возраста (Рисунок 1 б). Геохимические данные (результаты многоэлементных ICP-анализов руд) могут использоваться для выделения генетических типов месторождений, наряду с результатами минералогических исследований, изучения изотопии и флюидных включений.

4. Благодарности

Авторы выражают благодарность В.В. Акинину, Н.Е. Савве (СВКНИИ ДВО РАН) за содействие при выполнении данной работы.

5. Литература:

[1] Sillitoe, R.H., and Thompson, J.F.H. Intrusion-related vein gold deposits: types, tectono-magmatic settings and difficulties of distinction from orogenic gold deposits // Resource Geology, 1998, vol. 48, pp. 237-250.
[2] Goryachev, N.A., Egorov, V.N., Savva, N.E., Kuznetsov, V.M., Fomina, M.I. and Rozhkov, P.Yu. Geology and metallogeny of phanerozoic complexes of the southern Omolon Massif / Dal'nauka, Vladivostok, 2017, 312 pp. (in Russian).
[3] Rundqvist, D.V. Time Factor in the Formation of Hydrothermal Deposits: Periods, Epochs, Megastages, and Stages of Ore Formation. // Geol. Rudn. Mestorozhd., 1997, vol. 39, no. 1, pp. 11–24 [Geol. Ore Deposits (Engl. Transl.), vol. 39, no. 1, pp. 8–19].
[4] Natalenko, M. V., Struzhkov, S. F., Ryzhov, O. B., Vakin, M. E., Ishkov, B. I., Gilles, B., Karchavets, V. P., Ustinov, V. I. and Shergina, Yu. P. Geological structure and mineralogy of the Birkachan deposit. // Rudy Met., 2002, no. 6, pp. 37–52 (in Russian).
[5] Savva, N. E. Mineralogy of silver in the North-East of Russia / [ed. by A. A. Sidorov]; North-East Interdisciplinary Scientific Research Institute. M.: Triumph, 2018, 544 pp. (in Russian).
[6] Volkov, A.V., Sidorov, A.A., Savva, N.E., Prokof'ev, V.Y. Kolova, E.E., Murashov, K.Yu. Zemskova, M.I. Epithermal mineralization in the Kedon Paleozoic volcano-plutonic belt, Northeast Russia: Geochemical studies of Au–Ag mineralization // Journal of Volcanology and Seismology 11 (1), 2016, pp. 1-19.
[7] Kotlyar, I. N. Petrologic modeling during prediction and assessment of gold–silver mineralization in weakly explored mining regions. Age of gold ores of the Kubaka deposit // Magmatism and Metamorphism of Northeast Asia: Proc. 4th Regional Petrographic Conference on Northeast Russia, (SVKNII DVO RAN, Magadan, 2000, pp. 156–159 (in Russian).
[8] Stepanov, V. A., Shergina, Yu. P., Shkorobogatova, G. S., Shishakova, L. N. and Rublev, A. G. Age of ores of the Kubaka gold deposit (Omolon Massif) // Geology of the Pacific Ocean, 1998, 17 (5), pp. 89–97 (in Russian).
[9] Akinin, V. V., Glukhov, A. N., Polzunenkov, G. O., Alshevsky, A. V. & Alexeev, D. I. The age of the Kubaka epithermal gold-silver deposit (Omolon Massif, Northeast Russia): geological and isotopic-geochronological constrains (U-Pb and 40Ar/39Ar Methods) // Russian Journal of Pacific Geology, 2020, vol. 14, pp. 32–42.

[10] Glukhov, A.N. Kupol Au-Ag deposit: its regional geologic setting, structure and ore zoning (the Chukchi autonomous area) // The "Bulletin of the North-East Scientific Center, Russia Academy of Sciences Far East Branch", 2008, pp. 34–45 (in Russian).
[11] Kravtsova, R.G. Geochemistry and conditions for the formation of gold-silver ore-forming systems of the Northern Okhotsk region. Novosibirsk / Academic Publishing House Geos, 2010, 292 pp. (in Russian).
[12] Akinin, V. V., Thomson, B. and Polzunenkov, G. O. "U–Pb and 40Ar/39Ar dating of magmatism and mineralization at the Kupol and Dvoinoe gold deposits," in Isotope Dating of Geological Processes: New Results, Approaches, and Perspectives // Proceedings of the VI All-Russia Conference on Isotope Geochronology (Inst. Geol. Geokhronol. Dokembriya Ross. Akad. Nauk, St. Petersburg, 2015), pp. 19–21 (in Russian).
[13] Leonov, V.L. and Grib, E.N. Strukturnye pozitsii i vulkanizm chetvertichnykh kal'der Kamchatki (Structural settings and volcanism of Kamchatka quaternary calderas) // Vladivostok: Dal'nauka, 2004, 189 pp. (in Russian).
[14] Kolova, E.E., Savva, N.E, Zhuravkova T.V., Glukhov, A.N., Palyanova, G.A. Au-Ag-S-Se-Cl-Br Mineralization at the Corrida Deposit (Rus-sia) and Physicochemical Conditions of Ore Formation // Minerals, 2021, no. 11, pp. 144.
[15] Savva, N.E., Volkov, A.V., Sidorov, A.A., Kolova, E.E., and Murashov, K.Yu., The Primorskoe epithermal Au–Ag deposit (Northeast Russia): The geological structure, mineralogical and chemical features, and mineralization conditions // Geol. Rudn. Mestorozhd., 2019, vol. 61, no. 1, pp. 52–74.

УДК 551.243(571.5)

НОВЫЕ ДАННЫЕ О ВОЗРАСТЕ И СОСТАВЕ ВУЛКАНИЧЕСКИХ ПОРОД УЯНДИНО-ЯСАЧНЕНСКОЙ МАГМАТИЧЕСКОЙ ДУГИ И ГРАНИТОИДОВ ГЛАВНОГО ПОЯСА (СВ АЗИИ)

Андрей Прокопьев[1], Кирилл Рязанов[2], Дмитрий Васильев[1], Евгений Петров[2], Николай Ермаков[1], Сергей Юдин[2]

1 Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, пр. Ленина, 39, г. Якутск, 677000, Россия

2 Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского, Средний пр., 74, г. Санкт-Петербург, 199106, Россия

NEW DATE ON AGE AND COMPOSITION OF VOLCANIC ROCKS OF THE UYANDINA-YASACHNAYA MAGMATIC ARC AND GRANITOIDS OF THE MAIN BELT (NE ASIA)

A.V. Prokopiev[1], K.P. Ryazanov[2], D.A. Vasiliev[1], E.O. Petrov[2], N.N. Ermakov[1], S.V. Yudin[2]

1 Diamond and Precious Metal Geology Institute SB RAS, 39 Lenin Ave., Yakutsk, 677000, Russia

2 A.P. Karpinsky Russian Geological Research Institute, 74 Sredny Ave., Saint-Petersburg, 199106, Russia

Annotation. New data on the petrogeochemical, isotope-geochemical features and U-Pb age of volcanic rocks of the Uyandina-Yasachnaya magmatic arc and granitoids of the Main (Kolyma) belt in the southeast of the Verkhoyansk-Kolyma orogen are presented. It was found that their formation took place within a narrow time interval of 149–150 Ma ago under conditions of a continental magmatic arc and, probably, transform sliding of lithospheric plates at ocean margins (related to transform margins).

1. Введение

Вулканиты Уяндино-Ясачненской дуги образуют магматический пояс, параллельный Главному (Колымскому) батолитовому поясу, шириной до 150 км и простирающийся почти на 1000 км вдоль осевой части Верхоянско-Колымского орогенного пояса, перекрывая образования Омулевского террейна и прилегающие районы Иньяли-Дебинского и Полоусного синклинориев, а также Арга-Тасский террейн и южную часть Приколымского террейна. Дуга состоит из оксфорд-волжских вулканических и вулканокластических пород, мощность которых варьирует от нескольких сотен метров до 3500 м [1–4]. Среди вулканитов преобладают андезиты, базальты, андезибазальты и более кислые разности, в том числе риолиты и дациты. Распространены туфы разного состава. Считается, что Уяндино-Ясачненская магматическая дуга надсубдукционная и образовалась при закрытии Оймяконского океана, хотя ее полярность остается дискуссионной (например, [1–6]). Ее возраст установлен по находкам фауны в вулканогенно-осадочных породах, а также по немногочисленным изотопным U-Pb датировкам в диапазоне 153–150 млн. лет [1,7,8,9,10], что очень близко к U-Pb возрасту гранитоидов Главного (Колымского) пояса [1]. Имеющиеся $^{40}Ar/^{39}Ar$ датировки гранитоидов [8] несколько моложе и отражают не время кристаллизации пород, а их остывание, связанное, скорее всего, с тектоническим подъемом в конце юры–раннем мелу во время главной фазы коллизии окраины Сибирского кратона и Колымо-Омолонского супертеррейна. Многочисленные результаты K-Ar и Rb-Sr датирования противоречивы и крайне недостоверны [4]. В докладе будут представлены новые U-Pb изотопные датировки, а также данные петрографических, геохимических и изотопно-геохимических исследований вулканитов дуги и гранитоидов Главного пояса, расположенных на юго-востоке зоны сочленения Иньяли-Дебинского синклинория и Омулевского террейна.

Изученный регион располагается в районе оз Момонтай, где вулканиты дуги представлены в нижней части сумунской и серганьинской свитами. Сумунская свита с резким угловым и стратиграфическим несогласием перекрывает смятые в сжатые складки терригенные отложения средней юры [11]. По петрографическим данным свита сложена в нижней части переслаиванием

андезитов, трахиандезитов, трахидацитов, риолитов, дацитов и риодацитов. В разрезе присутствуют пласты вулканических брекчий. Верхняя часть свиты представлена андезитами, риолитами и андезидацитами. Мощность свиты варьирует от 200 до 250 м. Серганьинская свита сложена в основном дацитами при подчиненном значении риодацитов; отмечаются прослои туфов. Мощность свиты превышает 650 м. Терригенные среднеюрские породы прорваны субвулканическими интрузиями преимущественно риолитового состава. К югу от изученного района вскрываются крупные плутоны гранитоидов Главного (Колымского) батолитового пояса – Чьорго (гранодиориты) и Хиулчанский (гранит-порфиры).

2. Возраст магматических пород

U-Pb методом (SHRIMP-II) в Изотопном центре ВСЕГЕИ были продатированы цирконы из пяти образцов вулканитов сумунской и серганьинской свит, одного образца из субвулканических риолитов, а также из гранитоидов плутонов Чьорго и Хиулчанского. Возраста кристаллизации андезидацитов и дацитов из низов и верхов сумунской свиты, соответственно, и дацитов из нижней, средней и верхней части серганьинской свиты очень близки и в пределах ошибки составляют ~150 млн. лет. Возраст одного из субвулканических плутонов риолитового состава установлен в ~147–149 млн. лет. Время кристаллизации гранодиоритов плутона Чьорго ~147–149 млн. лет, что несколько моложе полученного ранее возраста ~151 млн. лет [12]. Гранит-порфиры Хиулчанского плутона кристаллизовались около 150 млн. лет назад.

3. Геохимические и изотопно-геохимические особенности вулканитов Уяндино-Ясачненской дуги и гранитоидов Главного (Колымского) пояса

По петрохимическим характеристикам породы сумунской свиты относятся к известково-щелочной серии. На классификационных диаграммах фигуративные точки составов локализуются в основном в полях андезитов, дацитов и андезибазальтов, реже риолитов. Основная часть пород относится к пералюминиевым и металюминиевым гранитам. На дискриминантных диаграммах фигуративные точки располагаются в поле гранитоидов вулканических дуг. Спектры распределения REE демонстрируют слабую отрицательную европиевую аномалию, а на спайдер-диаграммах нормированных по примитивной мантии элементов присутствует Nb-Ta аномалия.

Породы, залегающей выше серганьинской свиты, в отличие от сумунской, относятся в основном к пералюминиевым риолитам и дацитам высококалиевой известково-щелочной серии. На дискриминантных диаграммах фигуративные точки составов располагаются либо в поле внутриплитных гранитов, либо на границе полей гранитоидов вулканических дуг, океанических хребтов и внутриплитных гранитов. На диаграмме распределения REE наблюдается резкий отрицательный европиевый минимум, а на спайдер-диаграмме присутствует интенсивная отрицательная Nb-Ta аномалия.

Петрохимические параметры субвулканических пород и гранитоидов плутонов Чьорго и Хиулчанского близки таковым для пород сумунской свиты. На дискриминантных диаграммах фигуративные точки составов располагаются в основном в поле гранитоидов вулканических дуг. На дискриминационных диаграммах TiO_2*10–$Fe_2O_3^{Tot}$–MgO и Nb*5–Ba/La–Yb*10 [13] точки составов всех изученных пород в основном локализуются в поле RTM (трансформные континентальные окраины или островные дуги), значительно реже в поле RCM (надсубдукционные островные дуги или континентальные конвергентные окраины).

Для датированных образцов дацитов и андезидацитов из сумунской и серганьинской свит, субвулканических риолитов и гранитоидов плутонов Чьорго и Хиулчанского проведено изучение Sm-Nd и Rb-Sr изотопных систем в Изотопном центре ВСЕГЕИ. Расчет проводился на установленный U-Pb возраст. Все породы имеет отрицательные значения $\varepsilon_{Nd}(T)$ = (-2,7)–(-6,6). Установлены модельные возраста $T_{Nd}(DM)$ = 1302–1553 млн. лет и $T_{Nd}(DM)_{2st}$ = 1180–1507 млн лет. Все образцы имеют высокое содержание радиогенного стронция с первичным I_0=0,70637–0,71029, типичным для континентальной коры.

4. Дискуссия и заключение

1) Установлено, что накопление около 900 м вулканогенных пород Уяндино-Ясачненской дуги в исследованном регионе происходило сравнительно быстро, так как их возраст в нижней, средней и верхней частях разреза одинаков – около 150 млн. лет. Образование субвулканических риолитов происходило также в это время.

2) Возраст пород дуги совпадает со временем кристаллизации гранитоидов Главного батолитового пояса; их геохимические и изотопно-геохимические характеристики близки. Вероятно, по крайней мере, в этой части Верхояно-Колымского орогена, гранитоиды и вулканиты образуют единую магматическую систему.

3) Известные в настоящее время U-Pb датировки вулканитов различных частей Уяндино-Ясачненской дуги укладываются в интервал 149–153 млн. лет (средняя часть кимериджа–ранняя волга) [1,9,10, данная работа]. Несмотря на имеющиеся фаунистические данные из разрезов центральных частей дуги, указывающиеся на начало ее формирования в оксфорде, они не подтверждены изотопными датировками. Таким образом, существование дуги ограничивается 3–4 млн. лет, что свидетельствует о крайне небольших размерах закрывавшегося океанического бассейна. Возможно, дальнейшее U-Pb датирование различных частей разреза дуги на всем ее протяжении позволит прояснить этот вопрос.

4) Геодинамическая природа как вулканитов Уяндино-Ясачненской дуги, так и гранитоидов Главного (Колымского) пояса, установленная по петрохимическим и изотопным параметрам, близка. Это известково-щелочные породы, сформированные в условиях континентальной магматической дуги. Имеющиеся данные позволяют предполагать, что при образовании этой дуги немаловажную роль могли играть трансформные перемещения вдоль континентальной окраины Сибири. На это указывает и, в целом, омоложение гранитоидного магматизма вдоль Главного пояса в северо-западном направлении [1,12].

5. Благодарности

Исследование выполнено по планам НИР ИГАБМ СО РАН (проект 0381-2019-0001) и ФГБУ «ВСЕГЕИ», при поддержке грантов РНФ № 20-17-00169 и РФФИ № 19-05-00945.

6. Литература:

[1] Akinin, V.V., Miller, E.L., Toro, J., Prokopiev, A.V., Gottlieb, E.S., Pearcey, S., Polzunenkov, G.O., Trunilina, V.A. Episodicity and the dance of late Mesozoic magmatism and deformation along the northern circum-Pacific margin: North-eastern Russia to the Cordillera // Earth Sci. Reviews, 2020, vol. 208, pp. 103-272.

[2] Parfenov, L.M. Continental Margins and Island Arcs of the Mesozoides of Northeastern Asia. Nauka: Novosibirsk, Russia, 1984. (In Russian)

[3] Parfenov, L.M. Tectonics of the Verkhoyansk-Kolyma mesozoides in the context of plate-tectonics // Tectonophysics, 1991, vol. 139, pp. 319–342.

[4] Tectonics, Geodynamics and Metallogeny of the Sakha Republic (Yakutia) (Parfenov, L.M., Kuz'min, M.I., Eds.). MAIK Nauka/Inteperiodica: Moscow, Russia, 2001. (In Russian)

[5] Nokleberg, W.J., Parfenov, L.M., Monger, J.W.H., Norton, I.O., Khanchuk, A.I., Stone, D.B., Scotese, C.R., Scholl, D.W., Fujita, K. Phanerozoic Tectonic Evolution of the Circum-North Pacific. Professional Paper 1626. U.S. Geological Survey (USGS): Reston, VA, USA, 2001.

[6] Ged'ko, M.I. The late Jurassic Uyandina-Yasachnaya island-arc (northeast USSR) // Geotectonics, 1988, vol. 22, pp. 263–273.

[7] Toro, J., Miller, E.L., Prokopiev, A.V., Zhang, X., Veselovskiy, R. Mesozoic orogens of the Arctic from Novaya Zemlya to Alaska // J. Geol. Soc., 2016, vol. 173, pp. 989–1006.

[8] Layer, P.W., Newberry, R., Fujita, K., Parfenov, L.M., Trunilina, V.A., Bakharev, A.G. Tectonic setting of the plutonic belts of Yakutia, Northeast Russia, based on $^{40}Ar/^{39}Ar$ and trace element geochemistry // Geology, 2001, vol. 29, pp. 167–170.

[9] Prokopiev, A.V., Toro, J., Miller, E.L., Bakharev, A.G., Trunilina, V.A., Wooden, J., Surnin, A.A. Granitoids of the main batholith belt and volcanics of Uyandina-Yasachnaya arc (Northeast Asia): New U-Pb SHRIMP geochronological and geochemical data // In Large Igneous Provinces of Asia, Mantle Plumes and Metallogeny. Publishing House of SB RAS: Novosibirsk, Russia, 2007, pp. 51–54. (In Russian)

[10] Ganelin, A.V., Luchitskaya, M.V., Maskaev, M.V. U–Th–Pb (SIMS) Dating and Formation Conditions of Volcanic Rocks in the Uyandina–Yasachnaya Volcanic Belt (Northeast Asia, Indigirka Section) // Dokl. Earth Sci., 2021, vol. 496, pp. 7–12.

[11] Ermakov, N., Prokopiev, A., Vasiliev, D., Ryazanov, K., Petrov, E., Yudin, S. New date on stratigraphy and magmatic rocks of the southeastern flank of the In'yali-Debin sinclinorium // Geology and mineral resources of the North-East of Russia: materials of the X All-Russian scientific and practical conference with international participation, April 08-10, 2020 Yakutsk: NEFU Publishing House, 2020, pp. 51–55.

[12] Akinin, V.V., Prokopiev, A.V., Toro, J., Miller, E.L., Wooden, J., Goryachev, N.A., Alshevsky, A.V., Bakharev, A.G., Trunilina, V.A. U-Pb SHRIMP ages of granitoids from the main batholith belt (North East Asia). // Dokl. Earth Sci., 2009, no. 426, pp. 605–610.

[13] Grebennikov, A.V., Khanchuk, A.I. Pacific-type transform and convergent margins: igneous rocks, geochemical contrasts and discriminant diagrams // International Geology Review, 2020 https://doi.org/10.1080/00206814.2020.1848646

УДК 551.72

ПРОИЗВОДСТВЕННО-МЕТОДИЧЕСКИЕ И ГЕОЛОГОСЪЁМОЧНЫЕ РАБОТЫ МАСШТАБА 1: 50 000 - ОСНОВА ГОСГЕОЛКАРТ ПРИКОЛЫМСКОГО ТЕРРЕЙНА

Руслан Протопопов
АО «Якутскгеология», ул. Кальвица, 24, г. Якутск, 677009, Россия

PRODUCTION-METHODOLOGICAL AND GEOLOGICAL SURVEY WORKS WITH A SCALE OF 1: 50 000 - THE BASIS OF THE STATE GEOLOGY MAPS OF THE PRIKOLYMSKY TERRANE

Ruslan Protopopov
JSC "Yakutskgeologiya", 24 Kalvitsa St., Yakutsk, 677009, Russia

Annotation. The Prikolyma terrane is characterized by a complex and fascinating geological structure, composed in the Precambrian basement by the Early Proterozoic crystalline ortho- and paraschists, metamorphosed in the amphibolite and epidote-amphibolite facies. They are overlain by Late Proterozoic carbonate, terrigenous, and volcanogenic strata metamorphosed in the greenschist facies. Outcrops of the Precambrian occupy 25 % of the territory, the rest is composed of carbonate and terrigenous strata of the Phanerozoic, sedimentary-volcanogenic formations of the Jurassic. With a general calm folding at the junctions of tectonic blocks, longitudinal thrust-overthrust zones are observed with the corresponding vergence of structures, through greenschist metamorphism and diaphthoresis in the Early Proterozoic rocks. Geological surveys on a scale of 1: 50,000 in the predominant part of the territory, with advanced production and methodological development of schemes of stratigraphy, magmatism and metamorphism, their approbation at reference sites, and the subsequent participation of developers in geo-mapping provided the most reliable results. Therefore, the proposed precambrian dissection schemes are fundamental for the compilation of State Geological Maps 1000/3 and 200/2. The Early Proterozoic is composed of pyroxene-garnet-hornblende, two-mica sillimanite-disten-garnet, quartz-sillimanite-garnet-staurolite, quartz-chlorite-garnet, chloritoid schists, phyllites and quartzites (Kamenskaya and Oroyokskaya suite). The geochronology of the strata is confirmed by U-Pb zircon dating (1928-2440 Ma). The Late Proterozoic is represented by the central Yasachny and eastern Yarkhodonskaya structural-formational zones. The first is the carbonate Chebukulakhskaya and silt-sandstone Spiridonovskaya formations; the second - carbonate Chebukulakh, basalt-trachyrhyolite volcanic Khagdon (1580-1600 Ma), silt-sandstone Burguchansk, red sandstone-siltstone Syapyakin, Lower Vendian silt-quartz-sandstone Venkemian and Upper Vendian dolomite Korkodon formation.

1. Введение

Вопросы геологического строения и тектонической природы Приколымского террейна в данное время снова становятся актуальными и дискутируевыми в связи с составлением и подготовкой к изданию комплекта Госгеолкарты 1000/3 листа Q-56. Так по результатам недавних заверочных исследований составителей листа вдоль берегов р. Колымы рифейские базальт-трахириолитовые вулканогенные толщи хагдонской свиты (серии), петро-стратотип которой расположен в центрально-восточной части территории, представлены наиболее древними и перекрывающимися оссалинской серией (каменская, ороёкская свиты). Разрез оказался перевёрнутым. В качестве доказательства приводятся результаты изотопного датирования U-Pb методом цирконов (1704-1738 млн. лет) [1]. При этом, доказательства корреляционными сопоставлениями разрезов не приводятся, положение хагдонской серии над чебукулахской объясняется тектоническим надвигом. Радиоизотопные данные используются как панацея, без

учёта возможной ксеногенности фракций цирконов. Здесь не учитываются результаты геологосъёмочных работ масштаба 1 : 50 000 с опережающей специализированной разработкой опорной легенды по всей территории террейна в 1984-1994 годах ГФЭ № 6 [3-6], солидные комплексы работ выполненные в соответствии с методическими руководствами и инструкцией по ГСР-50 ВСЕГЕИ [2] и высоко оцененные внешними научно-техническими экспертизами как образцовые.

2. Основной раздел

Приколымский террейн характеризуется весьма интересным геологическим строением, сложенный многокилометровыми толщами фанерозоя с метаморфизованными до кристаллических пород в протерозойском основании. До 80-х годов разрозненные бессистемные геологические изучения, составления и издания различными авторами из различных экспедиций среднемасштабных геологических карт создавали много разночтений и спорных вопросов. Также и научно-тематические исследования в виде посещений локальных участков не могли дать целостную картину геологического строения. Не хватало комплексной аналитической увязки всех разделов геологии. Только геологосъёмочные работы масштаба 1: 50 000 (Кириллин Н.Д. и др., 1990 г. – северная Каменская; Протопопов Р.И. и др., 1994 г. – центральная Эджекальская; Самохвалов П.А. и др., 1992 г. – южная Шаманихинская площади) и опережающие производственно-методические работы с разработкой схем стратиграфии, магматизма и метаморфизма, апробацией их на опорных участках и последующим участием разработчиков легенды в геокартировании (Аверченко А.И., Протопопов Р.И., Дмитриев Ю.И. Результаты производственно-методических исследований по совершенствованию методики крупномасштабного геологического картирования и легенды для государственных геологических карт масштаба 1:50 000 Приколымской серии листов. ГФЭ № 6. Якутск, 1988 г.) позволили получить высокого качества обоснованные данные по геологическому строению Приколымского террейна. При этом докембрийским образованиям уделялся особый подход с комплексным изучением стратиграфии, макро- и микроструктурной геологии, петрографии, петрологии, петрохимии, геохимии и типоморфизма минералов метаморфических и магматических комплексов [3-6]. Выходы докембрия занимают 25 % территории. При общей спокойной складчатости, на стыках тектонических блоков наблюдаются продольные взбросо-надвиговые зоны с соответствующей вергентностью структур, сквозным зеленосланцевым метаморфизмом и диафторезом в раннепротерозойских породах. Ранний протерозой сложен пироксен-гранат-роговообмаковыми, двуслюдяными силлиманит-дистен-гранатовыми, кварц-силлиманит-гранат-ставролитовыми, кварц-хлорит-гранатовыми, хлоритоидными сланцами, филлитами и кварцитами оссалинской серии (каменская и ороёкская свиты). Геохронология толщ подтверждается U-Pb датированием по цирконам (1928-2440 млн. лет). Поздний протерозой представлен западной Ясачненской и восточной Ярходонской структурно-формационными зонами. Первая – карбонатная чебукулахская и алевролито-песчаниковая спиридоновская свиты; вторая – карбонатная чебукулахская, базальт-трахириолитовая вулканогенная хагдонская, алевролито-песчаниковая бургучанская, красноцветная песчаниково-алевролитовая сяпякинесская, нижневендская алевролито-кварцевопесчаниковая венкемская и верхневендская доломитовая коркодонская свиты. Результаты радиоизотопных датирований с учетом даже возможной ксеногенности фракций цирконов отчетливо показывают, что оссалинская серия наиболее древняя и соответствует раннему протерозою, а хагдонская и спиридоновская (бургучанская) свиты - позднему протерозою (1580-1600 млн. лет) (Рисунок 1). Результаты этих работ излагались на различных научных конференциях и публиковались в научных изданиях регионального и союзного уровня [3-6]. Таким образом, нет более кондиционного картирования на территории Приколымского террейна, чем выполненные ГФЭ № 6 ГСР-50 с общими поисками.

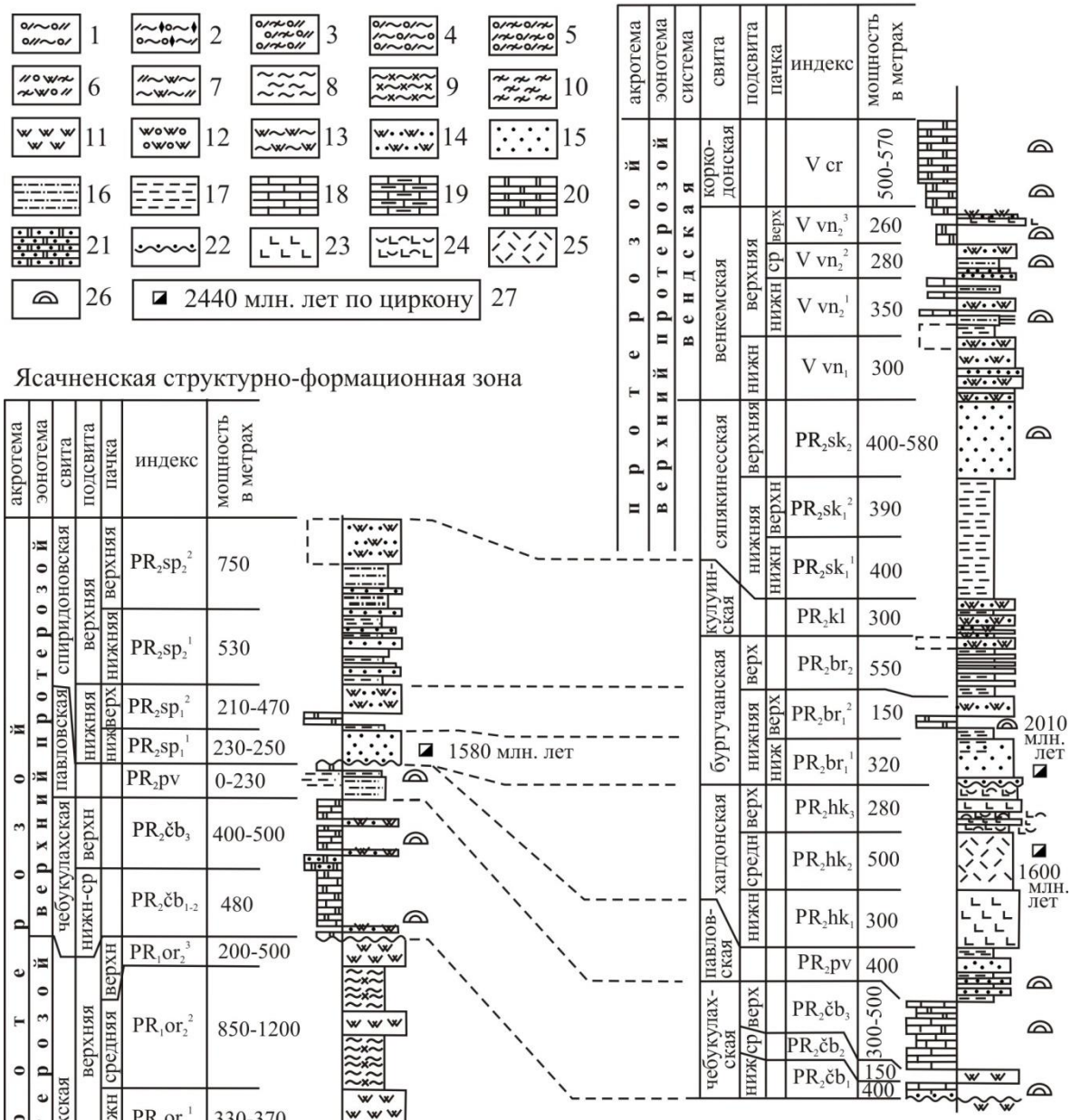


Рисунок 1. Сводный стратиграфический разрез докембрийсих толщ Приколымского террейна.

1 - гранат-двуслюдяные сланцы с силлиманитом; 2 - гранат-серицит-ставролитовые сланцы (обычно с силлиманитом и дистеном); 3 - двуслюдяные хлорит-гранатовые сланцы; 4 - серицит-гранатовые сланцы; 5 - хлорит-серицит-гранатовые сланцы; 6 - двуслюдяные хлорит-гранат-кварцевые сланцы; 7 - кварц-двуслюдяные сланцы; 8 - филлиты; 9 - хлоритоидные сланцы (хлоритоидные филлиты); 10 - хлоритовые сланцы; 11 - кварциты; 12 - гранатовые кварциты (кварциты с гранатом); 13 - кварцито-сланцы; 14 - кварцито-песчаники; 15 - песчаники; 16 - алевролиты крупнозернистые; 17 - алевролиты мелкозернистые и аргиллиты; 18 - известняки; 19 - известняки алевритистые (глинистые); 20 - доломиты; 21 - доломиты песчанистые; 22 - конгломераты, гравелиты и границы несогласного залегания; 23 - базальты; 24 - туфы и туффиты трахибазальтовые; 25 - трахириолиты; 26 - горизонты датирования по палеонтологическим данным; 27 - горизонты радиоизотопного датирования со значениями установленных возрастов.

3. Выводы

Докембрий Приколымского террейна представлен глубинными регионально-метаморфизованными и неметаморфизованными в верхах толщами. Метаморфические толщи (снизу вверх): 1. Раннепротерозойская оссалинская серия кристаллических сланцев и кварцитов (каменская, ороекская свиты) метаморфизованные в амфиболитовой фации и эпидот-амфиболитовой в верхах; 2. Позднепротерозойская чебукулахская серия карбонатная, метаморфизованная в зеленосланцевой фации; 3. Позднепротерозойская хагдонская серия базальт-трахириолитовая вулканогенная, метаморфизованная в зеленосланцевой фации. Выше рифейско-вендские толщи неметаморфизованные. В западной большей части террейна в Ясачненской структурно-формационной зоне спиридоновская свита алевролит-песчаниковая с размывом залегает на чебукулахской серии. Здесь хагдонская серия выпадает из разреза. Восточная Ярходонская структурно-формационная зона имеет следующее строение (снизу вверх): 1. Бургучанская и кулуинская свиты алевролит-песчаниковые (аналоги спиридоновской свиты) с размывом залегают на хагдонской серии; 2. Сяпякинесская свита красноцветная песчаниково-алевролитовая; 6. Вендская венкемская свита терригенно-карбонатная; 7. Вендская коркодонская свита доломитовая. Предлагаемая схема расчленения докембрия Приколымского террейна является фундаментальным для составления Госгеолкарт 1000/3 и 200/2. Зональный наложенный метаморфизм по интенсивности достигает только до зеленосланцевой фации и наблюдается на стыках тектонических блоков. Предвзятое мнение некоторых геологов о наложенном сквозном метаморфизме, изменяющего первичный облик толщи до неузнаваемой кристаллической позволяет свободную трактовку геологических ситуаций, что недопустимо при составлении Госгеолкарт. Нет никакого основания коррелировать хагдонскую и оссалинскую серии, отличающиеся по стратиграфическим строениям и вещественным составам как небо и земля.

4. Литература:

[1] Vladimir Shpikerman, Ekaterina Brusnitsyna. A new scheme for the division of the Proterozoic formations of the Eastern Prikolyma region // Geology and mineral resources of the North-East of Russia. Materials of the X All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation. April 08-10, 2020 Yakutsk, 2020, pp. 158-162.

[2] Instructions for the organization and production of geological surveying and drawing up the State Geological Map of the USSR at a scale of 1: 50,000. Leningrad, 1989, 243 pp.

[3] Protopopov R.I. Metamorphism of the Prikolym uplift // Domestic Geology, 1997, no. 2, pp. 44-48.

[4] Protopopov R.I. Stratigraphy, petrography and metamorphism of the Precambrian of the Prikolym uplift // Geological structure and useful minerals of the RS (Y). Conference materials in 4 volumes. vol. II. Yakutsk, 1997, pp. 28-30.

[5] Protopopov R.I. Petrography of the Chilistyakh peridotite-gabbro-amphibolite and Shamanikha gneiss-granite complexes of the Prikolym Terrane // Geology and Mineral Resources of the North-East of Russia. Proceedings of the VIII All-Russian Scientific and Practical Conference April 18-20, 2018 vol. I. Yakutsk, 2018, pp. 142-145.

[6] Protopopov R.I., Kirillin N.D. Stratigraphic scheme of the Precambrian of the Kolyma uplift // Geodynamics, magmatism and minerageny of the continental margins of the north of the pacific. Materials of the All-Russian meeting dedicated to the 90th anniversary of N.A. Awl. vol. 1. Magadan, 2003, pp. 93-96.

УДК 550.4(571.53)

АНОМАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ УРАНА, КАЛИЯ И ЖЕЛЕЗА В ИСТОЧНИКАХ КАЙНОЗОЙСКИХ ВУЛКАНИЧЕСКИХ ПОРОД ОБЛАСТИ ПЕРЕХОДА КОРА–МАНТИЯ НА ЮЖНОМ КРАЮ СИБИРСКОГО ПАЛЕОКОНТИНЕНТА

Сергей Рассказов[1,2], Ирина Чувашова[1,2], Татьяна Ясныгина[1]
1 Институт земной коры СО РАН, ул. Лермонтова, 128, г. Иркутск, 664033, Россия
2 Иркутский государственный университет, ул. Ленина, 3, г. Иркутск, 664000, Россия

ANOMALOUS DISTRIBUTION OF URANIUM, POTASSIUM, AND IRON IN SOURCES FOR CENOZOIC VOLCANIC ROCKS OF THE CRUST-MANTLE TRANSITION REGION IN THE SOUTHERN MARGIN OF THE SIBERIAN PALEOCONTINENT

Sergei Rasskazov[1,2], Irina Chuvashova[1,2], Tatiana Yasnygina[1]
1 Institute of the Earth's Crust Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,
128 Lermontov St., Irkutsk, 664033, Russia
2 Irkutsk State University, 3 Lenin St., Irkutsk, 664000, Russia

Annotation. We present results of geochemical study of 18.1–11.7 Ma volcanic rocks from the Kamar-Stanovoy Zone of Hot Transtension (KSZHT), located in the central Baikal Rift System (BRS), and older pseudotachylytes from the Main Sayan Fault (MSF). These rocks, geochemically distinguished from OIB, designate mantle and crustal sources (with and without garnet, respectively) that are indicative for tracing complementary relations between layers of the crust–mantle transition (CMT). Indicative for the CMT is anomalous distribution of uranium, potassium, and iron.

1. Введение

Цель работы – выделить значение Слюдянской палеоколлизионной зоны для структурного развития Южно-Байкальской впадины и Тункинской долины через изучение псевдотахилитов Главного Саянского разлома (ГСР) и вулканических пород Камарско-Становой зоны горячей транстенсии (КСЗГТ), расположенной в центральной части позднекайнозойской Байкальской рифтовой системы (БРС). Мы рассматриваем структурные условия, в которых генерировались магматические расплавы, приводим результаты сравнительного изучения состава псевдотахилитов (как типичных пород тектонического происхождения) в сопоставлении с составами вмещающих милонитов, а затем обращаемся к сравнительному изучению состава псевдотахилитов и вулканических пород для выявления соотношений их источников.

2. Результаты

Сопоставление псевдотахилитов и вмещающих милонитов ГСР по петрогенным и малым элементам подчеркивает магматическое происхождение первых, а сопоставление состава псевдотахилитов ГСР и вулканических пород КСЗГТ показывает их общее отличие от базальта океанических островов (OIB), которое предполагает генерацию расплавов в источниках Слюдянской зоны палеоколлизии Хамардабанского террейна и Сибирского палеоконтинента.

Вулканические породы КСЗГТ возрастом 18,1–11,7 млн. лет и более древние псевдотахилиты ГСР обозначают мантийные и коровые источники (соответственно, с гранатом и без граната), показательные для трассирования комплементарного соотношения слоев коро-мантийного перехода (КМП). Мы связываем вулканическую деятельность КСЗГТ с рифтогенным откалыванием фрагмента южного края Сибирского палеоконтинента по Обручевскому разлому и ее угасание со структурным разъединением Южно-Байкальской впадины и Тункинской долины при растяжении–опускании первой из них и сжатии–поднятии второй. На основе модели детальной сейсмической томографии S-волн высокого разрешения и геологических данных, мы

предполагаем, что корово-мантийный магматизм КСЗГТ был следствием деламинации утолщенной корневой части Южно-Байкальского орогена, существовавшего на месте Южно-Байкальской впадины в позднем мелу и палеогене. Установленный тектонический контроль магматических источников КМП согласуется с современными деформациями средней-верхней частей коры Южно-Байкальской впадины и сопредельной Тункинской долины, где сильные землетрясения распределяются вдоль Главной Саянской и Приморской шовных границ Сибирского палеоконтинента.

На диаграмме Th/Yb – Ta/Yb базитовые псевдотахилиты обозначают коровый источник, интерпретирующийся как комплементарная составляющая безгранатового источника нижней части коллизионной коры и гранат-содержащего источника подстилающей мантии. Магматические расплавы псевдотахилитового тренда могли впрыскиваться в милониты ГСР из источника корневой части разлома. Соответственно, мы предполагаем, что магмы КСЗГТ изливались из комплементарного источника модифицированного реститового материала, утратившего компонент псевдотахилитов основного состава. Кроме Th/Yb и Ta/Yb, источники умеренно-Ti базитовых псевдотахилитов комплементарны источникам коро-мантийного перехода по содержаниям FeO_{tot} и K_2O, а также по отношениям K_2O/Na_2O, $(La/Yb)_N$ и Ce/Pb.

Источники магм КСЗГТ были существенно обеднены U относительно Th при палеопротерозойском оформлении КМП около 2,22 млрд. лет назад в результате дифференциации материала общего компонента Внутренней Азии, выделенного по изотопным отношениям Pb. Высокое Th/U отношение отразилось со временем в аномалии DUPAL. Соответственно, Th/U отношение в вулканических породах КСЗГТ достигает 10, но лишь в отдельных образцах. В основном Th/U отношение находится в интервале 2–4. Наблюдающийся диссонанс между характеристиками μ и ω на изотопных диаграммах Pb и Th/U отношением вулканических пород КСЗГТ предполагает флюидное перераспределение урана (относительно тория) с его предпочтительной концентрацией в расплавах источников КМП.

Тектоническая природа корово-мантийных источников КСЗГТ, расшифрованная с использованием модели сейсмической томографии, показывает, что очаги сильных землетрясений соответствуют коровым низкоскоростным (по-видимому, низко-вязкостным) слоям, расположенным под Южно-Байкальской впадиной на меньшей глубине, чем под сопредельной Тункинской долиной. Впадина образовалась в миоцене на месте мел-палеогенового Южно-Байкальского орогена. Магматизм КМП-типа центральной части БРС рассматривается как результат совместного проявлением эффектов Индо-Азиатской конвергенции и осевого затягивания литосферного материала Японско-Байкальского геодинамического коридора.

3. Выводы

В центральной части БРС магматические расплавы генерировались в области КМП. Источники обозначены комплементарным распределением в вулканических породах и псевдотахилитах U, FeO_{tot} и K_2O. Процессы КМП маркируются по аномальному поведению этих компонентов.

4. Благодарности:

Работа выполнена по гранту РНФ 18-77-10027.

УДК 550.34

СЕЙСМИЧНОСТЬ АРКТИЧЕСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ ЯКУТИИ В 2019 ГОДУ

Рустам Туктаров[1], Сергей Шибаев[1], Борис Козьмин[1], Вольфрам Гейслер[2], Алин Плётц[2], Кристиан Хаберланд[3], Франк Крюгер[4], Борис Баранов[5], Николай Цуканов[5], Артем Крылов[5].

1 Якутский филиал Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба РАН», пр. Ленина, 39, г. Якутск, 677000, Россия

2 Институт полярных и морских исследований им. Альфреда Вегенера, Альтен Хафен 26, Бремерхафен, 27568, Германия

3 Потсдамский центр имени Гельмгольца, Телеграфенберг, Потсдам, 14473, Германия

4 Институт наук о Земле Потсдамского университета, ул. Карла Либкнехта, 24-25, Потсдам-Голь, 14476, Германия

5 Институт океанологии имени П.П. Ширшова РАН, Нахимовский пр., 36, г. Москва, 117997, Россия

SEISMICITY OF THE ARCTIC COAST OF YAKUTIA IN 2019

Rustam Tuktarov[1], Sergey Shibaev[1], Boris Kozmin[1], Wolfram Geissler[2], Aline Ploetz[2], Christian Haberland[3], Frank Krüger[4], Boris Baranov[5], Tsukanov Nikolay[5], Artyom Krylov[5].

1 Geophysical Survey of the Russian Academy of Sciences (GS RAS), 39 Lenin Ave., Yakutsk, 677000, Russia

2 Alfred-Wegener-Institut Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung, Am Alten Hafen 26, 27568 Bremerhaven, Germany

3 Helmholtz-Zentrum Potsdam Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, Telegrafenberg 14473 Potsdam, Germany

4 Institute of Geosciences, University of Potsdam, 24 Karl-Liebknecht-St., 2514476 Potsdam-Golm, Germany

5 Institute of Oceanology named after P.P. Shirshov RAS, 36 Nahimovskiy Ave., Moscow, 117997, Russia

Annotation. The article analyzes the seismicity data of the Arctic coast of Yakutia for 2019 by the Russian-German scientific expedition within the framework of the SIOLA project. According to the available data, a seismicity map for 2019 was built, including the territory of the city of Buor-Khaya, the delta of the Lena River, with its main channels Olenekskaya, Trofimovskaya, Bykovskaya. The article also provides the qualitative and quantitative characteristics of earthquakes: depth, energy, frequency of manifestations. In 2019, a network of seismic seismological stations, consisting of 32 points, recorded 830 earthquakes.

1. Введение

В 2020 г. Якутский филиал ФИЦ ЕГС РАН продолжил совместные исследования по проекту «Сейсмичность и неотектоника Лаптевоморского региона» “Seismicity and neotectonics of Laptev Sea region” (SIOLA) с Институтом полярных и морских исследований им. Альфреда Вегенера Alfred Wegener Institute (AWI) и Гельмгольтцским центром полярных и морских исследований (Германия), Helmholtz Centre for Polar and Marine Research (Germany), а также Институтом океанологии РАН им. П.П. Ширшова (г. Москва). Названный проект выполнялся коллективом сотрудников: Якутского филиала ФИЦ ЕГС РАН (руководитель С. Шибаев), Института океанологии РАН (руководитель Н. Цуканов) и Института полярных и морских исследований им. А. Вегенера (Германия) (руководитель В. Гейслер). Проект существует с 2015 г.

За период август–сентябрь 2020 г. в дельте р. Лены были собраны данные 32 временных автоматических цифровых сеймостанций, которые располагались в низовьях р. Лены,

непосредственно в ее дельте, вдоль Быковской протоки и южнее пос. Тикси на западном побережье губы Буор-Хая моря Лаптевых, а также острове Муостах в губе Буор–Хая.

2. Сейсмичность Арктического побережья Якутии за 2019 г.

Представленная сеть из 32 автоматических сейсмических станций позволила регистрировать события с энергетическим классом *К*р = 3–11. Сейсмичность данной территории можно охарактеризовать, разделив территорию условно на три участка:

1 участок- район Оленекской протоки;

2 участок – район Быковской протоки;

3 участок – район губы Буор-Хая (море Лаптевых).

Даже несмотря на то, что в 2019 году не было предусмотрено сейсмических станций в районе Оленекской протоки, в данном районе удалось зарегистрировать около 65 землетрясений, в том числе 55 событий представительского класса с *К*р ≥6. Причем только 2 события данного участка зафиксированы в верхней толщи земной коры на глубинах до 3 км, в то время как остальные 63 толчка сгенерировались на глубинах 4-30 км. Особенность данного района – это прямо пропорциональная зависимость сейсмических событий (с увеличением глубины – увеличивается энергетический класс землетрясений).

Сейсмичность дельты р. Лена представлена полосой эпицентров землетрясений, которая вытянута с запада на восток более чем на 300 км, шириной 80 км, проходящей вдоль проток р. Лена (Оленекская - Быковская), и расширяющейся в акватории губы Буор-Хая до 200-250 км в направлении север-юг. На рисунке 2 сейсмологический профиль полосы землетрясений в направлении запад-восток шириной в 80 км, длинной более 300 (121-129^{o} Е). На профиле отображены землетрясения представительского класса с $К_Р \geq 6$.

Сейсмичность профиля демонстрирует концентрацию большинства землетрясений на отрезке 125-129^{o} Е. Это отчасти объясняется тем, что сейсмические станции были установлены в диапазоне 127-130^{o} Е. Профиль демонстрирует увеличение силы сотрясений с увеличением их глубин. Наиболее сильные события генерировались на глубинах 10-30 км, 14 из 15 землетрясений с $К_Р$ = 8-8,9 были зарегистрированы именно в данном диапазоне глубины. В то же время толчки с $К_Р$ = 6-6,9 происходили в большинстве случаев на глубинах от 1 до 10 км, а также 15 событий с $К_Р$ = 7-7,9 были сфокусированы на данных глубинах.

Не менее интересный район сейсмической активности губа Буор-Хая. Это зона Усть-Ленского грабена и внутриплатформенных разломов [1,2]. Наиболее мощный толчок произошел именно здесь с Кр = 10,5 2 декабря 2019 года в 7-49 Гринвича (72.0615^{o} N, 131.1697^{o} Е) на глубине 26 км в северной части губы Буор-Хая. После этого в течение 90 минут в пределах 20 км от мощнейшего толчка произошли еще 5 землетрясений на глубинах 26-30 км с $К_Р$ = 6.8-8.3. Южнее пос. Тикси была зарегистрирована область повышенной мелкой сейсмичности, которая возможно связана с сезонным процессами оттаивания-замерзания. На рисунке 1 эта область выделена прозрачным фиолетовым кругом.

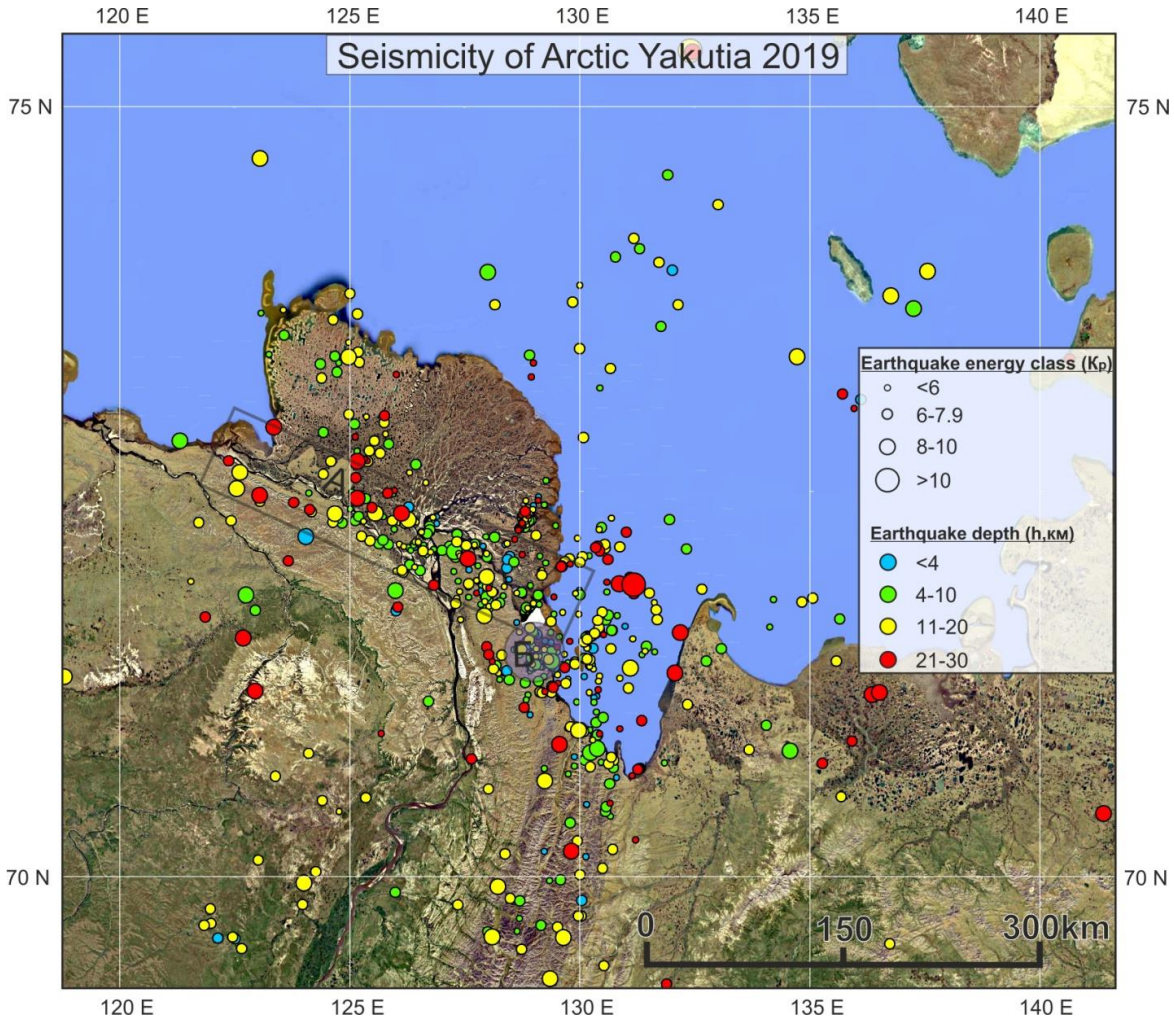


Рисунок 1. Карта сейсмичности Арктической части Якутии за 2019 г. (А – сейсмологический профиль, проходящий вдоль проток дельты реки Лена Оленекская и Быковская, Б – предполагаемая зона сезонной сейсмичности).

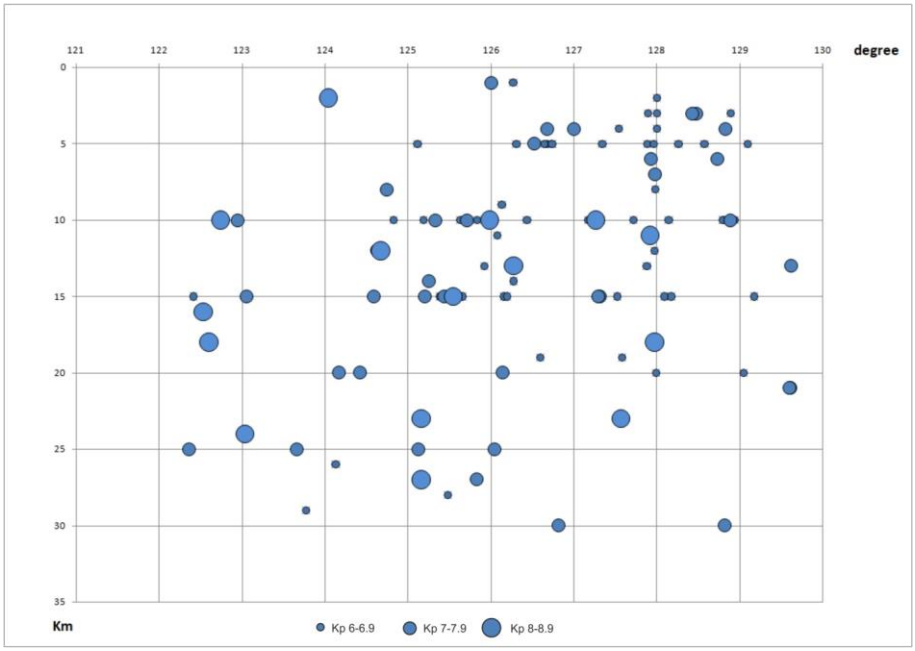


Рисунок 2. Сейсмологический профиль, проходящий вдоль проток дельты реки Лена Оленекская - Быковская.

3. Выводы

Всего за 2019 год было зарегистрировано 830 арктических события. Из них 136 событий было зафиксировано на глубинах 0-4 км, 339 на глубинах 5-10, 259 на глубинах 11-20, 85 на глубинах 21-30 (рисунок 3). Причем сила толчков росла с глубиной, таким образом, среднее значение K_P = 4,95 для поверхностных событий с глубинами 0-4 км, K_P=5.32 для глубин 5-10 км, K_P = 6,28 для глубин 11-20 км, K_P = 6,57 для глубин 21-30 км. Из чего следует, что данный район является сейсмически активным и сейсмический мониторинг в будущем необходимо будет усилить, т.к. изучаемая территория перспективна на обнаружение различного вида полезных ископаемых и это необходимо при оценке сейсмических рисков при возведении объектов инфраструктуры.

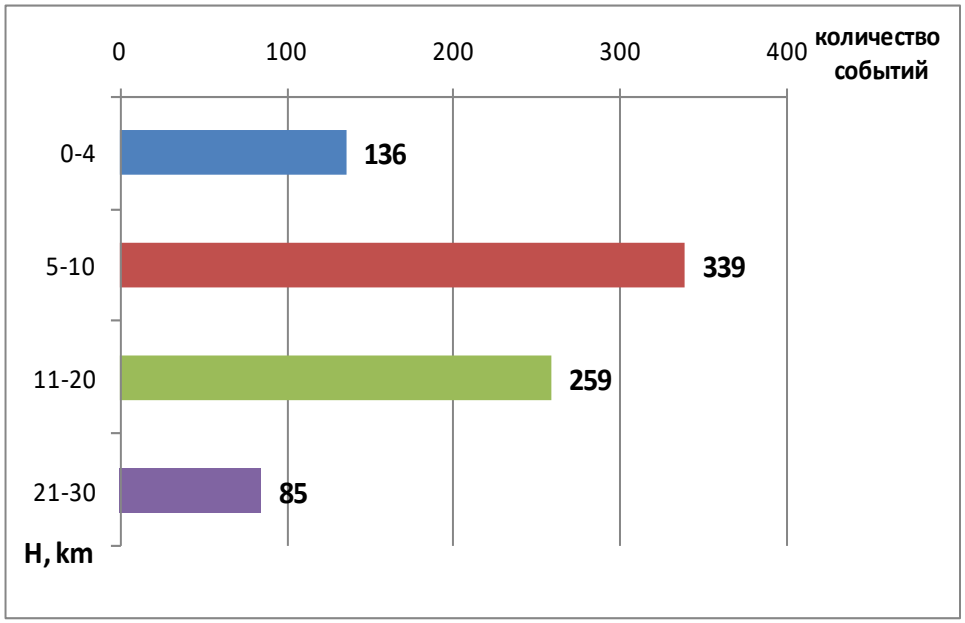


Рисунок 3. Уровень сейсмичности за 2019 г. по различным глубинам

4. Благодарности

Авторы выражают благодарность младшему научному сотруднику лаборатории геологии и петрологии алмазоносных провинций ИГАБМ СО РАН Опарину Н.А. за помощь в создании сейсмологического профиля.

5. Литература:

[1] Imaev V.S., Imaeva L.P. and Kozmin B.M. Seismotectonics of Yakutia. Moscow: GEOS, 2000, 225 pp.

[2] Mokshantsev K.B, Gornstein D.K., Gusev G.S., Lutz B.G., Petrov A.F., Slastenov Yu.L., Frumkin I.M. and Shtekh G.I. Tectonics of Yakutia. Novosibirsk: Nauka, 1975, 198 pp.

УДК552.2(571.56)

ГЕОДИНАМИКА РАННЕЙ ЗЕМЛИ

Владимир Шкодзинский
Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, пр. Ленина, 39, г. Якутск, 677000, Россия

GEODYNAMICS OF THE EARLY EARTH

Vladimir Shkodzinskiy
Diamond and Precious Metal Geology Institute SB RAS, 39 Lenin Ave., Yakutsk, 677000, Russia

Annotation. Based on the evidence obtained the hot heterogeneous accretion of the Earth, 3 new geodynamic settings were identified. At the pre-geological stage, there was a panmagmatic setting; in the Early Precambrian and Proteorozoic, respectively, the setting of formation of the acidic crust and lithosphere of ancient platforms as a result of crystallization of the magma ocean.

1. Введение

Полученные в последние десятилетия доказательства горячей гетерогенной аккреции Земли [2] в новом свете представляют ее раннюю геологическую историю. При такой аккреции ядро образовалось раньше мантии в результате быстрого объединения железных частиц под влиянием магнитных сил. Выпадавшее силикатное вещество плавилось под влиянием импактного тепловыделения и формировало океан магмы глубиной до 250 км. Его придонная часть кристаллизовалась и фракционировала под влиянием роста давления нагрузки возникавших верхних частей. Кумулаты формировали вещество мантии. Возрастание температуры аккреции обусловило эволюцию образующихся остаточных расплавов от кислых до ультраосновных. Расположение их по плотности привело к возникновению слоистости в магматическом океане (Рисунок). Вследствие слоистости после прекращения аккреции в магматическом океане отсутствовала конвекция расплавов и он медленно кристаллизовался сверху вниз.

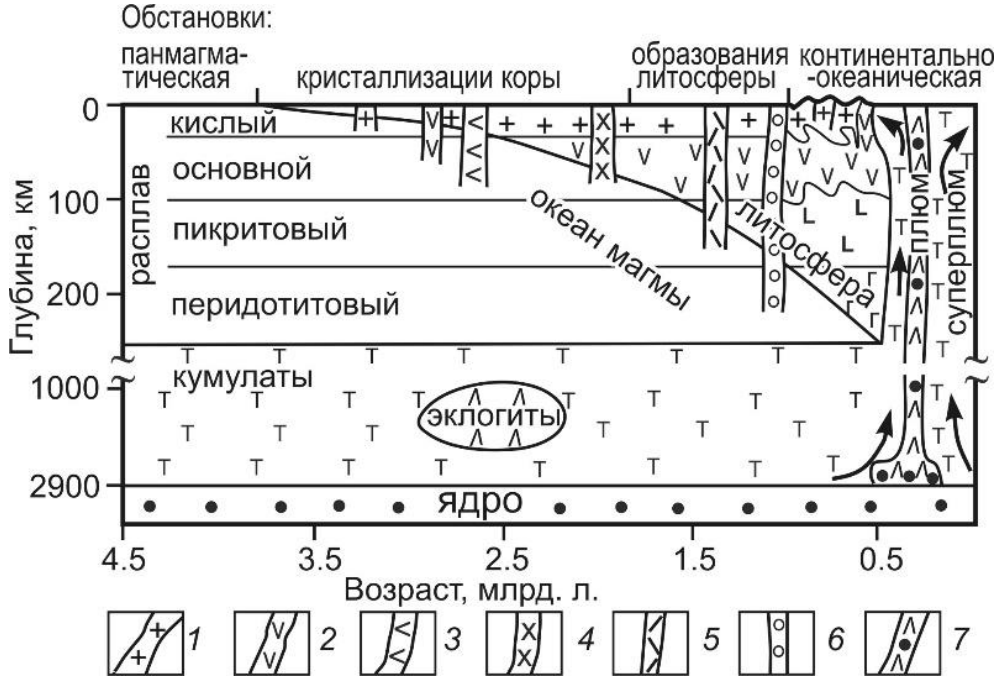


Рисунок. Эволюция магматического океана, геодинамических обстановок и магматизма в истории Земли. Внедрение магм: 1 – кислых, 2 – основных, 3 – анортозитовых, 4 – щелочно-основных, 5 – щелочно-ультраосновных с карбонатитами, 6 – кимберлитовых, 7 - океанических и траппов, иногда с ксенолитами ядра.

2. Панмагматическая геодинамическая обстановка

В первые 0,7 млрд. лет (в хадее) поверхность Земли была покрыта расплавом и на ней существовала *панмагматическая геодинамическая обстановка.* Это объясняет отсутствие на Земле пород древнее 3,8 млрд. лет и кратеров завершавшей аккрецию гигантской метеоритной бомбардировки. В 8 раз меньшая масса Луны привела к значительно раньшему затвердеванию магматического океана, к широкому распространению на ней пород с возрастом до 4,5 млрд. лет и гигантских импактных бассейнов, заполненных основными магмами магматического океана.

3. Обстановка кристаллизации кислого слоя магматического океана

Наиболее древний изотопный возраст кристаллических комплексов 3,8 млрд. лет свидетельствует о начале затвердевания в это время магматического океана и возникновения *геодинамической обстановки формирования раннедокембрийских кристаллических комплексов и кислой коры в результате кристаллизации кислого слоя магматического океана.* Вследствие сильного повышения температуры в процессе аккреции мантии (до 3000 ^{o}C) в ней существовал обратный геотермический градиент, не было всемантийной конвекции и, следовательно, отсутствовали современные геодинамические обстановки. Они появились в конце протерозоя после прогревания мантии ядром. Возрастание плотности кристаллизовавшихся приповерхностных частей кислого слоя приводило к их погружению вместе с формировавшимися на них осадками и к всплыванию на их место подстилавших магм иногда среднего и основного состава. Это объясняет частое чередование в кристаллических комплексах кислых ортогнейсов со средними и основными и с парапородами. Последние представлены преимущественно кварцитами и высокоглиноземистыми гнейсами вследствие интенсивного выщелачивания возникавших пород кислотными эманациями магматического океана. Магматическое происхождение объясняет выдержанную высокую температуру (800 – 850 ^{o}C) кристаллизацию комплексов, только регрессивную последовательность минералообразования в них, отсутствие постепенных переходов в низкотемпературные толщи и мощных перекрывающих толщ, теплоизолирующим влиянием которых мог быть обусловлен их гипотетический метаморфизм. Большая длительность остывания огромного магматического океана обусловила большой возрастной интервал кристаллизации, превышающий иногда миллиард лет. Эманационная дифференциация большого объема магматического океана привела к образованию иногда уникально богатых рудных месторождений. Например, на месторождениях железистых кварцитов суммарная мощность рудных пластов достигает 1 км, а из месторождения Витватерсранд уже извлечено около 40 % золота, добытого человечеством. Участки с мощной кислой корой наиболее перспективны на поиски таких уникальных месторождений.

4. Обстановка образования литосферы древних платформ

Наиболее молодые кристаллические комплексы имеют возраст около 2 млрд. лет. В это время возникла *геодинамическая обстановка образования литосферы древних платформ путем затвердевания глубинных слоев магматического океана.* Наиболее важным процессом в это время было образование в результате кристаллизации глубинных слоев магматического океана различных остаточных расплавов и их всплывание. На поздних стадиях кристаллизации кислого слоя магматического океана в нем формировались лейкократовые остаточные кислые расплавы исходные для гранитов. Последующая кристаллизация более глубинных среднего и основного по составу слоев обусловила образование и всплывание субщелочных и щелочных остаточных расплавов и формирование соответствующих по составу пород. Подъем богатых плагиоклазовыми кумулатами магм привел к образованию автономных анортозитов, широко распространенных на древних щитах. В дальнейшем из остаточных расплавов пикритового слоя формировались щелочно-ультраосновные карбонатитсодержащие комплексы, а из расплавов придонного слоя кимберлиты. Раздвижение континентальной литосферы при образовании океанических областей является причиной обычно отсутствия в них кимберлитов (правило Клиффорда). Интенсивность геологических процессов в период 2,2 – 1,2 млрд. лет назад была

самой низкой в истории Земли. Он получил название «мертвая земля» [1]. Это объясняется тем, что к этому периоду глобальный магматический океан почти полностью остыл и затвердел, а процессы всемантийной конвекции еще не начались.

4. Заключение

Таким образом, Земля эволюционирует направленно и необратимо. Главной причиной эволюции является ее остывание.

5. Литература:

[1] Dobretsov, N. L. Bases of tectonics and geodynamics. Novosibirsk: NSU Publishing house, 2011, 492 pp.

[2] Shkodzinskiy, V.S. Global Petrology based on current data on hot heterogeneous accretion of the Earth. Yakutsk: SVFU, 2018, 244 pp.

УДК 549.67 (571.56-15)

РАЗЛИЧНЫЕ ТИПЫ ЦЕОЛИТОВОГО СЫРЬЯ КЕМПЕНДЯЙСКОГО ЦЕОЛИТОНОСНОГО РАЙОНА

Александр Александров
Институт проблем нефти и газа ЯНЦ СО РАН, ул. Петровского 2, г. Якутск, 677980, Россия

DIFFERENT TYPES OF ZEOLITE RAW MATERIALS OF THE KEMPENDYAY ZEOLIT-BEARING AREA

Aleksander Aleksandrov
Institute of Oil and Gas Problems YSC SB RAS, 2 Petrovsky St., Yakutsk, 677980, Russia

Annotation. This article presents the typification of zeolite raw materials from the Kempendyai depression fields, in order to determine the area of its practical application in preparing the field for industrial development. The materials on the geological structure of fields of zeolite raw materials of the Late Devonian-Early Carboniferous age of the Kempendyai zeolite-bearing area are summarized. The types of raw materials are distinguished by the difference in cation composition: clinoptilolite-heulandite and heulandite. A brief description of the material composition and physicochemical properties of zeolite rocks is given, and the regularities of the spatial variation of their composition are considered. Recommendations are given for the practical application of the separated types of raw materials.

1. Введение

В 1978 г. в Якутии было открыто первое месторождение цеолитов Хонгуруу, на территории Кемпендяйской впадины среди отложений верхнего девона и нижнего карбона. Эти отложения ранее считались бесперспективными для поисков залежей цеолитового сырья. В то время среди специалистов существовало мнение, что месторождения цеолитов следует искать в более молодых по геологическому возрасту образованиях. Это открытие послужило толчком для постановки поисковых работ на цеолитовое сырье на территории Кемпендяйской впадины. В последующем были открыты крупные залежи цеолитового сырья на участках Сорос, Улахан-Уоттаах и Чучуба, позволившие научно обосновать новый на востоке России Кемпендяйский цеолитоносный район с колоссальными запасами цеолитового сырья. В процессе предварительной и детальной разведки месторождения Хонгуруу было установлено, что цеолитовые породы по составу весьма неоднородны. Их минеральный состав меняется от типичного клиноптилолита до типичного гейландита со всеми переходными разностями промежуточного ряда даже в пределах одного пласта. Впоследствии на месторождении Хонгуруу были определены площади распространения каждого из этих типов и даны рекомендации по их практическому использованию.

Цель исследований. Изучить и определить закономерности пространственного распространения различных типов цеолитового сырья в известных месторождениях и проявлениях Кемпендяйского цеолитоносного района.

2. Методика исследований

Типизация цеолитового сырья в основном базируется на результатах валового химического анализа. Это связано с невозможностью выделения, собственно, цеолитовой составляющей,

представляющей собой скрытокристаллические агрегаты. В связи с этим принята методика расчета валового состава породы на кристаллохимическую формулу минерала клиноптилолит-гейландитового ряда: $Me_6{+}A1_6Si_{30}O_{72}\ nH_2O$ – $Me_3^2{+}Al_{16}\ Si_{30}O_{72}{\cdot}nH_2O$ на 72 атома кислорода. Химический анализ каждой из проб сопровождался данными процентного содержания цеолитовых минералов.

Из множества вариантов графического изображения состава минералов клиноптилолит-гейландитового ряда, нами была использована диаграмма Г.П. Валуевой и Х. Минато, отображающая полный кристаллохимический состав каркасных силикатов в координатах $Me^{2+}/A1{+}Fe^{3+}$ - $Me^{+}/Al{+}Fe^{3+}$ - $Si/Al{+}Fe^{3+}$, где $Me^{2+} = Ca^{2+} + Mg^{2+}$; $Me^{+} = Na^{+} + K^{+}$. Эта диаграмма представляет собой проекцию на двух плоскостях объемной диаграммы. При этом сделано предположение, что Fe^{2+} наряду с Са и Mg является обменным катионом Fe^{3+} замещает изоморфные в структуре цеолита Si^{4+} наряду с А1. Кроме того, эти два катиона могут быть связаны с присутствием таких примесных минералов, как гидрослюды, хлориты, глинистые минералы и др. Таким образом, при рассмотрении кристаллохимического состава цеолитовой породы всегда надо учитывать, что представляет собой результат пересчета валового состава породы, а не чистой мономинеральной фракции [1,2].

3. Фактический материал

Для выполнения данной работы использованы все аналитические данные, полученные при детальной разведке месторождения Хонгуруу, а также материалы по поисково-оценочным работам месторождений Улахан -Уоттаах, Сорос, Чучуба и проявлений Муосааны и Кырто-Стаг.

1. **Месторождение Хонгуруу** расположено в 22 км к востоку от пос. Кемпендяй, в отрогах одноименного хребта, приурочено к юго-восточному крылу Таас-Тусской антиклинали (рисунок 1). Цеолитовые породы четырех пластов месторождения залегают согласно с вмещающими их осадочными породами верхнего девона и нижнего карбона. Мощность пластов изменяется от 6,5 до 13 м. По данным детальной разведки месторождения подсчитано запасов сырья на 11,4 млн. тонн. Основная масса породы представлена из витро- и кристалло-витрокластических туфов, замещенных почти полностью скрытокристаллическими изотроп-ными агрегатами клиноптилолита-гейландита. Кристаллокластический материал (2-25 %) представлен кварцем, полевым шпатом, обломков кремнистых пород и биотита. По данным ренгенофазового анализа (РКФА) установлен состав минералов клиноптилолит-гейландиового и гейландитового ряда. Результаты определения портативной цеолитной лаборатории (ПЦЛ) показали, что содержание цеолитов в породе достигает - 70-98 %. На данном этапе изученности на месторождении выделяются два типа сырья, различающиеся между собой в основном по катионному составу: клиноптилолит-гейландитового ряда и гейландитового ряда. Усредненный химический состав пород по двум типам сырья, приведен в таблице 1 [1,2].

2. **Месторождение Улахан-Уоттаах** расположено в верховьях рч. Улахан-Уоттаах (левый приток р. Кемпендяй) в своде Улахан-Уоттаахской антиклинальной структуры (Рисунок 1). На участках шурфовочными выработками среди отложений намдырской свиты верхнего девона вскрыты пласты цеолитовых пород. Мощность пластов не менее 6-8 м. Прогнозные запасы сырья не менее 20 млн. тонн. Основная масса породы сложена витро- и кристалловитро-кластическими туфами, замещенными слабодвупреломляющими скрытокристаллическими почти изотропными агрегатами цеолитовых минералов, которые под микроскопом уверенно не диагностируются. Кристаллокластический материал в породах составляет 5-10 %. По данным РКФА установлен состав минералов клиноптилолит-гейландитового ряда. Содержание цеолитов в породе (ПЦЛ) – 59-77 %. Усредненный химический состав цеолитов клиноптилолит-гейландитового состава, приведен в таблице 1 [2,3].

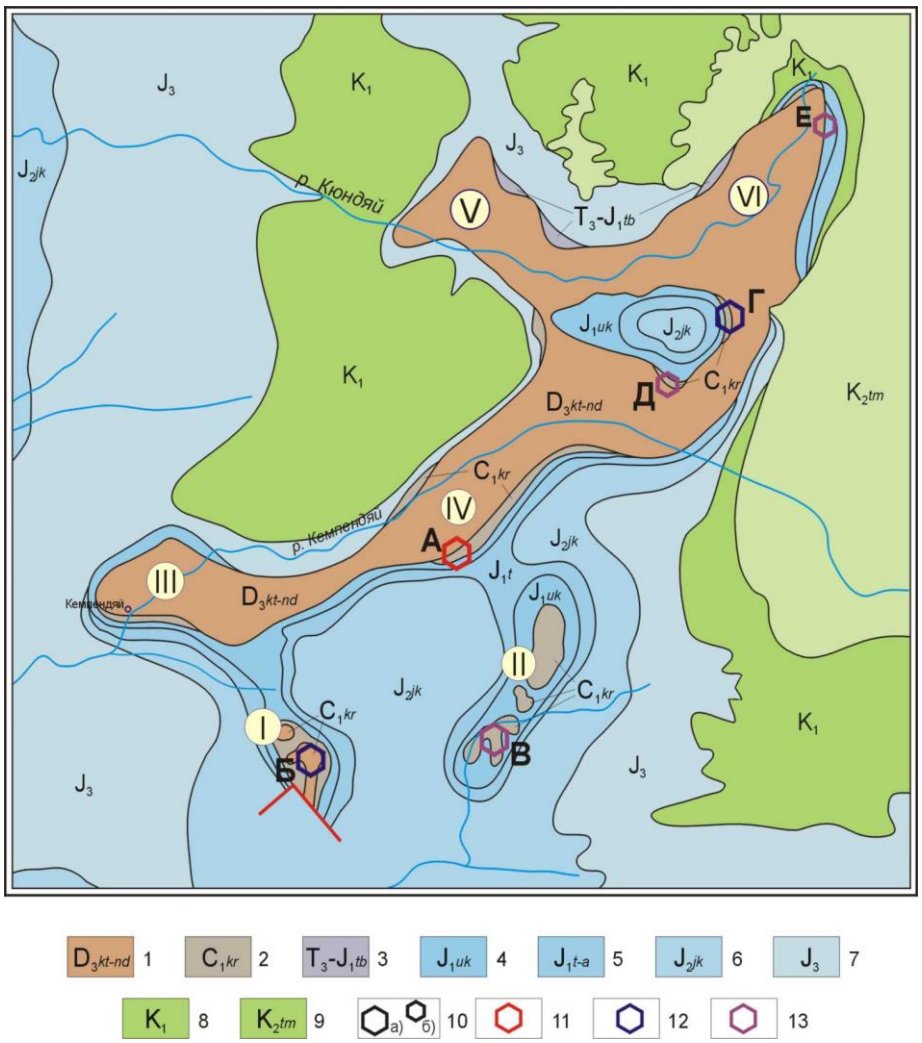


Рисунок 1. Геологического строения юго-запада Кемпендяйского цеолитоносного района. 1 - верхний девон, кыгылтууская и намдырская свиты (D_3*kt-nd*), 2 - нижний карбон, курунгуряхская свита (C_1*kr*), 3 - верхний триас и нижняя юра, табасындская свита (T_3-J_1 *tb)*, 4 - нижняя юра, укугутская свита (J_1*uk*), 5 - нижняя юра, тоарский и ааленский ярусы (J_1*t-a*), 6 - средняя юра, якутская свита (J_2*jk*), 7 - верхняя юра (J_3), 8 - нижний мел (K_1), 9 - верхний мел, тимирдяхская свита (K_2*tm*); типы цеолитового сырья месторождений и проявлений: 10-клиноптитлолит-гейландитовый и гейландитовый состава; 11 – клиноптилолит гейландитовый состав; 12 – гейландитовый состав; месторождение (а) и проявление (б) цеолитовых пород: а) - А- Хонгуруу, Б-Улахан-Уоттаах, В-Сорос, Г- Чучуба; б) - Д – Кырто-Стаг, Е – Муосаааны; антиклинальные структуры: I - Улахан-Уоттаахская, II - Сорогская, III - Кемпендяйская, IV - Таас-Тууская, V - Западно-Кюндяйская, VI - Восточно-Кюндяйская.

3. **Месторождение Сорос** расположено на крутом правом склоне долины руч. Эстээх (левый приток руч. Сорос). Здесь в своде Сорогской антиклинальной структуры, сложенном породами верхнего девона и нижнего карбона шурфовочными выработками вскрыты три пласта цеолитовых туфов мощностью 8-15 м (Рисунок 1). Основная масса породы представлена витро- и кристалловитрокластическими туфами, сложенными ~~из~~ тонкодисперными, очень слабо поляризующими, почти изотропными, скрытокристаллическими агрегатами гейландита. Кристаллокластическая часть породы (от 5-10 до 25 %) состоит из кварца, полевых шпатов и листочков биотита. По данным РКФА установлены минералы гейландитового ряда. Содержание цеолитов в породе (ПЦЛ) – 43-99%. Усредненный химический состав цеолитовых пород приведен в таблице 1 [2,3].

Таблица 1

Усредненный химический состав цеолитовых пород месторождений и проявлений, %.

SiO_2	TiO_2	$A1_2O_3$	Fe_2O_3	FeO	MnO	MqO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	H_2O
месторождение Хонгуруу (по двум типам)											
66,43	0,18	12,03	0,92	0,26	0,03	1,47	**2,50**	**1,75**	1,35	0,14	6,2.
месторождение Улахан-Уоттаах											
68,60	0,18	11,91	1,19	0,43	0,01	1,78	**2,32**	**1,26**	1,66	0,04	10,37
месторождение Сорос											
65,97	0,2	12,80	0,37	0,62	0,01	1,95	**2,98**	0,60	1,95	0,09	12,17
месторождение Чучуба											
67,42	0,18	11,86	0,65	0,37	0,02	1,13	**2,53**	**2,13**	1,52	0,04	12,04
проявление Кырто-Стаг											
64,06	0,04	11,57	3,43	0,31	0,02	1,27	**2,66**	0,26	2,42	0,06	12,79
проявление Муосааны											
68,00	0,17	12,53	0,97	0,17	-	1,68	**4,28**	0,26	1,95	0,01	-

4. **Месторождение Чучуба** расположено на водоразделе рек Кемпендяй и Кюндяй, на горе Чучуба, приурочено к юго-западному крылу Восточно-Кюндяйской антиклинальной структуры (Рисунок 1). Здесь среди девонско-нижнекаменноугольных отложений шурфовочными выработками вскрыто два пласта мощностью от 9 до 12 м. Основная масса породы представлена в основном витрокластическим, реже кристалловитрокластическим туфом, нацело замещающим пепловый материал, сложенный минералами клиноптилолит-гейландитового ряда. Содержание кристаллокластического материала достигает до 25-30 %. По данным РКФА порода состоит из минералов клиноптилолит-гейландитового ряда. Содержание цеолитов в породе – 46-76 %. Усредненный химический состав цеолитовых пород приведен в таблице 1 [2,3].

5. **Проявление Муосааны** расположено на восточном крыле Восточно-Кюндяйской антиклинали, на правом склоне долины Кене-Юрях (левый приток р. Кемпендяй) (Рисунок 1). Выход пласта цеолитовых туфов обнаружен на северо-востоке участка среди отложений нижнего карбона. Цеолитовые туфы голубовато-серые, плитчатые кристалловитрокластические. По внешнему виду практически не отличаются от туфов других месторождений Кемпендяйского района. Содержание цеолитов от 85 до 95 % (по ПЦЛ). Усредненный химический состав пород приведен в таблице 1 [2,3].

6. **Проявление Кырто-Стаг** расположено на южном склоне горы Кырто-Стаг (северный борт Таас-Туусской антиклинали) (Рисунок 1). Здесь шурфовочными выработками среди сероцветных отложений нижнего карбона, залегающих между красноцветными отложениями верхнего девона, вскрыты маломощные прослои цеолитизированных туфов. Под микроскопом туфы витрокластические, пелитовые, цеолитизированные, глинизированные. Основная масса породы состоит из тонкодисперсного, почти изотропного, неподдающегося диагностике под микроскопом, материала. В некоторых участках породы сохранились реликты вулканического стекла игольчатой, клиновидной и серповидной форм. По данным РКФА порода состоит из минералов клиноптилолит-гейландитового ряда. Содержание цеолитов - 95-96 % (по ПЦЛ). Усредненный химический состав цеолитовых пород приведен в таблице 1 [2,3].

4. Результаты и обсуждение

Как показал анализ результатов химического состава цеолитовых пород месторождений и проявлений Кемпендяйского цеолитоносного района, здесь так же, как и на месторождении Хонгуруу, выделяется два типа сырья: клиноптилолит-гейландитовый и гейландитовый.

В результате исследований установлено, что цеолитовые породы месторождения Улахан-Уоттаах и Чучуба, состоят в основном из клиноптилолит-гейландитового типа сырья, а месторождения Чучуба – из гейландитовых разностей. Что касается проявлений Кырто-Стаг и Муосааны, то по единичным образцам они имеют гейландитовый состав (Рисунок 1).

В заключение следует констатировать, что каждый из выделяемых типов сырья имеет свои предпочтительные области практического использования. Цеолитовое сырье клиноптилолит-гейландитового состава следует использовать в очистке производственных и бытовых вод, в животноводстве, в очистке дымовых газов и т.д. А сырье гейландитового состава предпочтительнее использовать в условиях Якутии в растениеводстве, птицеводстве и т.д.

4. Благодарности
Работа выполнена по государственному контракту Министерства охраны природы РС(Я) № 10 от 02.05.2008 г.

5. Литература:

[1] Aleksandrov A.R., Erofeevskaya L.A. Types of zeolite raw materials of the Khonguruu field (Yakutia) and their complex use //In the collection: Geology and mineral resources of the north-east of Russia. Materials of the IX All-Russian Scientific and Practical Conference: - Yakutsk: Publishing House of the North-Eastern Federal University, vol 1, 2019, pp. 203-207 (in Russian)
[2] Kolodeznikov K.E., Novgorodov P.G., Matrosova T.V. and Stepanov V.V. Kempendyai zeolite-bearing area. Yakutsk: YaSC SB RAS, 1993, 68 pp. (in Russian)
[3] Kolodeznikov K.E. Zeolite-bearing provinces of the East of the Siberian platform. Yakutsk: Yakutsk Branch of the SB RAS, 2003, 224 pp. (in Russian)

УДК 549.514.71: 552.331

ТИПОМОРФИЗМ КАССИТЕРИТА КАК ИНДИКАТОР МАГМАТИЧЕСКОГО ГЕНЕЗИСА АПОГРАНИТОВ КЕСТЁРСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ЯКУТИЯ)

Виктор Алексеев
Санкт-Петербургский горный университет, Васильевский остров, 21 линия, 2, г. Санкт-Петербург, 199106, Россия

CASSITERITE TYPOMORPHISM AS AN INDICATOR OF MAGMATIC GENESIS OF KESTER DEPOSIT APOGRANITES (YAKUTIA)

Viktor Alekseev
Saint-Petersburg Mining University, 2, 21st Line, Vasilievsky island, St. Petersburg, 199106, Russia

Annotation. The typomorphic features of cassiterite from the enclosing microcline-quartz-albite rocks of the Kester deposit in Yakutia were investigated. The conclusion is made about the magmatic genesis of cassiterite and maternal apogranites. Regional typomorphic features of cassiterite from the Kester deposit are distinguished: abnormally high values of tantalum content and ferruginosity.

1. Введение

Установлено разнообразие геологических условий образования и выявлено множество типоморфных особенностей касситерита, делающих его эффективным индикатором петро- и рудогенеза [1,2]. Актуальность изучения касситерита связана также с его использованием в качестве промышленного источника редких металлов. Объектом исследования выступает касситерит апогранитов Кестёрского редкометалльно-оловянного месторождения в Восточной Якутии.

2. Основной раздел

Месторождение Кестёр расположено в междуречье Яны и Борулаха, в Арга-Ыннах-Хайском гранитоидном массиве. Основная часть рудной зоны представляет собой гарполит микроклин-кварц-альбитовых пород – апогранитов, содержащих касситерит-1, Li-слюды, монтебразит, колумбит-(Fe), танталит-(Mn). В апикальной части гарполита расположена залежь топаз-кварц-мусковитовых грейзенов, включающих касситерит-2, аналогичные редкометалльные минералы и кварцевые прожилки с сульфидами Cu, Sn, Fe, Zn [3]. В докладе охарактеризованы минералогические особенности касситерита-1 из апогранитов, рассматриваемых исследователями как редкометалльные граниты [3] или как гидротермально-метасоматические породы [4].

Касситерит-1 относительно мелкий (0,03–0,8 мм), гипидиоморфный дипирамидальный с матовыми гранями (111). Окраска практически черная, в изломе – темно-бурая, со смолистым блеском. В шлифах касситерит зонально окрашен и ясно плеохроирует от красно-коричневого по N_e до светло-коричневого по N_o. Двойники и незакономерные сростки не характерны.

В апогранитовых агрегатах касситерит образует в основном сростки с кварцем и светлой слюдой, реже с альбитом, микроклином и топазом. Из акцессорных минералов тесно ассоциирует с колумбитом-(Fe), танталитом-(Mn), ильменорутилом и иксиолитом, иногда с топазом, монтебразитом и фторапатитом. Образует эпитаксические сростки со стрюверитом. Относительно редко наблюдаются включения в касситерите колумбита-(Mn), танталита-(Mn), еще реже – микролита, уранинита. Примерно в 25 % изученных зерен касситерита зафиксированы структуры распада твердого раствора в виде ксеноморфных микровключений (1,5–3,5 мкм), реже нитевидных выделений тапиолита и колумбита.

Наиболее яркой особенностью касситерита-1 является его нестехиометрический состав. Характерно наличие существенных примесей (в среднем по 144 пробам): Ta_2O_5 5,33 %, Nb_2O_5 1,21 %, FeO 0.85%, TiO_2 0,07 %, MnO 0,04 %. Зафиксирована экстремальная концентрация Ta_2O_5

17,86 %. В подавляющем большинстве случаев (96 % проб) касситерит с содержанием Ta_2O_5 более 1,0 % не содержал захваченных включений тантало-ниобатов крупнее 30 нм.

Все описанные физические и химические особенности касситерита из апогранитов Кестёрского месторождения очевидно соответствуют типоморфным признакам акцессорного касситерита редкометалльных гранитов [1,2,5,6]. Это указывает на магматическое происхождение микроклин-кварц-альбитовых пород Кестёрского гарполита и их принадлежность к редкометалльным гранитам. Корреляция пятивалентных (Ta, Nb) и двухвалентных (Fe, Mn) катионов в соотношении 2:1 указывает на изоморфный характер выявленных примесей, что является важной типоморфной чертой акцессорного касситерита редкометалльных гранитов [5,6].

Сравнивая изученный касситерит с акцессорным касситеритом редкометалльных гранитов других месторождений мира, можно отметить экстремальное содержание в нем примеси Ta_2O_5 – в среднем 5,33 %, максимум 17,86 % (в мире в среднем 3,09 %) и аномально высокую железистость – в среднем Mn/(Mn+Fe) 0,05 (в мире 0,26).

3. Выводы

1. Данные о типоморфизме касситерита позволяют сделать вывод о магматическом происхождении апогранитов Кестёрского месторождения и отнести их к редкометалльным гранитам.
2. Региональные типоморфные особенности касситерита месторождения Кестёр заключаются в аномально высоких значениях содержания тантала и железистости.

4. Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-15-50064.

5. Литература:

[1] Maksimyuk, I.E., Voronina, L.B. Cassiterite // Mineral typomorphism: Guide. M.: Nedra, 1989, pp. 204-218 (in Russian).
[2] Dolomanova, E.I., Boyarskaya, R.V., Rakcheev, A.D., et al. Cassiterite and its typomorphic features // Mineral typomorphism. M.: Nauka, 1969, pp. 128-184 (in Russian).
[3] Trunilina, V.A., Orlov, Yu.S., Zaitsev, A.I., et al. High-phosphorous lithium-fluorine granites of eastern Yakutia (Verkhoyansk-Kolyma orogenic region). Russian Journal of Pacific Geology. 2019, vol. 38, no. 1, pp. 64-79 (in Russian).
[4] Protopopov, R.I. Problem of allocation of the Kestersky complex rare-metal granites (small intrusion) // Bull. Goskomgeologiya, 2014, no. 1(13), pp. 47-52 (in Russian).
[5] Costi, H.T., Horbe, A.M.C., Borges, R.M.K., et al. Mineral chemistry of cassiterites from Pitinga Province, Amazonian craton, Brazil // Revista Brasileira de Geociencias, 2000, vol. 30, no. 4, pp. 775-782.
[6] Murciego, A., Garcia, S.A., Dusausoy, Y., et al. Geochemistry and EPR of cassiterites from the Iberian Hercynian Massif // Mineralogical Magazine, 1997, vol. 61(3), pp. 357-365.

УДК 553.411

ТЕКСТУРНО-СТРУКТУРНЫЕ И МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РУД СПОКОЙНИНСКОГО УЗЛА (АЛДАНО-СТАНОВОЙ ЩИТ)

Галина Анисимова[1], Лариса Кондратьева[1], Вероника Кардашевская[1], Евгений Соколов[2]
1 Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, пр. Ленина, 39, г. Якутск, 677000, Россия
2 АО «Якутскгеология», ул. Кальвица, 24, г. Якутск, 677009, Россия

TEXTURAL-STRUCTURAL AND MINERAL-GEOCHEMICAL TYPING OF ORE SPOKOINSKY KNOT (ALDAN-STANOVOY SHIELD)

Galina Anisimova[1], Larisa Kondratieva[1], Veronika Kardashevskaia[1] and Evgeniy Sokolov[2]
1 Diamond and Precious Metal Geology Institute SB RAS, 39 Lenin Ave., Yakutsk, 677000, Russia
2 JSC "Yakutskgeologiya", 24 Kalvitsa St., Yakutsk, 677009, Russia

Annotation. In the Spokoininsky knot (Aldan-Stanovoy shield), gold-bearing metasomatites belong to low-temperature hydrothermal-metasomatic formations of berezite and argillisite formations, the latter are the most widespread and often have vein-vein mineralization of druse-like quartz. The bulk of gold in gold-bearing metasomatites is closely associated with quartz, which completes the process of mineral formation. Gold content clearly depends on the scale of silicification. Within the node, the mineralogical and geochemical features of the ores differ by area. The main difference lies in the different mineral composition of the superimposed gold-telluride mineralization. Within the calm ore composition is Ag-Te, and in the Mayskoye ore field it is gold-rare metal (Au-Sn-Bi-Te). The development of superimposed mineralization explains the different composition (the fineness, trace element) of native gold in the above fields. All these mineralogical and geochemical features of the ores of the Spokoininsky ore cluster are similar to the mineralogical and geochemical features of the ores of the deposits and occurrences of gold of the Algominsky and Badis-Chakataisky clusters and the Verkhneamginsky region. This is a new type of gold mineralization, Au-Ag-Bi-Te, which is developed in the western and southern regions of the Aldan-Stanovoy shield.

1. Введение

Для типизации золотого оруденения Спокойнинского узла проведены текстурно-структурные и минералого-геохимические исследования руд. Ранее [1] были приведены данные о вещественном составе руд узла. Исследования проводились при полевых условиях и лабораторно с помощью оптических методов и на сканирующем электронном микроскопе JEOL JSM-6480LV с использованием энергетического дисперсионного спектрометра Energy 350 of Oxford Instruments.

2. Краткая геологическая характеристика узла

Спокойнинский рудный узел расположен в верховьях правого притока р. Тимптона – р. Улахан-Тараканда (Бол. Тырканда) и включает Спокойный, Майский рудные поля и участки Рыбный, Бурундук и Старательный. В тектоническом плане объект расположен в зоне регионального Тыркандинского разлома, имеющего север-северо-западное простирание и мощность до 15 км. Район входит в состав Восточно-Алданского района Алданской гранулито-гнейсовой области.

Геологическое строение территории представлено архейским кристаллическим фундаментом, сложенным гнейсами и кристаллосланцами сутамской и кюриканской свит джелтулинской серии нижнего архея. Породы фундамента мигматизированы и вмещают согласные и секущие тела гранитов, ультрабазитов, габбро-диоритов и габбро-диабазов.

Текстурно-структурные типы руд

Рудоносность связана с минерализованными зонами дробления, катаклаза, смятия и рассланцевания. В ходе тектонической проработки повышалась пористость метаморфических и магматических пород, что явилось благоприятной средой для гидротермально-метасоматических преобразований. На основании петрографического изучения околорудных изменений магматических и метаморфических пород и руд Спокойнинского узла золотоносные метасоматиты можно отнести к низкотемпературным гидротермально-метасоматическим образованиям березитовой и аргиллизитовой формаций. Березиты развиваются по гнейсам и сиенитам и состоят из кварца, серицита, мусковита, гидрослюд, хлорита, железистых карбонатов и мелкозернистого пирита. Большее распространение на площади узла имеют аргиллизированные кварц-полевошпатовые метасоматиты, часто несущие жильно-прожилковую минерализацию друзовидного кварца. Уровень золотоносности находится в прямой зависимости от мощности и интенсивности околорудных метасоматитов и исходного содержания золота в измененных породах. Основная масса золота в золотоносных метасоматитах, тесно ассоциирует с кварцем, завершающим процесс минералообразования. Это золото, в отличие от невидимого раннего, является свободным и развивается преимущественно по трещинам в пирите. Золотоносность четко зависит от масштабов окварцевания.

По текстурным особенностям наиболее распространены брекчиевый (Рисунок 1 а, б), брекчиевидно-полосчатый (Рисунок 1 в), жильно-прожилковый (Рисунок 1 г-е) и вкрапленный (Рисунок 1 ж-з) типы руд. Брекчиевая и микробрекчиевая катаклазитовая текстура присуща кварц-полевошпатовым метасоматитам, брекчиевидно-полосчатая текстура наблюдается в метасоматитах образованным по гнейсам, жильно-прожилковый тип представлен в основном друзовидным кварцем, а вкрапленная текстура характерна березитам.

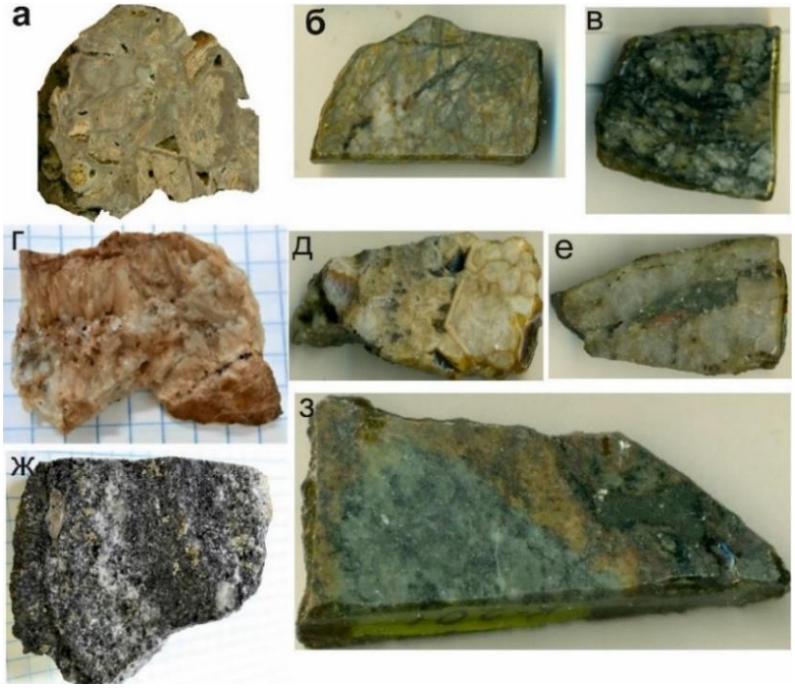


Рисунок 1. Текстурно-структурные типы руд Спокойнинского узла: а, б – брекчиевые, в – брекчиево-полосчатые, г-е – жильно-прожилковые: г- шестоватый кварц, д – друзовидный кварц, е – массивный кварц с прожилками сульфидов, ж-з – вкрапленные: ж - сульфидизированные гнейсы, з – березит.

Минералого-геохимическая типизация руд. Минералого-геохимические особенности руд играют важную роль в типизации золотого оруденения Спокойнинского рудного узла. Исследования показали, что в пределах узла минералого-геохимические особенности отличаются по участкам. В Спокойном поле в состав руд входят – главные: пирит, гематит, второстепенные: галенит, халькопирит, спорадические - самородное золото, сфалерит,

самородное серебро, гессит, мальдонит, сервеллит. Гипергенные минералы - гетит, гидрогетит, ковеллин и халькозин. Минералы рудовмещающих толщ - калиевый полевой шпат, адуляр, барит, рутил, монацит, апатит, торит, ильменит. Самородное золото комковатое, реже субидиоморфное, имеет массивную структуру. Проба золота - от 542 до 993 ‰, преобладает золото относительно низкой пробы (700-800 ‰). Встречается медистое золото (Cu – 30 %). Микроэлементы в золоте - Cu, Fe, Zn, As и Bi. При этом наиболее высокие значения (до 0,2 %) в золоте участка Спокойный показывают Cu, Fe и Bi. В то же время Zn хоть и встречается повсеместно, концентрация его не превышает сотых долей %. Оно тесно связано с гетитом, пиритом, галенитом, баритом. В Майском рудном поле в отличие от руд Спокойного поля в поздней стадии появляется золото-редкометальная (Sn-Te-Bi) минерализация, представленная теллуридами Au, Ag, Bi, теллуровисмутитом, волынскитом(?), самородным висмутом, самородным оловом, стистаитом. Самородное золото ассоциирует с пиритом, галенитом, баритом, теллуридами, самородным висмутом, матильдитом и волынскитом. Проба золота колеблется от 617 до 1000 ‰, преобладает золото средней пробы (801-900 ‰). В самородном золоте участка Майский из элементов-примесей наиболее высокие значения (до 0,2 %) в золоте показывает Bi. А содержание таких элементов, как Cu, Fe, Zn, As, несмотря на высокую частоту встречаемости (особенно Cu) не превышает сотых долей %. Минералы рудовмещающих толщ идентичны минералам Спокойного рудного поля.

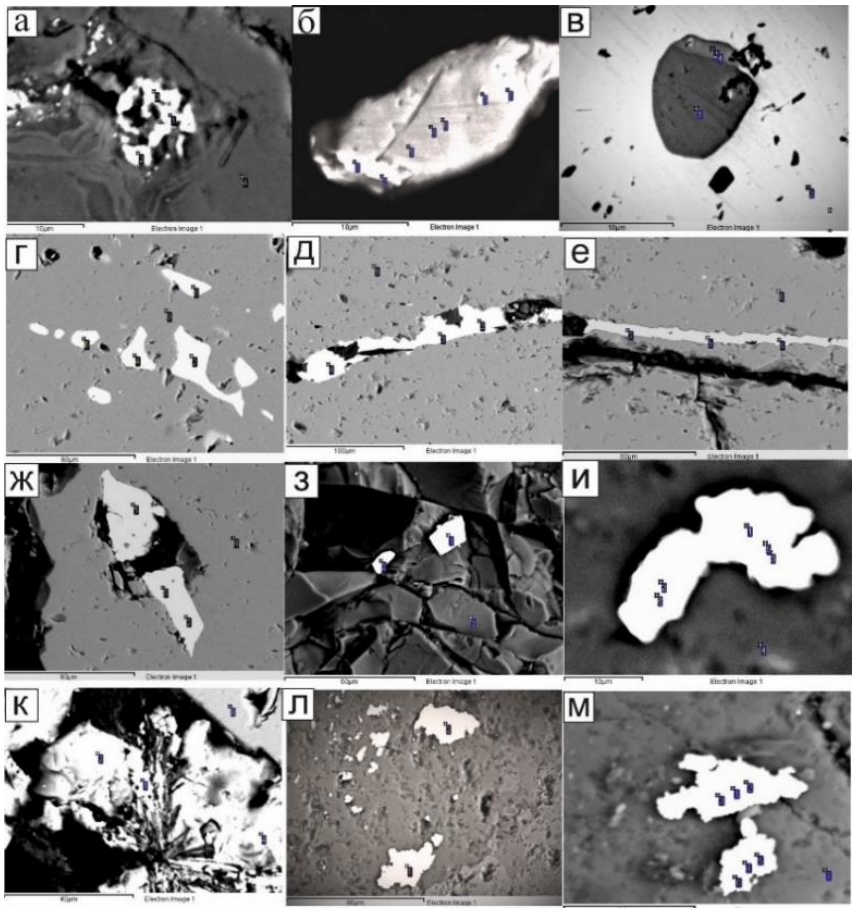


Рисунок 2. Типоморфные минералы руд Спокойнинского узла.

а-б – Спокойнинское поле:а – акантит в пирите, б – эллипсоидальное выделение интерметаллида Cu и Au (4-7) с включениями интерметаллида ЭПГ- Yr, Os и Y, в - зерно сервеллеита с каймой гессита в золоте, г-ж – Майское поле: г – ламелли петцита в пирите, д - развитие по трещинам пирита (5) тесной ассоциации волынскита (2), матильдита (3) и самородного висмута (4), е – прожилок золота в пирите, ж - ксеноморфные выделения гессита в пирите, з-и – участок Бурундук: з – включения галеновисмутита (1) и бурсаита (2) в кварце (3), и – ксеноморфное выделение золота в кварце, к-л -участок Рыбный, к – лучистые выделения барита (1) в халькопирите (2,4), л – вкрапления серебра в метасоматите, м – ксеноморфные выделения золота в метасоматите, уч. руч.Старательный.

Топоминералогическая схема наглядно показывает, что основным рудным минералом узла является пирит, он распространен везде. Следующими по распространенности являются халькопирит и галенит. Халькопирит более развит в рудах участков Спокойный, Бурундук и Рыбный. Остальные минералы встречаются в микроскопических размерах и не повсеместно. Единичные точки нахождения самородного серебра наблюдаются на участках Спокойный и Рыбный (Рисунок 2 л). Акантит встречается в центральных участках Спокойного и Майского полей (Рисунок 2 а). Теллуриды (гессит, петцит, теллуровисмутит), волынскит, матильдит, самородный висмут, висмутин и стистаит, обнаружены в рудах Майского рудного поля (Рисунок 2 г-ж). Спорадические включения гессита и матильдита наблюдались также в самородном золоте участка Спокойнинский (Рисунок 2 в). В прожилках халцедоновидного кварца, секущих катаклазированные, рассланцованные гнейсы Спокойного рудного поля найдены интерметаллиды Cu и Au, иногда с примесью Ag и Sn с включениями интерметаллидов ЭПГ – Y, Yr и Os (Рисунок 2 б). Микроскопические выделения самородного олова и шеелита найдены в рудах Спокойного и Майского рудных полей. Точки минерализации с самородным золотом зафиксированы в Спокойном, Рыбном, Бурундук, руч. Старательный и Майском рудных полях (рисунок 2, в, е, и, м). В целом, наиболее разнообразным минеральным составом характеризуются Спокойный и Майский рудные поля, на участках Рыбный, Бурундук, Малая Тырканда и руч. Старательный вещественный состав руд бедный.

3. Выводы

Золотоносные метасоматиты узла относятся к низкотемпературным гидротермально-метасоматическим образованиям березитовой и аргиллизитовой формаций. Наиболее распространены аргиллизированные кварц-полевошпатовые метасоматиты, часто несущие жильно-прожилковую минерализацию друзовидного кварца. Золотоносность четко зависит от масштабов окварцевания. Основные текстуры руд представлены брекчиевыми, брекчиевидно-полосчатыми, жильно-прожилковыми и вкрапленными типами.

Исследования показали, что в пределах узла минералого-геохимические особенности руд отличаются по участкам. Главное отличие заключается в различном минеральном составе наложенной золото-теллуридной минерализации. В частности, в пределах Спокойного рудного поля этот состав - серебро-теллуридный (Ag-Te), а в Майском рудном поле - золото-редкометальный (Au-Sn-Bi-Te) состав. Развитием последней минерализации объясняется более высокая пробность самородного золота и постоянная примесь Bi в золоте Майского рудного поля. Возможно, эта поздняя ассоциация в Спокойном рудном поле была срезана (оставшиеся фрагменты – самородное олово, интерметаллиды), т.к. Майское рудное поле в гипсометрическом плане находится на более высоком уровне. Все эти минералого-геохимические особенности руд Спокойнинского рудного узла аналогичны минералого-геохимическим особенностям руд месторождений и проявлений золота Бодороно и Дывок Алгоминского узла, Алтан-Чайдах Бадис-Чакатайского узла и Хатырхай Верхнеамгинского золотоносного района [2-5]. Это новый – Au-Ag-Bi-Te тип золотого оруденения, который развит в западных и южных районах Алдано-Станового щита.

4. Благодарности

Исследования выполнены по плану НИР ИГАБМ СО РАН, проект № 0381-2019-00045 и частично при поддержке РФФИ (проект №18-45-140018).

5. Литература:

[1] Anisimova G.S., Kondratieva L.A. and Kardashevskaya V.N. The minerial composition of the ores of the Spokoininsky cluster // In the collection: Geology and mineral resources of the North-East of Russia. Yakutsk, 2020, pp. 169-173.

[2] Anisimova G.S. and Sokolov E.P. The Bodorono deposit is a new gold ore object in South Yakutia. Ores and Metals, 2014, no. 5, pp. 49-57 (In Russian)

[3] Anisimova G.S. and Sokolov E.P. Altan-Chaidakh is a promising object in South Yakutia//Otech. Geol., 2015, no. 5, pp. 3-10 (In Russian)
[4] Anisimova G.S., Sokolov E.P. and Kardashevskaya V.N. Gold rare metal (Au-Mo-Te-Bi) mineralization of the Verkhnealgominsk gold-bearing region (South Yakutia). Otech. Geol., 2017, no. 5, pp. 12-22 (In Russian)
[5] Anisimova, G.S.; Kondratieva, L.A.; Sokolov, E.P.; Kardashevskaya, V.N. Gold mineralization of the Lebedinsky and Kuranakh types in the Verkhneamginsky district (South Yakutia). Otech. Geol., 2018, no. 5, pp. 3–13 (In Russian)

УДК 553.411

МОРФОЛОГИЯ И ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ РОССЫПНОГО ЗОЛОТА ЧАРО-СИНСКОЙ ПЛОЩАДИ

Леонид Баранов[1,2], Александр Толстов[1,2]
1 НИГП АК «АЛРОСА» (ПАО), Чернышевское шоссе, 16, г. Мирный, 678175, Россия
2 Институт геологии и минералогии имени В.С. Соболева СО РАН, пр. Академика Коптюга, 3, г. Новосибирск, 630090, Россия

MORPHOLOGY AND CHEMICAL COMPOSITION OF LOSS GOLD OF THE CHARO-SINSK AREA

Leonid Baranov[1,2], Alexandr Tolstov[1,2]
1 NIGP ALROSA PJSC, Chernyshevskoe highway, 16, Mirny, 678175, Russia
2 V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy, SB RAS, 3 Acad. Koptyuga Ave., Novosibirsk, 630090, Russia

Annotation. The results of the study of placer gold selected as a result of schlichomineralogical sampling of alluvial deposits of Biryuk, Namana, Chyna (left bank of the Lena River, Lena-Vilyui interfluve) during field work in 2019 and 2020 are presented. 596 gold marks and their morphological characteristics were taken from schlich samples. For 121 signs, the chemical composition of microprobe analysis and electron scanning microscopy methods was determined on the basis of NIGP PJSC ALROSA. It was found that in terms of dimension, the gold class prevails - 0.25 mm, in a smaller volume, gold marks of the class – 0,5 mm. There are single signs of classes +0,5 mm. Fineness of gold in a wide range from 600 to pure. Some signs have high-grade borders and zones. The main admixture in gold from the alluvial deposits of the three rivers is silver, it can reach 47 %. A single grain of palladium gold was found with a Pd content of 2-3 %. Quartz and almandine inclusions syngenetic to gold are found. The complex characterization of the gold under study indicates remote analytical information about the finds of placer gold. The Au-Ag formation will contribute the most. Possible contribution of sources of gold-quartz vein type and high facies of metamorphism, as well as the source of the Au-Pd formation.

1. Введение

На территории Сибирской платформы широко распространены россыпные проявления благородных металлов [1,2,3,4,5], коренные источники для большинства которых не установлены. На севере Сибирской платформы, наряду с хорошо известными генетическими типами, одними из новых типов источников как платиноидов, так и золота рассматриваются массивы ультраосновных щелочных пород и карбонатитов [5,6,7]. Настоящая работа посвящена россыпным проявлениям золота юго-восточной части Сибирской платформы. В ходе исследований проведены изучены морфологии и химический состав россыпного золота левобережья р. Лена и Лено-Вилюйского междуречья (рр. Бирюк, Намана и Чына), отобранного в ходе полевых работ в 2019-2020 гг., с целью определения генетического типа и масштаба проявления золотрудной минерализации, а также оценить удаленность источника [8].

В ходе шлихоминералогического опробования аллювиальных отложений левобережья р. Лена на юге Сибирской платформы (р. Бирюк, Намана, Чына) в шлихах было обнаружено 596 знаков золота (212, 299 и 85 соответственно). Морфология знаков золота изучена при помощи оптических методов. Химический состав исследован методами электронной сканирующей микроскопии и микрозондового анализа для 121 знака золота (Бирюк – 42, Намана – 11, Чына – 68). Все работы выполнены на базе НИГП АК «АЛСРОСА» (ПАО).

2. Особенности золота Лено-Вилюйского междуречья

Россыпное золото рек Бирюк и Намана представлено преимущественно классом -0,5 мм, встречаются единичные находки знаков золота крупнее. В аллювии рек Бирюк, Намана и Чына в существенной мере преобладают золотины класса -0,25 мм над классом +0,25-0,5 мм в отношении 7:3; 7,5:2,5 и 6:1,2 соответственно (Рисунок 1 1).

Золото преимущественно пластинчатое, встречаются единичные знаки комковидной формы. Пластинчатое золото включает в себя чешуйчатые, тонко- и толстопластинчатые знаки. Комковидное золото представлено изометричными и субизометричными знаками со следами механического износа. Окатанность золота изменяется от слабой до хорошей. Зависимость окатанности от класса крупности и морфологии не отмечена. Поверхность знаков от тонко- до грубошагреневой, часто наблюдаются отпечатки вдавливания минералов. Оптическими методами в золоте обнаружены ксеногенные включения кварца (Рисунок 3-6, 3-7).

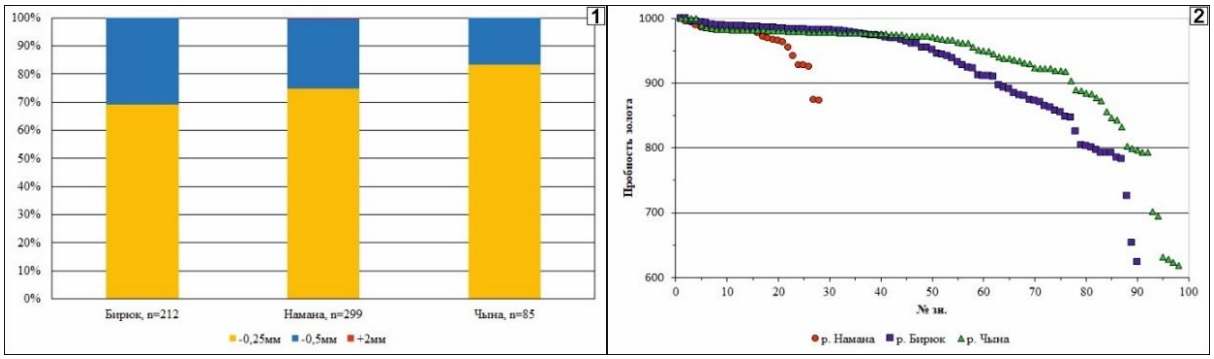


Рисунок 1. Характеристика размерности (1) и пробности (2) золота рр. Бирюк, Намана, Чына.

Химический состав исследован методами электронной сканирующей микроскопии и микрозондового анализа по 121 зерну золота (Бирюк – 42, Намана – 11, Чына – 68). При зональном строении измерен состав каждой зоны. По характеру распределения значений пробности золота из трех водотоков обнаруживаются широкие вариации (Рисунок 1-2). Главной примесью является серебро до 37 % (Бирюк), до 13 % (Намана), до 47 % (Чына). Примесь меди встречается в единичных знаках во всех водотоках и составляет не более 0,n %. По содержанию ртути выделяются два типа золота (для трех рек): содержащие ртуть (Hg 1-2,5 %) и не содержащие. Корреляция между содержанием Ag и Hg слабовыраженная отрицательная для рр. Бирюк и Намана, в золотинах с р. Чына она отсутствует.

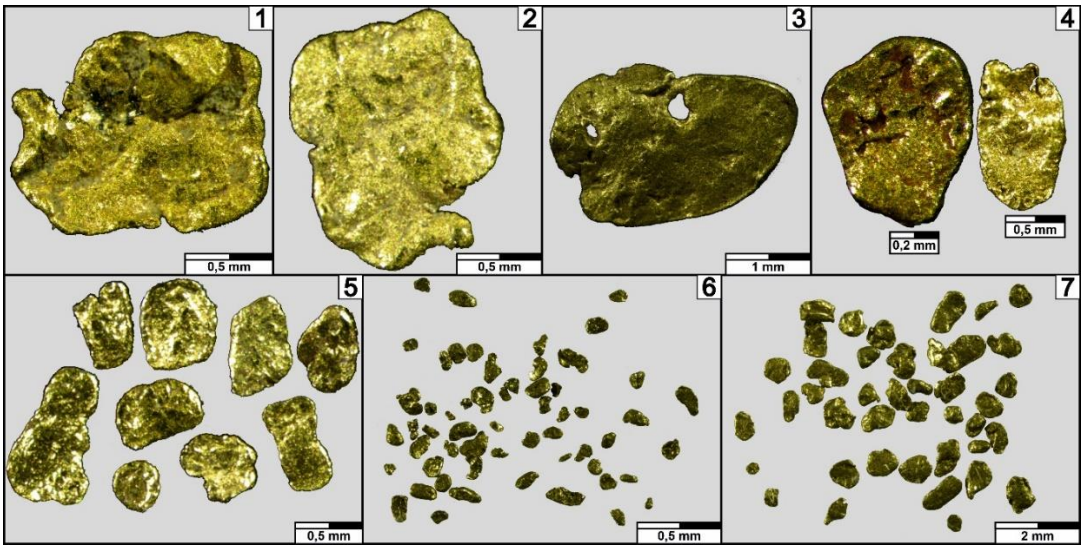


Рисунок 2. Морфология и размеры россыпного золота Лено-Вилюйского междуречья (р. Бирюк (1,2,3,4), р. Намана (5,6,7)).

В единичных знаках в золотинах обнаружена примесь Bi в количестве 1-1,5 %. В аллювии р. Чына встречено единственное зерно палладистого золота, с содержанием Pd 2-3 %. Золото из всех водотоков содержит примеси Ni, Zn, Fe, As в количестве от 0,0 n до 0,n %. Наиболее высокая пробность характерна для золота с максимальными признаками окатанности и корродированности, подверженного значительному химическому преобразованию, выраженному в выщелачивании серебра и прочих примесей. В измененных разновидностях обнаруживается кайма различной мощности, которая характеризуется наиболее высокой пробностью (низким содержанием примесей), в то время как центральная часть таких зерен может содержать существенные примеси Ag (рис. 3). В некоторых зернах золота обнаружены включения кварца неправильной (Рисунок 3-6) и гипидиоморфной (Рисунок 3-7) формы. Отмечено единичное зерно граната с включением неправильной формы (Рисунок 3-8), соответствующего номинальной формуле альмандина $Fe_3Al_2[SiO4]_3$ с незначительной примесью Mn (0,17 масс. %).

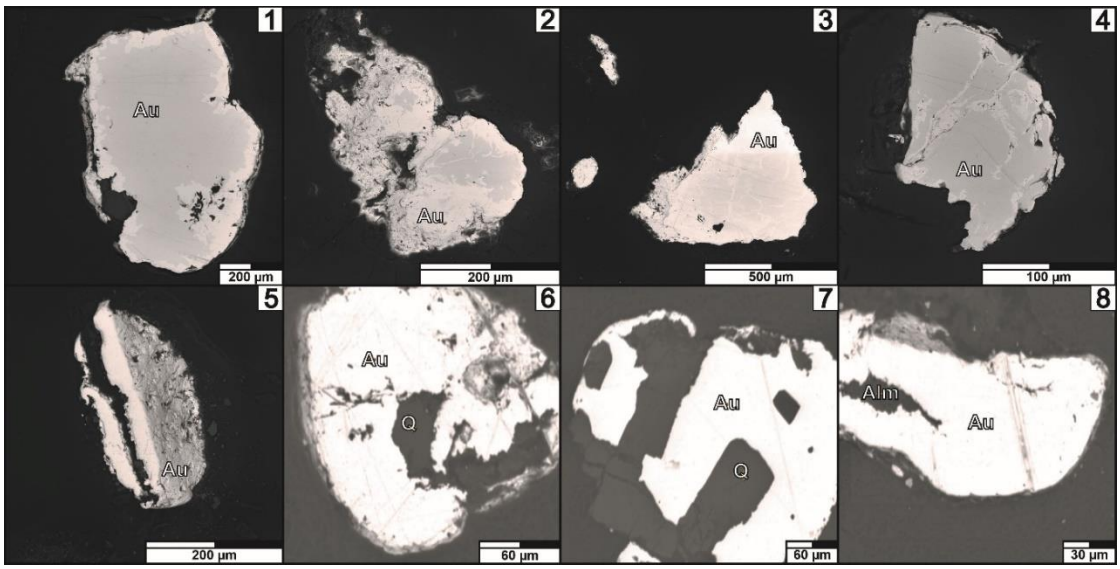


Рисунок 3. Россыпное золото Лено-Вилюйского междуречья (1-4, 6 – Бирюк, 5 – Чына, 7, 8 – Намана). Сканирующий микроскоп, съемка в режиме обратно рассеянных электронов (BSE).

3. Выводы

Морфология исследованного золота (преимущественно фракция -0,5 мм, пластинчатая форма и хорошая окатанность) указывает на дальность его переноса водотоками. Высокопробные зоны и каймы в золоте указывают на его длительное преобразование в гипергенных условиях. Различная мощность высокопробных кайм, вплоть до полного облагораживания может свидетельствовать о разной продолжительности пребывания золота в гипергенных условиях, что, в свою очередь, может указывать о длительном разрушении коренного источника или о разновременном разрушении нескольких источников. Химический состав золота из аллювия рр. Бирюк, Намана и Чына указывает на приуроченность подавляющей части золота к Au-Ag формации.

Минеральные сингенетичные (кварц, альмандин) включения в золоте могут также указывать на принадлежность золота к золото-кварцему жильному типу коренного источника, либо к породам высоких фаций метаморфизма.

Наличие палладистого золота указывает на вклад Au-Pd формации, связанной с базитовым-ультрабазитовым магматизмом. [9,10].

4. Литература:

[1] Nikiforova Z.S. Prospects for gold content in the east of the Siberian platform // Science and Education, 2016, №4. Pp. 25-34 (In Russian)

[2] Tolstov A.V. Mineralogy and geochemistry of gold in the North-West of Yakutia and prospects for gold ore of the Anabar shield // Vestnik VSU. Series: Geology, 1999, no. 8. pp. 194-197.
[3] Tolstov A.V. Mineralogy and geochemistry of gold in the North-West of Yakutia and prospects for gold ore of the Anabar shield // Vestnik VSU. Series: Geology, 1999, no. 8, pp. 194-197.
[4] Kazhenkina A.G., Nikiforova Z.S. Prediction of possible primary sources of gold-platinoid mineralization in the Lena-Vilyui interfluve (east of the Siberian platform) // Bulletin of St. Petersburg University. Earth Sciences. 2018, vol. 63, 4, pp. 520–532 (In Russian)
[5] Okrugin A.V., Zaitsev A.I., Borisenko A.S., Zemnukhov A.L., Ivanov P.O. Gold-platinum placers of the river basin Anabar and their possible connection with alkaline-ultrabasic magmatites of the north of the Siberian platform // Domestic geology, 2012, no. 5, pp. 11-20 (In Russian).
[6] Kogarko L.N., Uhanov A.V., Nickolskaya N.E. New data on the content of elements of the platinum group in the rocks of the ijolite-carbonatite formation (Guli and Kugda massifs, Maymecha-Kotuy province, Polar Siberia) // Geochemistry, 1994, no. 1, pp. 1568-1577.
[7] Baranov L.N., Tolstov A.V., Okrugin A.V., Sleptsov A.P. New data on mineralogy and geochemistry of apatite-magnetite ores of the Tomtor massif, Northeast of the Siberian platform // Ores and metals, 2018, no. 2, pp. 42-54.
[8] Nesterenko G.V. Gold mineralization forecast for placers. Novosibirsk: Nauka, 1991, 200 pp. (In Russian).
[9] Gerasimov B.B., Nikiforova Z.S. Expected Formation Types of Gold Primaty Sources of the Anabar Region (North-East Siberian Platform) // Science and Education, 2017, no. 2. pp. 11-16. (In Russian)
[10] Kazhenkina A.G., Nikiforova Z.S. Indicator signs of placer gold from primary sources of the Au-Ag formation // Zapiski RMO (Processings of the Russian mineralogical society) Pt CXLIV, 2015, no. 3, pp. 82-89 (In Russian).

УДК 553.319

СУЛЬФИДНАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ АПАТИТ-МАГНЕТИТОВЫХ РУД МАССИВА ТОМТОР

Леонид Баранов[1,2], Александр Толстов[1,2]
1 НИГП АК «АЛРОСА» (ПАО), Чернышевское шоссе 16, г. Мирный, 678175, Россия
2 Институт геологии и минералогии имени В.С. Соболева СО РАН, пр. Академика Коптюга, 3, Новосибирск, 630090, Россия

SULFIDE MINERALIZATION OF APATITE-MAGNETITE ORE TOMTOR MASSIVE

Leonid Baranov[1,2], Alexandr Tolstov[1,2]
1 NIGP ALROSA PJSC, 16 Chernyshevskoe Hwy., Mirny, 678175, Russia
2 V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy, SB RAS, 3 Acad. Koptyuga Ave., Novosibirsk, 630090, Russia

Annotation. The results of the research of accessory sulfide mineralization of apatite-magnetite ores (camaphorites, phoscorites, nelsonites) of the Tomtor massif (Onkuchakh deposit) by optical and electron scanning microscopy and microprobe analysis are presented. The mineral and paragenetic associations of sulfides and associated minerals, morphology and chemical composition of sulfides, indicating the features of their formation, have been established. Sulfides include pyrite, chalcopyrite, sphalerite, galena, roxbeite, millerite, chalcocite, and molybdenite. Sulfoarsenides are represented by the only mineral, arsenopyrite. Diverse sulfide mineralization, as well as rare occurrences of sulfoarsenides, confined to hydrothermal veinlets of various compositions and occurring in various associations with each other, indicates a complex temperature and chemical evolution of a hydrothermal solution or the participation of two or more solutions. The mineral composition of hydrothermal veinlets makes it possible to trace the evolution of hydrothermal solutions, which consists in the cyclic change of the prevailing components.

1. Введение

Массив Томтор – один из крупнейших массивов ультраосновных щелочных пород и карбонатитов [1,2,3]. Изучению комплексов пород массива уникальному оруденению, связанному с ним, посвящено множество работ [1,4-10 и др.]. В наименьшей степени изучены апатит-магнетитовые руды (камафориты, фоскориты). Остаются открытыми вопросы их генезиса и роли в становлении массива, а также их минерализации. В настоящей работе выполнено детальное исследование форм выделений и химического состава акцессорной сульфидной минерализации апатит-магнетитовых руд массива Томтор с целью определения условий формирования наложенной минерализации и выявления потенциального благороднометального оруденения, связанного с ними. Предыдущие исследования касались вещественного состава и минералого-геохимических особенностей камафоритов [10,11]. Настоящие углубленные исследования проводились методами оптической, электронной сканирующей микроскопии и микрозондового анализа (НИГП АК «АЛРОСА» ПАО, ИГМ СО РАН). Для изучения использовался керновый материал скважины №801 (177 погонных метров).

2. Результаты исследований

Исследуемые апатит-магнетитовые руды расположены в северо-восточной части массива Томтор в зоне распространения нефелин-пироксеновых пород на границе с щелочными и нефелиновыми сиенитами. Камафориты слагают преимущественно небольшие крутопадающие штоки, штокообразные тела, маломощные дайки, жилы, или брекчированные зоны, обломки которых имеют различный петрографический состав [10, 11]. Данные породы образуют

месторождение апатит-магнетитовых руд «Онкучах» с ресурсами железа около 1 млрд. т. и ресурсами P_2O_5 по категории P_2+P_3 около 500 млн. т. [3, 10].
В камафоритах широко распространены сульфиды (Рисунок 1, 2). В некоторых участках ввиду высокого содержания сульфиды являются петрогеннымы. Среди сульфидов обнаружены пирит, халькопирит, сфалерит, галенит, роксбеит, миллерит, халькозин, молибденит (Рисунок 1-2). Сульфоарсениды представлены арсенопиритом и кобальтином (Рисунок 2-5).

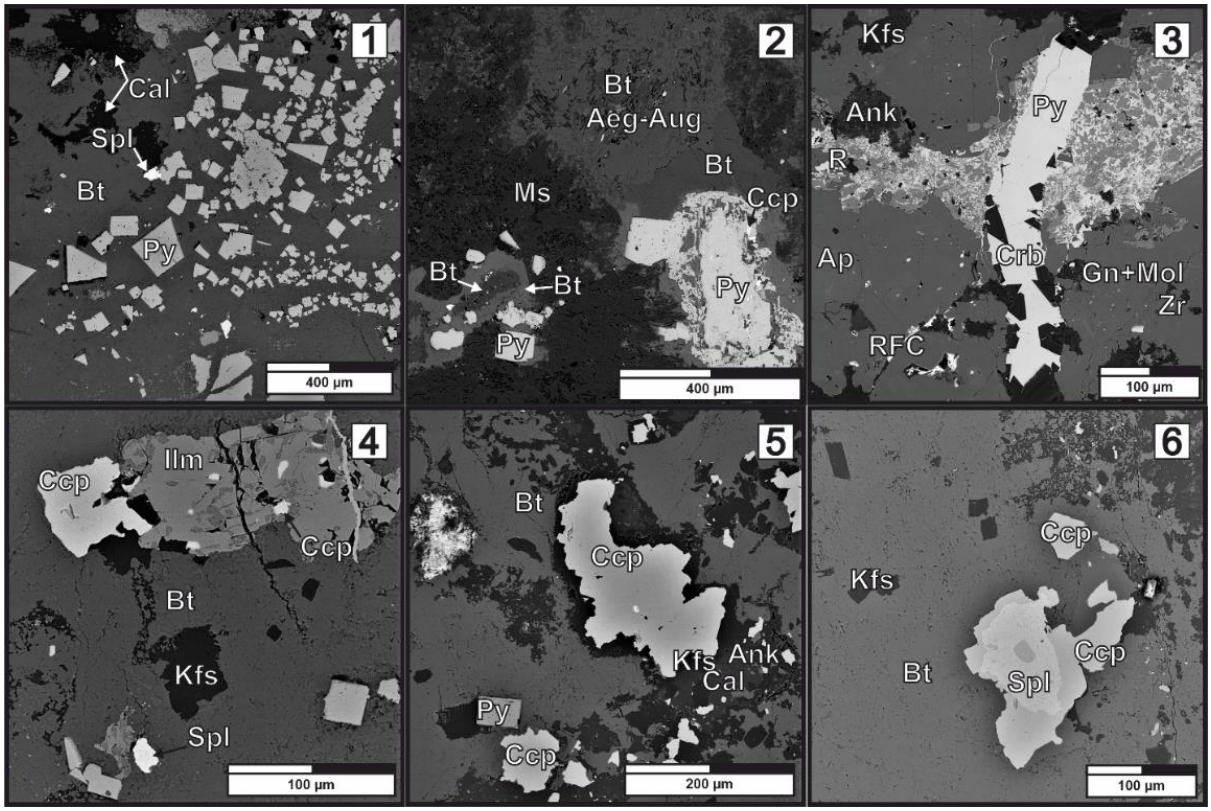


Рисунок 1. Сульфиды в камафоритах массива Томтор (скв. 801). Сканирующий электронный микроскоп, съемка в режиме обратно рассеянных электронов (BSE). Aeg-Aug -эгирин-авгит; Ank – анкерит; Ap – апатит; Bt – биотит; Cal – кальцит; Ccp – халькопирит; Crb – карбонат; Gn – галенит; Ilm – ильменит; Kfs – калиевый полевой шпат; Mo – молибденит; Ms – мусковит; Py – пирит; R – рутил; RFC – карбонат; Spl – сфалерит; Zr – циркон.

Основной объем сульфидов занимают пирит и халькопирит. Пирит образует идиоморфные кристаллы кубического и кубоктаэдрического габитусов и их сростки в апатите и биотите (Рисунок 1-1); в виде ксеноморфных образований, приуроченных к идиоморфным разновидностям (Рисунок 1-2), а также выполняет прожилки (Рисунок 1-3). Идиоморфный пирит зачастую ассоциирует с халькопиритом и галенитом. В данной разновидности обнаружены включения сфалерита ламелиевидной формы (Рисунок 2-1). Халькопирит образует преимущественно выделения неправильной формы и приурочен к сульфидным и карбонатным прожилкам. Наиболее часто встречается в ассоциации с пиритом. Обнаруживается в виде капель и ламелей в сфалерите (Рисунок 2-1, 2-3, 2-4), а также образует с ним зональные агрегаты (Рисунок 1-6). Обнаружен единичный случай идиоморфного кристалла халькопирита без минеральных примесей в сидерите (Рисунок 2-8). Другие сульфиды встречены в подчиненном количестве. Сфалерит представлен выделениями неправильной формы, приуроченных к карбонатным прожилкам в магнетите, апатите и биотите. Содержит структуры распада халькозина (Рисунок 2-2), капли и ламели халькопирита (Рисунок 2-3, 2-4). Галенит образует вкрапленность неправильной формы в пирите размерами до 20-30 микрон, редко достигая 100 и более микрон (Рисунок 2-2). Роксбеит обнаружен в пиритовом прожилке в виде удлиненного зерна (0,4 х0,1 мм. Миллерит встречен в виде кристалла размером 2мк с неясными очертаниями

(Рисунок 2-7). Халькозин образует закономерную структуру распада в зерне сфалерита неправильной формы в карбонатном прожилке. Молибденит встречается редко в виде изометричных вкрапленников в ассоциации с галенитом вблизи сульфидных прожилков (Рисунок 1-3). Арсенопирит представлен выделениями неправильной формы отрывисто повторяющих форму гипидиоморфного кристалла пирита в калишпат-карбонатном прожилке (Рисунок 2-5). Усредненные составы сульфидов представлены в Таблице 1.

Таблица 1

Усредненные составы наиболее распространенных сульфидов, масс. %.

Минерал	Fe	Pb	Ni	Co	Cu	Zn	Mo	Cd	S	As	Sb	Te	Сумма
Пирит	44,35	0	0,17	0,37	0	0	0	0	52,76	0	0	0	97,66
Халькопирит	31,03	0,01	0,02	0,03	32,27	0,01	0	0	34,99	0	0	0	98,36
Арсенопирит	15,78	0	7,20	6,57	0	0	0	0	23,89	45,22	0,27	0,46	99,40
Сфалерит	6,13	0,52	0,04	0,12	1,65	58,11	0,26	0,01	31,75	0	0	0	98,59
Роксбеит	0,48	0	0	0	80,84	0	0	0	22,05	0	0	0	103,37
Галенит	7,17	75,77	0,01	0,07	0	0,04	0	0	17,90	0,17	0	0	101,11
Миллерит	7,67	0	50,82	2,54	0	0	0	0	37,38	0	0	0	98,40

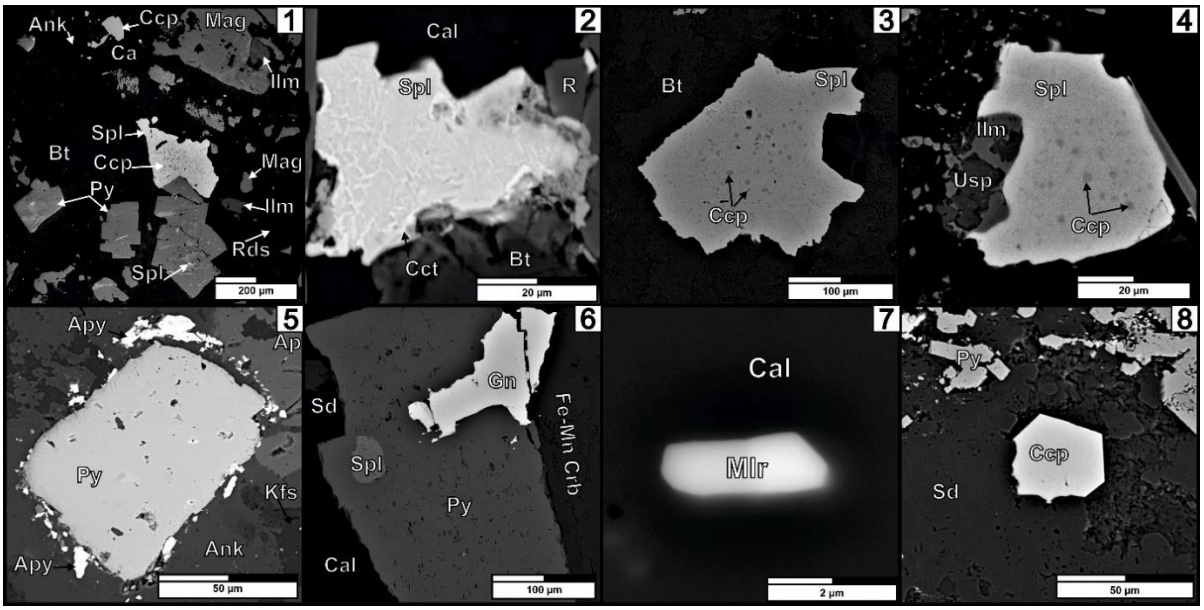


Рисунок 2. Сульфиды в камафоритах массива Томтор (скв. 801). Сканирующий электронный микроскоп, съемка в режиме обратно рассеянных электронов (BSE). Ank – анкерит; Ap – апатит; Apy – арсенопирит; Bt – биотит; Cal – кальцит; Ccp – халькопирит; Cct – халькозин; Crb – карбонат; Gn – галенит; Ilm – ильменит; Kfs – калиевый полевой шпат; Mag – магнетит; Mlr – миллерит; Py – пирит; R – рутил; Rds – родохрозит; Sd – сидерит; Spl – сфалерит; Usp – ульвешпинель.

3. Выводы

Разнообразие сульфидной минерализация в камафоритах (пирит, халькопирит, сфалерит, галенит, роксбеит, миллерит, халькозин, молибденит), редкие проявления сульфоарсенидов (арсенопирит), приуроченной к гидротермальным прожилкам и встречающейся в различных ассоциациях свидетельствует об участии в их формировании нескольких типов растворов и их сложной эволюции. При кристаллизации одного из них происходила смена условий от преобладания карбонатной составляющей до сульфидной с цикличным преобладанием катионного состава в сульфидных растворах. Об этом свидетельствуют минеральные взаимоотношения сульфидов и карбонатов в прожилках, а также эмульсиевидные включения в них. Охарактеризованные минеральные ассоциации сульфидов позволяют выделить

высокотемпературный (>250 °С) и среднетемпературный (150-250 °С) гидротермальные этапы, что согласуется с полученными ранее результатами термобарогеохимических исследований газово-жидких включений в апатите и кальците камафоритов [12]. Обнаруженные ранее находки благородных металлов [13], приуроченные к сульфидам, позволяют рассматривать сульфиды камафоритов как концентратор МПГ и золота, что требует дополнительных исследований.

4. Литература:

[1] Entin A.R., Zaitsev A.I., Nenashev N.I., Vasilenko V.B., Orlov A.N., Tyan O.A., Olkhovik Yu.A., Olshtynsky S.P., Tolstov A.V. On the sequence of geological events associated with the intrusion of the Tomtor massif of ultrabasic alkaline rocks and carbonatites (North-Western Yakutia) // Geology and Geophysics, 1990 (12), pp. 42-50. (In Russian).

[2] Frolov A.A., Tolstov A.V., Belov S.V. Carbonatite deposits in Russia. M., NIA-Priroda, 2003, 403 pp. (In Russian).

[3] Tolstov A.V. Main ore formations in the north of the Siberian platform. M., IMGRE, 2006, 212 pp. (In Russian)

[4] Lapin A.V., Tolstov A.V. Deposits of carbonatite weathering crust. M., Nauka, 1995, 239 pp. (In Russian).

[5] Vladykin N.V., Kotov A.B., Borisenko A.S., Yarmolyuk V.V., Pokhilenko N.P., Salnikova E.B., Travin A.V., Yakovleva S.Z. Age boundaries of the formation of the alkaline ultramafic massif Tomtor: results of geochronological U-Pb- and 40Ar-39Ar-studies // DAN, 2014, v. 454, no. 2, pp. 195-199. (In Russian).

[6] Lazareva E.V., Zhmodik S.M., Dobretsov N.L., Tolstov A.V., Shcherbov B.L., Karmanov N.S., Gerasimov E.Yu., Bryanskaya A.V. Main minerals of abnormally high-grade ores of the Tomtor deposit (Arctic Siberia), Russian Geology and Geophysics, vol. 56, Issue 6, 2015, pp. 844-873.

[7] Skublov, S. G., Tolstov, A. V., Baranov, L. N., Melnik, A. E., & Levashova, E. V. (2019). First data on the geochemistry and U-Pb age of zircons from the kamaphorites of the Tomtor alkaline-ultrabasic massif, Arctic Yakutia // Chemie der Erde - Geochemistry. 2019. б/н.

[8] Okrugin A.V., Tolstov A.V. Petrogeochemical characteristics of the syenite-alkaline-ultrabasic silicate complex of rocks of the Tomtor massif (north-east of the Siberian platform) // Otechestvennaya Geologiya, 2017, no. 5, pp. 56-66.

[9] Tolstov A.V. Ore minerals of the Anabar mineragenic province. In sb: Geodynamics, magmatism and mineralogy of the continental margins of the Northern Pacific. M-ls of the Russian Meeting (XII Annual Meeting SVO WMO), RAS, FEB, SVKNI, UPR MPR of Russia for the Magadan region, SVO WMO. 2003, pp. 207-210 (in Russian)

[10] Tolstov A.V. Sulfides of the Anabar mineragenic province. In book: Modern problems of formation analysis, petrology and ore content of magmatic formations. Abstracts of the All-Russian conference dedicated to the 100th anniversary of the birth of Academician Yu.A. Kuznetsov, editor Polyakov G.V. 2003, pp. 333-334.

[11] Tolstov A.V. Features of mineralogy and geochemistry of apatite-magnetite ores of the Tomtor massif (NW Yakutia). // Geology and Geophysics, 1994, no. 9, pp. 91-100.

[12] Baranov L.N., Tolstov A.V., Okrugin A.V., Sleptsov A.P. New data on mineralogy and geochemistry of apatite-magnetite ores of the Tomtor massif, Northeast of the Siberian platform // Ores and metals. 2018, no.2. pp. 42-54. (In Russian)

[13] Baranov, L., Tolstov, A., and Prokopyev, I.: Hydrothermal fluids of apatite-magnetite ores of the Tomtor carbonatite massif (NE, Russia), EGU General Assembly 2020, Online, 4–8 May 2020, EGU2020-7414, https://doi.org/10.5194/egusphere-egu2020-7414, 2020

[14] Baranov L.N., Tolstov A.V., Okrugin A.V. Noble metals in alkaline rocks and carbonatites // Geology and mineral resources of the North-East of Russia: materials of the X All-Russian scientific-practical conference with international participation, April 08-10, 2020 Yakutsk: NEFU Publishing House, 2020, pp. 188- 192 (In Russian).

УДК 553.94 (571.56)

ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ОСВОЕНИЯ УГОЛЬНОГО РЕСУРСНОГО ПОТЕНЦИАЛА СЕВЕРО-ВОСТОКА АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ ЯКУТИИ

Наталья Батугина
Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского СО РАН, пр. Ленина, 43, г. Якутск, 677980, Россия

PROBLEMS AND PROSPECTS OF THE DEVELOPMENT OF COAL RESOURCES POTENTIAL OF THE NORTH-EAST OF THE ARCTIC ZONE OF YAKUTIA

Natalia Batugina
Chersky Institute of Mining of the North SB RAS, 43 Lenin Ave., Yakutsk, 677980, Russia

Annotation. The article presents the mineral resource base of coal in the Arctic regions of the Republic of Sakha (Yakutia). The paper gives an assessment of the resource coal potential of the North-East of the Arctic zone of the Republic of Sakha (Yakutia). The paper analyzes the quantitative and qualitative characteristics of the main deposits in the study area. Development of local coal deposits most suitable for open pit mining should be as close to consumers as possible and have the best quality indicators. The necessity of reassessment of the coal resource potential of the North-East of the Arctic zone of Yakutia based on the use of modern efficiency criteria has been substantiated.

1. Введение

Угольный сырьевой потенциал Арктической зоны РС (Я) характеризуется крайне низкой геологической изученностью. При оценке перспектив развития угледобывающего производства в исследуемом регионе возможно два основных пути использования углей: 1) использование местного угля взамен привозного в качестве источника обогрева населения; 2) энергообеспечение объектов промышленности при разработке рудных и нерудных месторождений полезных ископаемых.

Цель исследования – проанализировать угольный потенциал Северо-Востока Арктической Зоны Якутии и оценить возможность его использования в современных экономических условиях.

Более 66 % угольного сырьевого потенциала в АЗ РС (Я) относиться к кондиционной категории ресурсов, из них 7 % бурые угли, 91 % каменные [1]. Анализ показал, что в заполярных районах Якутии геологоразведочные работы на уголь проводились, в основном, в 40-60-е годы прошлого века. При этом было выявлено много углепроявлений [2], на Государственный баланс запасов полезных ископаемых России поставлено 20 месторождений угля (14 – каменного, 6 – бурого), Их балансовые запасы на начало 2012 г. по категориям $A+B+C_1$ составляли 432,9 млн. т, по категории C_2 - 199,3 млн. т. На долю каменного угля, соответственно, приходилось: 398 млн. т и 194 млн. т, бурого – 35,2 млн. т и 5,6 млн. т. Угли представлены различными технологическими марками от Б2 до антрацитов и имеют широкий диапазон качественных характеристик. 17 месторождений числятся в нераспределенном фонде недр, 3 месторождения в распределенном (Надеждинское каменного угля, недропользователь «Зырянский угольный разрез»; Таймылырское каменного угля и богхедов, победитель аукциона ООО «Арктик углесинтез», 2014 г.; Куларское бурого угля, победитель аукциона ООО «Прогноз-Серебро», 2020 г.).

В регионе работает только одно угледобывающее предприятие - разрез «Зырянский» (150-200 тыс. т в год). Такой малый объем добычи угля объясняется низкой востребованностью каменных углей (только для нужд жилищно-коммунального хозяйства)

При существующих схемах завоза грузов в заполярье Якутии Абыйский, Аллаиховский и Момский районы, расположенные в бассейне судоходной реки Индигирка, Усть-Янский и Верхоянский, находящиеся в бассейне судоходной реки Яна, являются одними из самых труднодоступных. Анализ географо-экономических и геологических материалов свидетельствует о том, что в непосредственной близости от первой группы районов

расположены Тихонское, в большей степени пригодное к отработке подземным способом, и Краснореченское месторождения каменного угля. Участок Соголох Краснореченского имеет наиболее высокую степень готовности для освоения по географическим и горно-геологическим условиям и находится в непосредственной близости от основного транспортного коридора – р. Индигирка. Бурые угли Куларского и Уяндинского месторождений, географически тяготеющих к второй группе районов, имеют относительно низкое качество. При этом суммарно недостаточно запасов угля, доступных к открытой добычи.

2. Основной раздел

Проведенное на следующем этапе изучение качественных характеристик угля основных месторождений показало, что марки Д, Г, Ж К, пригодны для сжигания с достаточно высоким уровнем эффективности без предварительной подготовки топлива и модернизации котельного оборудования [2]. Требованиям, предъявляемым потребителями к качеству углей, более удовлетворяют угли Краснореченского и Тихонского месторождений (Таблица 1).

Таблица 1

Качество углей ряда месторождений Якутии.

Месторождение, вид и марка угля	Массовая доля рабочей влаги W_t^r, % средняя / предельная	Зольность A^d % средняя/предельная	Выход летучих веществ V^{daf},%	Теплота сгорания, высшая Q_s^{daf}, /низшая Q_i^r, ккал/кг	Массовая доля серы, S_t^d, %
Джебарики-Хая, каменный, Д	10,0/12,0	17,0/25,0	41,3	7500/5200	0,3
Краснореченское, участок «Соголох», каменный, ДГ	-/16,0	18,0/23,0	42,0	7000/5286	0,8
Тихонское, каменный Д	10/-	13,6/-	–	7069/5200	0,6
Надеждинское, каменный, Ж	8,0/10,0	19,0/21,0	35,0	8300/6100	0,4
Куларское, бурый, 2Б	40,1/-	33,94/55,7	59,76	6359/3360	0,1
Уяндинское, бурый, 2Б	50/55,1	23,8/27,0	57,9-63,6	6050/1930	0,3

Освоение Уяндинского и Куларского месторождений бурого угля, имеющих высокую рабочую влажность, зольность и связанную с этим низкую теплоту сгорания, требует более детального технико-экономического обоснования, в том числе из-за целесообразности введения дополнительных операций по подготовке угля к эффективному сжиганию, среднесрочному и длительному хранению. Последнее объясняется тем, что угли марки Б быстро окисляются на открытом воздухе, что приводит к снижению их теплотехнических свойств, изменению гранулометрического состава в сторону увеличения выхода мелких классов крупности при добыче и хранении [2]. Это, в свою очередь, требует разработки и реализации специальных технологических и организационных мероприятий, ориентированных на сохранение и улучшение природных свойств угля, снижение негативного влияния горных работ на окружающую среду.

Один из основных принципов рационального использования местного угля в арктических районах РС (Я) заключается в том, что при освоении локальных месторождений требуется использовать наиболее привлекательные участки для добычи открытым способом, залегающие на небольших глубинах, находящиеся вблизи потенциальных потребителей, имеющие запасы с наилучшими показателями по качеству и по экологическим требованиям [3].

Одной из главных задач при освоении новых месторождений и создании на их основе локальных энергетических комплексов является рациональный выбор участков для первоочередного освоения. После предварительного экспертного отбора требуется дополнительное изучение

минерально-сырьевой базы. Это связано с тем, что расчет кондиций, оценка экономической эффективности отработки запасов выполнялась давно по устаревшим к настоящему времени критериям. Техника и технологии добычи, подготовки и потребления угля за последние годы существенно поменялись. Изменились требования к качеству сырья под эти технологии.

Всесторонний анализ условий освоения угольных месторождениях арктических районов Якутии показал, что несмотря на высокий потенциал угленосности и большие балансовые запасы месторождений или их участков, подготовленных к эффективной разработке малыми разрезами в соответствии с современными требованиями к качеству добываемого и потребляемого твёрдого топлива и уровню рациональности возможных логистических схем, недостаточно.

Изучение показателей качества углей балансовых месторождений региона позволяет говорить о том, что их эффективная утилизация современным технологиями при минимальном уровне засорения породой и высокозольным углем и без дополнительной подготовки и обогащения возможна для месторождений зырянского узла на Колыме, Краснореченского и Тихонского на Индигирке.

Освоение Уяндинского и Куларского и других месторождений бурых углей с высокой влажностью и низкой теплотой сгорания требует после их добычи дополнительной подготовки к сжиганию для повышения качества путём сушки, брикетирования, обогащения или газификации, что увеличивает цену потребления.

Разработка локальных месторождений угля, являясь одним из направлений повышения энергетической безопасности арктических районов Якутии и поддержки их социально-экономического развития, должна начинаться с участков, наиболее пригодных для добычи открытым способом, находящиеся максимально близко к потребителям и имеющих наилучшие показатели по качеству.

Использование обозначенных мер геотехнологического и экономического управления, административного регулирования и совершенствования механизмов «северного завоза» позволит облегчить создание и функционирование новых предприятий по добыче угля в арктической зоне РС (Я). Это, в свою очередь, может и должно привести к снижению сроков от добычи до потребления угля, уменьшению количественных и качественных потерь топлива, упрощению схем транспортировки и хранения угля, улучшению работы локальных топливно-энергетических комплексов. Изложенное выше подчеркивает необходимость переоценки угольного ресурсного потенциала АЗ РС (Я) на основе современных экономических критериев.

3. Выводы

Большая часть угольного ресурсного потенциала АЗ РС (Я) (90 %) относиться к некондиционной категории. Роль угольного потенциала в АЗ РС (Я) пока невелика в связи со сложной конъюнктурой рынка, неразвитой транспортной и энергетической инфраструктурой и может возрасти в процессе вовлечения в промышленное освоение месторождений крупных редкоземельных металлов, золота, олова.

Всесторонний анализ условий освоения угольных месторождениях арктических районов Якутии показал, что несмотря на высокий потенциал угленосности и большие балансовые запасы месторождений или их участков, подготовленных к эффективной разработке малыми разрезами в соответствии с современными требованиями к качеству добываемого и потребляемого твёрдого топлива и уровню рациональности возможных логистических схем, недостаточно.

4. Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Республики Саха (Якутия) в рамках научного проекта № 18-45-140048 р_а «Разработка новых подходов к комплексному управлению качеством угля при разведке, добыче и поставках потребителям в труднодоступные районы Якутии».

5. Литература:

[1] Logvinov M. I. Strategic priorities of assimilation of coal resource potential of the Russian Arctic

zone // Miner. resursy Rossii. Ekonomika i upravlenie, 2019, no. 3, pp. 29-33. (In Russian).
[2] State reserve of minerals of the Russian Federation. January 1, 2019, Coal. Volume VIII. Far Eastern Federal District]. Moscow, 2019. (In Russian).
[3] Batugina N. S., Gavrilov V. L., Barakaeva I. D., Tarskij N. D. The improvement of energy security in the transpolar regions of the Republic of Sakha (Yakutia) based on the development of local fuel and energy resources // Miner. resursy Rossii. Ekonomika i upravlenie, 2014, no. 6, pp. 79—85. (In Russian).

УДК 553.2 (571.56)

ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ДОКЕМБРИЙСКИХ ГОРНЫХ ПОРОДАХ АЛДАНСКОЙ ГРАНУЛИТО-ГНЕЙСОВОЙ ОБЛАСТИ

Николай Бондарь[1], Александр Кравченко[2], Николай Попов[3],
Александр Округин[2], Василий Березкин[2]
1 Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, ул. Белинского, 58, г. Якутск, 677000, Россия
2 Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, пр. Ленина, 39, г. Якутск, 677000, Россия
3 Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, пр. Академика Коптюга, 3, г. Новосибирск, 630090, Россия

REGULARITIES OF DISTRIBUTION OF CHEMICAL ELEMENTS IN PRECAMBRIAN ROCKS OF THE ALDAN GRANULITE-GNEISS AREA

Nikolay Bondar[1], Alexander Kravchenko[2], Nikolay Popov[3],
Alexander Okrugin[2], Vasily Beryozkin[2]
1 M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, 58 Belinsky St., Yakutsk, 677000, Russia
2 Diamond and Precious Metal Geology Institute SB RAS, 39 Lenin Ave., Yakutsk, 677000, Russia
3 Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 3 Akademika Koptyuga Ave., Novosibirsk, 630090, Russia

Annotation. The development of new approaches to the study of the regularities of the chemical composition of rocks helps to decipher the physical and chemical processes occurring in the lithosphere and to develop the models of genesis and refine the technology of prospecting and extraction of minerals. Factor analysis was used to process data on the chemical composition and content of impurity elements in rocks. With the use of experimental studies and guides of various authors, the interpretation of internal and external factors of the formation of rocks and the mineralization associated with them is carried out. It was found that the formation of rocks is influenced by such external factors as the redox potential and acidity of the environment, and an internal factor such as the energy of half-reactions of the reduction of chemical elements. The analysis results revealed two geochemical associations: 1) Fe-Co-As-Ti-V-P-Ag-Au; 2) CaO-MgO-CO_2-H_2O-Pd-Pt-Au-Ag. The first association of elements was found in the rocks of the Tyrkanda tectonic zone and can be related with metabasites in complex dikes. The second association of elements was found in the rocks of the Nimnyr terrane and can be related with metamorphosed fragments of layered intrusions, or with metasomatism of crystalline schists by components of carbonate rocks.

1. Актуальность

Породы района, метаморфизованные в основном в условиях гранулитовой фации, прошедшие сложную деформационную историю, испытавшие местами разные диафторические изменения, относятся к образованиям, полностью утратившим достоверные петрографические и многие геологические признаки магматических и осадочных пород. Сохраняются лишь косвенные признаки первичной природы этих образований. Например, в общем полосчатое, ритмически-полосчатое строение толщ и пачек пород обычно рассматривается как признак осадочной или вулканогенно-осадочной природы, а изолированные изометрические выходы монотонных пород как признак первично интрузивного происхождения. В связи с этим при решении вопросов генезиса метаморфических пород на первый план выдвигаются их петрогеохимические особенности.

2. Введение

В строении земной коры Алданской гранулито-гнейсовой области выделяют террейны и тектонические зоны [1]. Были изучены ортопороды Нимнырского террейна и Тыркандинской зоны, преимущественно гранитоиды и основные кристаллические сланцы толеитовой серии. Выполнены петрографические исследования пород, анализ минерального и химического состава, в т. ч. содержаний элементов примесей. Данные по содержаниям химических элементов в горных породах проанализированы при помощи методов математической статистики. Исследование позволило выявить связи между элементами и закономерности их распределения в горных породах. Необходимо отметить, что интерпретация петрогеохимических данных по сложнодислоцированным докембрийским горным породам представляет собой нелёгкую задачу, имеющую вероятностное решение и, нередко, к сожалению, зависит от представлений исследователя.

3. Методика исследований

Использованы принципы системного анализа основными задачами которого являются декомпозиция системы, определение её свойств и параметров, структурирование системы. Декомпозиция, т. е. данные по содержаниям в горных породах химических элементов получены методами мокрой химии, рентгено-флуоресцентным спектральным анализом, атомно-эмиссионным спектральным анализом выполненными в ИГАБМ СО РАН и ИГХ СО РАН. Определение свойств и параметров выполнено с использованием факторного анализа без вращения осей. Были построены диаграммы рассеяния, отображающие факторные нагрузки. Структурирование выполнено с помощью принципов корреляционно-регрессионного анализа с использованием знаний о свойствах химических элементов. На диаграммы вынесены поля отражающие связи между элементами системы. В целом интерпретация диаграмм с определением внутренних и внешних факторов формирования горных пород и минерализации, осуществлялась при помощи экспериментальных исследований и справочных пособий, выполненных различными авторами [2-4].

4. Результаты исследований

Построены диаграммы, показывающие факторные нагрузки распределения химических элементов. На диаграммах для элементов с близкой энергией полуреакций восстановления вынесены поля, отражающие распределение элементов. В пределах вынесенных полей обнаружено две геохимических ассоциации: 1) Fe-Co-As-Ti-V-P-Ag-Au; 2) CaO-MgO-CO_2-H_2O-Pd-Pt-Au-Ag (Рисунок 1). Первая геохимическая ассоциация характерна для Тыркандинской зоны и связывается нами с комплексом метабазитов из комбинированных даек. В подобных дайках ранее были обнаружены метаморфогенные сульфидно-арсенидные (пирротин + халькопирит ± арсенопирит → лёллингит (золотоносный) + никелин + кобальтин) руды [5]. Вторая геохимическая ассоциация характерна для Нимнырского террейна и связывается нами с фрагментами расслоенных интрузий в которых ранее была обнаружена сульфидная минерализация (борнит и халькозин (структуры распада), интерметаллиды Au-Ag-Cu-Bi, Te-Ni-Co, бравоит, миллерит и зигенит) [6]. Возможно, с некоторой степенью сходства с [7], существует связь этой минерализации с биметасоматозом кристаллических сланцев на контакте с карбонатными породами.

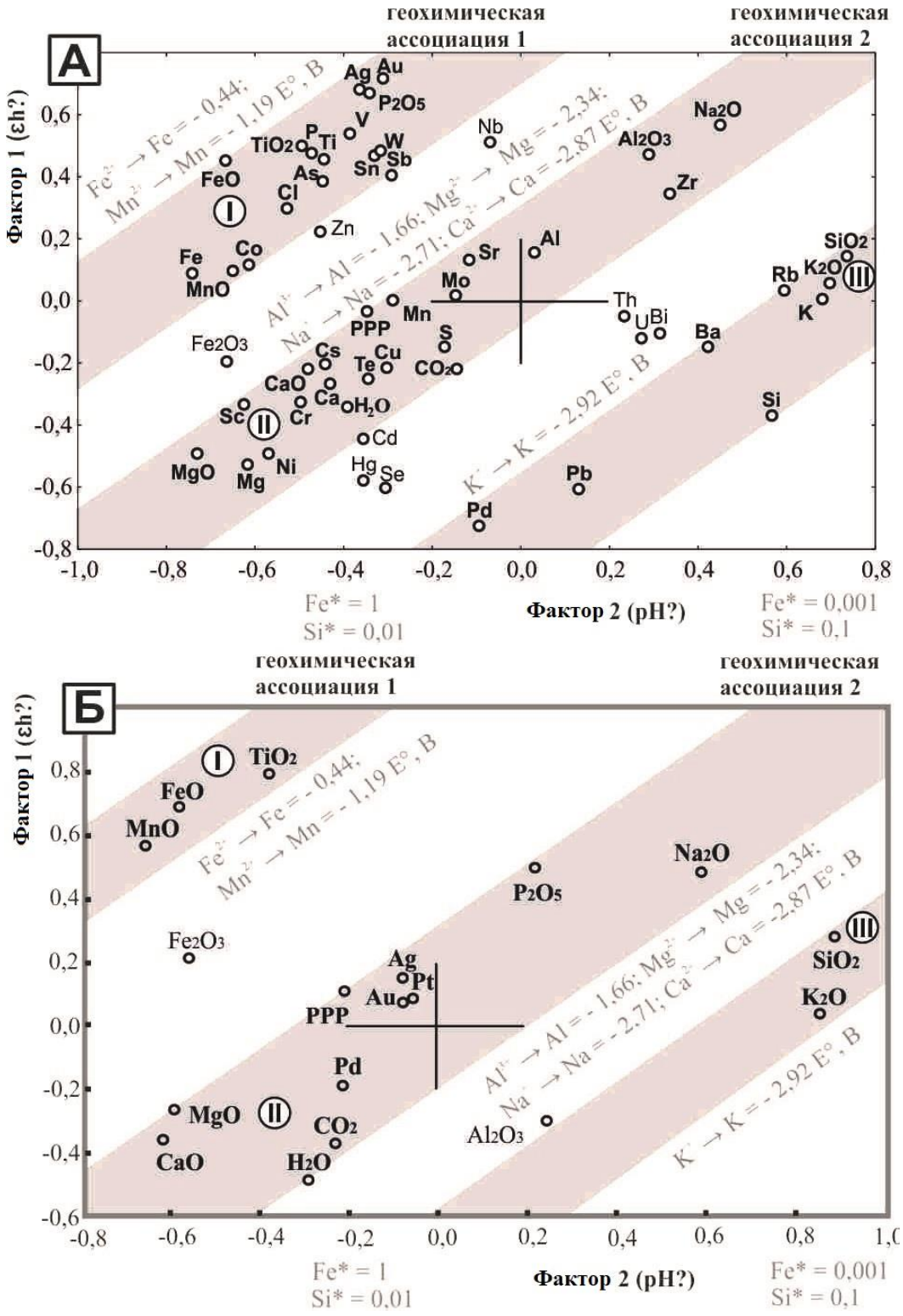


Рисунок 1. Результаты факторного анализа горных пород с интерпретацией.
А – данные силиканого и рентгено-флуоресцентного спектрального анализа (ИГАБМ СО РАН) пород Тыркандинской зоны. Б – данные силикатного (ИГАБМ СО РАН) и атомно-эмиссионного спектрального (ИГХ СО РАН) анализов пород Нимнырского террейна. Римскими цифрами обозначены области, отражающие специфику составов: I – комбинированных даек; II – фрагментов расслоенных интрузий и ультрамафитов; III – гранитов. Fe* и Si* округленные значения распределения компонентов флюид/расплав в зависимости от щелочности (слева) – кислотности (справа) флюида [3]. Для геохимических ассоциаций подписаны значения окислительно-восстановительного потенциала породообразующих элементов [4].

Внешним фактором, влияющим на распределение элементов вдоль оси X, вероятно, является мера кислотности, что хорошо заметно, если сравнить поведение породообразующих элементов в системе жидкость / расплав [3] с распределением элементов вдоль этой оси. Внешним фактором, влияющим на распределение элементов вдоль оси Y, вероятно, является окислительно-восстановительный потенциал. Это хорошо видно, если сопоставить распределение элементов вдоль оси Y с окислительно-восстановительным потенциалом благородных металлов в растворе [2], либо с косоугольной проекцией геохимических ассоциаций с разной энергией полуреакций восстановления на ось Y (Рисунок 1).

5. Выводы

В исследованных горных породах выделено две геохимические ассоциации: 1) Fe-Co-As-Ti-V-P-Ag-Au; 2) CaO-MgO-CO_2-H_2O-Pd-Pt-Au-Ag. Ассоциации связаны с разными метаморфизованными магматическими комплексами преимущественно толеитовой серии. Главными внешними факторами формирования горных пород, по результатам интерпретации факторных диаграмм, являются окислительно-восстановительный потенциал и кислотность среды. Дальнейшее изучение факторов и построение моделей изменчивости состава горных пород будет способствовать расшифровке генезиса различных типов пород толеитовой серии.

6. Благодарности

Исследования выполнены в рамках государственного задания ИГАБМ СО РАН.

7. Литература:

[1] Smelov A.P., Zedgenizov A.N., Timofeev V.F. Aldano-Stanovoy Shield // Tectonics, Geodynamics, and Metallogeny of the Republic of Sakha (Yakutia), Ed. by L. M. Parfenov and M. I. Kuz'min (MAIK Nauka/Interperiodica, Moscow, 2001), pp. 81-100. (in Russian)

[2] Latimer V.M. The oxidation states of the elements and their potentials in aqueous solutions. Foreign Literature Publishing House, 1954, 396 pp. (in Russian)

[3] Chevychelov V.Yu. Partitioning of Volatile Components (Cl, F, and CO_2) in Water-Saturated Fluid–Magma Systems of Various Composition // Petrology. Pleiades Publishing, Ltd. Volume: 27. Number: 6. Year: 2019, pp. 585-605.

[4] Handbook of Elementary Chemistry. Edited by A.T. Pilipenko. Ed. 2nd revised and enlarged. Kiev, "Naukova Dumka", 1977, 544 pp. (in Russian)

[5] Kravchenko A.A., Smelov A.P., Beryozkin V.I., Popov N.V. Geology and genesis of Precambrian gold-bearing metabasites in the central part of the Aldan-Stanovoy Shield (on the example of P. Pinigin deposit). Yakutsk. 2010, 147 pp. (in Russian)

[6] Beryozkin V.I., Kravchenko A.A. Mineralogy of the Early Precambrian Kerak complex of the Aldan-Stanovoy Shield // Otechestvennaya Geologiya. 2014, no. 5, pp. 53-63 (in Russian)

[7] Baranov L.N., Tolstov A.V., Okrugin A.V. Precious metals in alkaline rocks and carbonatites // Geology and mineral resources of the North-East of Russia. 2020, pp. 182-186 (in Russian)

УДК 551.4.011

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОПТИКО-ЛЮМИНЕСЦЕНТНОГО И КОСМОГЕННОГО ДАТИРОВАНИЯ

Анжела Васильева[1], Реджеп Курбанов[2], Алексей Галанин[1]
1 Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, ул. Мерзлотная, 36, г. Якутск, 677010, Россия
2 Московский государственый университет им. М.В.Ломоносова, ГСП-1, Ленинские горы, 1, Москва, 119991, Россия

MODERN TECHNOLOGIES OF OPTICAL LUMINESCENT AND COSMOGENIC DATING

Anzhela Vasileva[1], Redzhep Kurbanov [2], Alexey Galanin[1]
1 Melnikov Permafrost Institute, 36 Merzlotnaya St., Yakutsk, 677010, Russia
2 Lomonosov Moscow State University, GSP-1, 1 Leninskie Gory, Moscow, 119991, Russia

Annotation. The method of modern optical luminescent and cosmogenic dating is considered. The theoretical foundations of the methods, the technique of sampling and preparation of samples are discussed.

1. Введение

Важнейшей задачей палеогеографических реконструкций является оценка возраста отложений и рельефа. Для этого было разработано множество методов, основанных на различных физических и химических принципах. Методы определения возраста подразделяются на абсолютные и относительные. Использование комплекса относительных (биостратиграфический, палеомагнитный, изотопный, геохимический и др.) и абсолютных методов (радиоуглеродный, люминесцентный, уран-ториевый, аргон-аргоновый, наземные космогенные нуклиды) позволяет выполнять наиболее надежные палеогеографические реконструкции [1].

В последнее время все более широкое применение получают люминесцентный и космогенный методы, позволяющие выполнять датировки различных типов четвертичных отложений и рельефа.

2. Физические принципы люминесцентного и космогенного датирования

Оптико-люминесцентное датирование – физический метод определения абсолютного возраста, основанный на определении момента времени, когда минерал в последний раз находился на дневном свете. Люминесцентное датирование подразделяется на: оптически стимулированную люминесценцию (ОСЛ) и термолюминесценцию (ТЛ). Данный метод основан на том, что в большинстве породообразующих минералов, включая кварц и полевые шпаты, формируются различные нарушения кристаллической решетки – ловушки, в которых накапливаются избыточные электроны. Эти электроны образуются в результате радиоактивного распада содержащихся в минералах незначительной примеси радиоактивных изотопов ^{238}U, ^{232}Th, ^{40}K. Избыточная энергия накапливается в зернах в виде электронов с определенной скоростью до полного насыщения ловушки. Таким образом, электроны накапливаются в этих ловушках до полного насыщения последних, либо до того момента, пока зерно не испытает воздействие солнечного света, либо высокой температуры. В случае, если зерна кварца или полевого шпата оказываются на дневной поверхности и подвергаются солнечному облучению, происходит быстрое высвобождение энергии в виде световых квантов. Ловушки освобождаются от накопленной энергии и сигнал обнуляется.

Рассмотренный выше принцип лежит в основе методики ОСЛ-датирования, которая заключается в решении 2-х основных задач:

1) Отобрав образец, измерив его люминесцентные свойства, т.е. воздействовав на зерна пучком света, можно определить количество накопленной энергии (De, Грей);

2) Вторая часть датирования заключается в определении количества радиоактивных изотопов ^{238}U, ^{232}Th, ^{40}K в образце, которые показывают скорость, с которой заряд накапливается в системе (Dr, Грей/Тыс. лет).

Абсолютный возраст отложений определяется по формуле:

ОСЛ возраст (Age) (тыс. лет) = De/Dr,

где De – энергия, которая накопилась за какое-то время, Грей; Dr – энергия, которую радиоактивные элементы поставляли в ловушки за 1000 лет.

Таким образом, возрастом образца является момент последнее воздействие солнечного света на образец.

Как правило, для ОСЛ-датирования используются зерна кварца и полевого шпата. Предел датирования у разных минеральных и генетических типов отложений разный: эоловые отложения имеют высокую надежность датирования, возрастной диапазон – 100-500 тыс. лет; у лессовидных отложений – высокая надежность датирования, возрастной диапазон составляет 50-70 тыс. лет; флювиальные отложения – высокая надежность датирования, возрастной диапазон равен 500-700 тыс. лет; донные отложения – надежность датирования высокая, предел датирования – от 30 до 700 тыс. лет [2]. Точность датирования составляет от 5 до 10%.

Космогенное датирование – определение возраста объекта по радионуклидам, которые накапливаются в горных породах под воздействием космического излучения.

Физический принцип данного метода заключается в том, что при взаимодействии жесткого первичного космического изучения с атомами атмосферных газов N, O, C, образуется вторичное космическое излучение. Данное излучение взаимодействует с атомами минералов в экспонируемых на дневной поверхности горных породах. В результате в поверхностном слое горных пород образуются различные радиоизотопы ^{10}Be, ^{26}Al, ^{36}Cl, ^{14}C, которых на Земле нет. Поэтому их называют космогенными изотопами. Измерив концентрацию этих изотопов, можно определить, как долго находились поверхность/горная порода под воздействием космического излучения.

Метод может применяться в 2-х направлениях:

1)Момент экспозиции – длительность экспонирования, т.е. выхода горной породы/поверхности под воздействие космического излучения;

2)Момент погребения – момент, когда в горной породе перестал накапливаться сигнал космогенного излучения.

Момент датирования – отсчет начинается в момент, когда поверхность/горная порода оказались на поверхности.

Главное достоинство этого метода – большой диапазон датирования – до 5 млн. лет.

В космоизотопном методе используются преимущественно кварц (SiO_2), в котором атомы кремния ^{28}Si под воздействием космического излучения преобразуются в атомы ^{26}Al, а атомы кислорода ^{16}O преобразуются в атомы бериллия ^{10}Be. Космические нуклиды накапливаются в поверхностном слое горных пород с определенной скоростью, которая зависит от абсолютной высоты, географических координат, экспозиции поверхности.

Наиболее широкое применение метод нашел для оценки возраста четвертичных ледниковых отложений и рельефа, сложенных грубообломочными отложениями (моренами). Можно с высокой точностью определить возраст ледниковых форм рельефа: морены, эрратические валуны. Точность составляет 5-7 % от даты.

3. Источники ошибок

Источником ошибки при люминесцентном датировании является неполное «обнуление» сигнала зерна за предыдущий цикл. В данном случае можно получить удревненную оценку возраста. Для решения этой проблемы необходимо делать серию датировок (10-20 штук).

Отложения делятся на надежные и ненадежные. К надежным относятся: эоловые, аллювиальные, флювиогляциальные, прибрежно-морские. К ненадежным относятся: ледниковые (морены), озерные, быстрые процессы (оползни, сели, склоновые процессы).

В космогенном методе датирования источником ошибки являются:

1)Накопленные за прошлый цикл наземные космические радионуклиды – «переотложение». Чтобы решить эту проблему, необходимо делать партию образцов из различных объектов;
2)Эрозия – большая часть наземных космических радионуклидов образуется на поверхности породы. Выбирают участки, которые не подверглись эрозии;
3)Отсутствие кварца. Необходимо искать жилки кварца.

4. Правила отбора и подготовка проб

Правила отбора образцов на люминесцентное датирование:
1) Главное правило – защитить образец от воздействия солнечного света или нагрева;
2) Образцы отбираются в пластиковые, металлические трубы или пакеты ОСЛ;
3) Объем образца: песок – не менее 200 гр; глина – 500 гр. К каждому образцу необходимо приложить около 500 гр для γ-спектрометрии;
4) Материал в трубе не должен перемешиваться, необходимо уплотнить его подручными средствами;
5) Образцы лучше отбирать сериями.
Пробоподготовка на люминесцентное датирование происходит в 2 этапа:
1) Трубе или пакету с образцом присваивается номер. Создается каталог, где регистрируется образец;
2) Отделяем крайние части образца на γ-спектрометрию (250-500 гр);
1 этап – процедура подготовки образца на γ-спектрометрию (Dr):
1) Взвешивается образец;
2) Сушим образец в сушильном шкафу при T=100 °C. Снова взвешиваем;
3) Далее, отправляем образец в муфельную печь при T=450 °C на 12 часов для того, чтобы избавиться от органики. Взвешиваем;
4) Дробим, истираем в пыль. Взвешиваем образец (минимум 200 гр);
5) Образец смешиваем с жидким воском, формируем в чашки;
6) Надеваем чашку на детектор, происходит измерение (сутки)
Итог: содержание ^{238}U, ^{232}Th, ^{40}K
2 этап – процедура подготовки образца на ОСЛ (De):
1) Влажное ситование (4 сита: 250 мкм, 180 мкм, 90 мкм, 63 мкм) – разделение на фракции: Фракция А – 250-180 мкм; Фракция В – 180-90 мкм; Фракция С – 90-63 мкм. Необходима фракция А (чем крупнее зерна, тем лучше). Остальные фракции отправляются в резерв.
2) Обработка выбранной фракции:
2.1) Заливаем образец соляной кислотой HCl 10% (чтобы избавиться от карбонатов) на 1 час. После промываем муть (3-5 раз);
2.2) Заливаем образец перекисью водорода H2O2 10% (чтобы избавиться от органики) на 1 час. Промываем муть (3-5 раз).
3)Подготовка к сепарации:
3.1) Заливаем плавиковую кислоту HF 10% на 20 минут. Промываем муть (3-5 раз);
3.2) Залить соляной кислотой HCl 10% на 1 час. Промыть муть особо тщательным путем (5-7 раз).
4) Сушка образцов.
5) Сепарация в тяжелой жидкости:
5.1) Подготовить тяжелую жидкость (ρ=2,58 г/см3).
5.2) Залить пробирки с образцами тяжелой жидкостью, оставить на 8-12 часов;
5.3) Разделить в разные стаканы кварц Q и полевые шпаты Fs (проверить наличие фильтра);
5.4) Полевые шпаты Fs промыть, высушить, упаковать;
5.5) Кварц Q промыть несколько раз (3-5 раз).
6) Подготовка кварца:
6.1) Кварц залить плавиковой кислотой HF 40% на 1 час. После, плавиковую кислоту слить, нейтрализовать;
6.2) Промыть кварц (3 раза);

6.3) Залить соляной кислотой HCl 10% на 20 минут. Далее, кварц тщательно промыть, высушить, упаковать.

Правила отбора образцов на космогенный анализ:

1) Необходимо отобрать кварцевую породу (300 гр). Если кварца мало в образце, то 1 кг. Нужна серия объектов;

2) Образцы отбираются долотом, либо бензопилой по камню;

3) Необходимо зафиксировать следующие показатели: абсолютная высота (чем выше поверхность, тем космическое излучение больше), географические координаты, тип породы, размеры, сфотографировать место отбора образца.

Пробоподготовка к космогенному анализу делится на 2 фазы: 1 фаза – выделение чистого кварца; 2 фаза – выделение из кварца ^{10}Be.

1) Регистрируем образец: фото, размер, вес, тип породы;

2) Раскалываем образец на мелкие части (до 2-4 см) под автомобильным прессом. Далее, полученные мелкие кусочки дробим до песчаного размера на щековой дробилке;

3) Пропускаем образец через сито (700 мкм);

4)Далее, влажное ситование: пропускаем через 3 сита (Фракция А – 500-700 мкм; фракция В – 250-500 мкм; фракция С – 180-250 мкм). Необходима фракция А. Фракции В и С в резерв;

5) Сушим образцы при Т=80 °С. Высушенные образцы взвешиваем;

6) Фракцию А с помощью магнитного сепаратора (ЛМС) разделяем на магнитную и немагнитную фракцию. Нам нужна немагнитная фракция, так как в ней больше кварца;

7) Немагнитную фракцию заливаем 1% плавиковой кислотой HF на 1 час. Промываем образец от кислоты;

8) Флотация. Заливаем в образец газированную жидкость, под воздействием которой полевые шпаты всплывают, а кварц оседает. От полевых шпатов избавляемся;

9) Промываем образец, сушим. В результате должно получиться 40-50 гр. кварца.

2 фаза – выделение из кварца ^{10}Be.

5. Текущие исследования и благодарности

В настоящее время коллективом авторов настоящего доклада выполняются исследовательские работы по изучению истории формирования четвертичного рельефа, отложений и криолитозоны Центральной Якутии. Планируется широкое применение оптико-люминесцентных и космоизотопных датировок для оценки возраста морен и террас р. Лены и ее притоков, археологических памятников, в том числе нижнепалеолитической стоянки Диринг-Юрях.

Исследования выполняются за счет гранта Российского научного фонда № 21-17-00054. Автор выражает благодарность сотрудникам лаборатории ОСЛ-датирования при НИ лаборатории новейших отложений и палеогеографии плейстоцена МГУ им. М.В. Ломоносова за возможность прохождения стажировки.

6. Литература:

[1] Kurbanov, R.N., Semikolennykh, D.V., Taratunina N.A., Volvakh N.E. Luminescent dating in paleogeography// Actual problems of the Pleistocene paleogeography. Scientific achievements of the School of Academician K.K. Markov/ The team of authors/ T.A. Yanina, N.S. Bolikhovskaya, Ye. I. Polyakova, T.S. Klyuvitkina, R.N. Kurbanov (Eds.). – Moscow: Faculty of Geography, Moscow State University, 2020, 689 pp.

[2] Forman, S. L., J. Pierson, and K. Lepper (2000). Luminescence geochronology, in Quaternary Geochronology: Methods and Applications, J. M. Sowers, J. S. Noller, and W. R. Lettis (Editors), American Geophysical Union Reference Shelf 4, Washington, D.C., pp. 157–176.

УДК 552.323.5

ОСОБЕННОСТИ ВНУТРЕННЕЙ СТРУКТУРЫ РОССЫПНОГО ЗОЛОТА КАК ПОИСКОВЫЙ ПРИЗНАК ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ ЕГО ИСТОЧНИКОВ (НА ПРИМЕРЕ СЕВЕРО-ВОСТОКА СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ)

Борис Герасимов[1], Роман Желонкин[2]
1 Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, пр. Ленина, 39, г. Якутск, 677000, Россия
2 АО «Алмазы Анабара», ул. 50 лет Советской Армии, 86/6, г. Якутск, 677004, Россия

INTERNAL STRUCTURES OF PLACER GOLD AS A SEARCH FEATURE WHEN PREDICTING ITS SOURCES (ON THE EXAMPLE OF THE NORTH-EAST OF THE SIBERIAN PLATFORM)

Boris Gerasimov[1], Roman Zhelonkin[2]
1 Diamond and Precious Metal Geology Institute SB RAS, 39 Lenin Ave., Yakutsk, 677000, Russia
2 JSC "Almazy Anabara", 86/6 50 years of the Soviet Army St., Yakutsk, 677004, Russia

Annotation. One of the most informative typomorphic traits is the internal structure of native gold, since it carries important genetic information that can be used as a search trait. We have studied the internal structures of gold from modern placers and conglomerates of the Early Permian age in the northeast of the Siberian Platform in order to identify the features of the internal structure of placer gold, depending on the degree of its transformation, as well as the possibility of their use as a prospecting indicator. As a result of the research, it has been established that well-rounded high-grade gold of modern placers has undergone repeated redeposition through intermediate reservoirs. The discovery of weakly rounded gold with an internal structure without signs of exogenous transformation indicates its entry into modern alluvium from a nearby primary source. This was a prerequisite for setting up prospecting works for ore gold, as a result of which apocarbonate hydrothermal-metasomatic formations with disseminated gold-sulfide mineralization were revealed. Thus, the features of the internal structures of placer gold in combination with other typomorphic features are additional signs of determining the sources of formation of gold-bearing placers.

1. Введение

Одним из наиболее информативных типоморфных признаков, показывающих пострудные эндогенные изменения и продолжительность пребывания золота в экзогенной среде, является его внутреннее строение [1,2]. Изучение особенностей внутренних структур россыпного золота в комплексе с другими типоморфными признаками актуально для территорий, в которых до настоящего времени не выявлены золоторудные источники. Одним из таких регионов является северо-восточная часть Сибирской платформы, поскольку здесь известны многочисленные россыпи золота с неустановленными коренными источниками [3]. Целью исследований явилось выявление особенностей внутреннего строения россыпного золота в зависимости от химического состава, характера и степени его преобразований, а также возможность их использования в качестве поискового признака на конкретных природных объектах. Внутреннее строение самородного золота изучалась путем его травления в монтированных шлифах по отработанной методике [4], с использованием реактива: $HCl + HNO_3 + FeCl_3 \times 6H_2O + CrO_3 +$ тиомочевина + вода. Интерпретация особенностей внутренних структур проводились в соответствии с рекомендациями Н.В. Петровской [1], Л.А. Николаевой [2], Н.Е. Савва и В.К. Прейса [5].

2. Результаты и обсуждение

Внутреннее строение хорошо окатанного россыпного золота современных аллювиальных отложений. Россыпное золото имеет широкое распространение в современных аллювиальных отложениях северо-восточной части Сибирской платформы. Оно представлено в основном хорошо окатанными чешуйчатыми и пластинчатыми формами, размером 0,1 - 0,5 мм с грубошагреневой и мелкоямчатой поверхностью, иногда с отпечатками вдавливания минералов вмещающих отложений. Золотины имеют высокую пробность (900—999 ‰). В качестве элементов-микропримесей в них обнаружены Ag (до 10 %), Cu и Hg (до 1,5 %). Внутреннее строение золота этого типа существенно преобразовано и характеризуется мощными высокопробными оболочками, структурами рекристаллизации, перекристаллизации и линиями пластических деформаций. Совокупность типоморфных признаков данного типа золота свидетельствует о его переотложении через промежуточные коллектора.

Внутреннее строение золота конгломератов раннепермского возраста. Изучено золото из пермских конгломератов бассейна р. Сололи (Сололийское поднятие Оленекского свода) с целью выявления особенностей его внутренних структур. Конгломераты представляют собой крепко сцементированные породы светло-серого цвета. Они сложены в основном галькой и гравием молочно-белого и дымчатого кварца. Размер галек 1-2 см, редко 10 см. В качестве цемента выступает белый каолинизированный песчаник. Видимая мощность пород около 2,5 м. Золото имеет главным образом пластинчатые формы с отпечатками вдавливания минералов и следующий гранулометрический состав: 0,25-0,5 мм – 10 %, -0,25 мм – 90 %. Пробность его варьирует от 700 до 999 ‰, при этом преобладает высокопробное золото (900-999 ‰) до 80 %. Внутреннее строение представлено структурами грануляции, перекристаллизации и высокопробными межзерновыми прожилками (Рисунок 1, а), что в целом является характерным для золота древних промежуточных коллекторов. Следует отметить, что россыпное золото из русловых отложений бассейна р. Сололи, отобранных ниже по течению от коренного выхода пермских конгломератов, имеет аналогичное внутреннее строение (Рисунок 1, б). Данное обстоятельство, а также идентичная пробность золота, позволяет констатировать, что основными источниками металла в русловом аллювии исследованного участка являются кварцевые конгломераты пермского возраста.

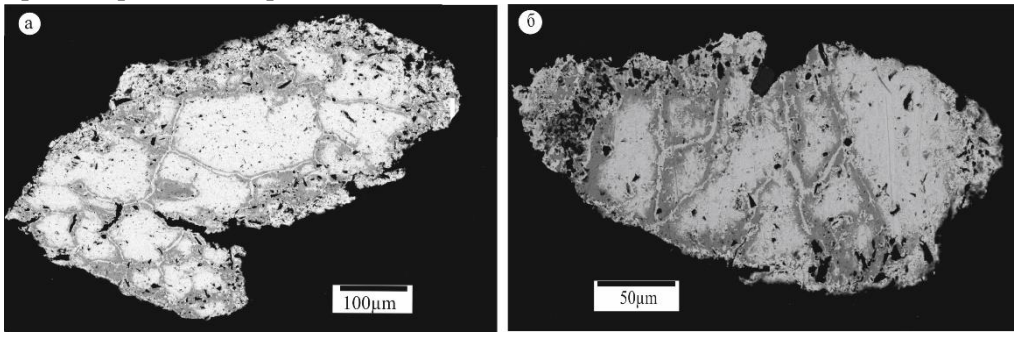


Рисунок 1. Внутреннее строение золота Сололийского поднятия: а - высокопробное (950 ‰) золото из пермских конгломератов бассейна р. Сололи с весьма высокопробными (999 ‰) межзерновыми прожилками; б - высокопробное (945 ‰) золото из современного аллювия бассейна р. Сололи с весьма высокопробными (999 ‰) межзерновыми прожилками. Протравлено реактивом на основе царской водки. Снято в режиме обратно-рассеянных электронов.

Внутреннее строение слабо окатанного россыпного золота и золота рудного облика из современных аллювиальных отложений. Наряду с типичным описанным выше пластинчатым золотом в некоторых россыпях изученной территории встречается слабо окатанное золото и золото рудного облика. Содержание его может колебаться от 5 до 15 % в общей массе золота россыпи. Оно характеризуется в основном размером от 0,1 до 8,0 мм, угловато комковидными и комковидными формами. Пробность его варьирует в очень широких пределах 350-999 ‰, преобладают средне- и низкопробные разновидности. Содержание Ag фиксируется на уровне

12—65 %, Hg— до 4 %, Cu— до 1,5 %. Внутреннее строение золота практически не изменено, для него свойственны монозерна и крупно-среднезернистые структуры, а также двойники, иногда отмечаются фрагменты весьма тонких высокопробных оболочек.

Данный тип золота распространен локально и отмечается, как правило, вблизи зон глубинных разломов или выходов пород докембрийского фундамента. Обнаружение золота с внутренним строением без признаков экзогенного преобразования свидетельствует о его поступлении в современный аллювий из близлежащих коренных источников. В качестве примера можно привести своеобразное неизмененное внутреннее строение весьма мелкого слабо окатанного золота россыпи р. Биллях. Здесь наряду с хорошо окатанным пластинчатым золотом выявлены мелкие (-0,25 мм) золотины рудного облика пластинчатой, угловато-комковидной и дендритовидной форм. Поверхность их практически необработанная губчатая и пористая. Пробность варьирует в очень широких интервалах – от низкой (535 ‰) до весьма высокой (999 ‰). Анализ пробности золота и его морфологических особенностей показал, что относительно низкой (799-700 ‰) и низкой (699-500 ‰) пробностью обладают исключительно золотины рудного облика.

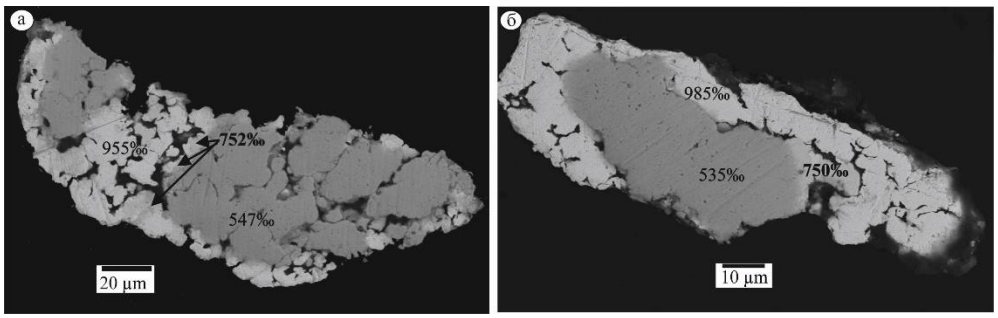


Рисунок 2. Внутреннее строение золота рудного облика: а – неоднородное разнофазное внутреннее строение золота россыпи р. Биллях; б - неоднородное разнофазное внутреннее строение золота россыпи реч. Небайбыт; Протравлено реактивом на основе царской водки. Снято в режиме обратно-рассеянных электронов.

Характерной особенностью данного золота является его неоднородное разнофазное внутреннее строение (Рисунок 2, а). В центральной части золотин выявлена низкопробная (500-600 ‰) фаза, представленная зернами овальных очертаний размером от 10 до 50 микрон. Межзерновые промежутки заполнены высокопробным золотом. Совокупность типоморфных особенностей этого золота позволяет отнести его к автохтонному типу. В связи с этим было выдвинуто предположение, что в верхнем течении р. Биллях в поле развития кембрийских карбонатных пород в зоне разломов может быть локализовано золоторудное проявление – потенциальный коренной источник весьма мелкого золота [6]. Данное предположение нашло подтверждение нашими полевыми работами. В истоках р. Биллях обнаружены приразломные апокарбонатные гидротермально-метасоматические образования. В них выявлено вкрапленное золотосульфидное оруденение. По эпигенетическим минеральным ассоциациям выделяются кварц-калишпатовые и кремнисто-кварцевые гидротермально-метасоматические образования [7]. Рудные минералы в них представлены весьма мелкими кристаллами и фазами пирита, арсенопирита, сфалерита и галенита. Также довольно часто отмечается барит в виде весьма мелких прожилков в микротрещинах доломита. Золото встречается в основном в свободном самородном виде в кварцевых прожилках, реже в ассоциации с пиритом. Размер его колеблется от первых до 15 мкм по длинной оси.

В бассейне р. Большая Куонамка (реч. Небайбыт), дренирующем восточное обрамление Анабарского щита, обнаружено слабо окатанное золото. Оно представлено изометричными кристаллами, угловато-комковидными и пластинчатыми формами, а также своеобразными крючковатыми индивидами. Как правило, слабоокатанное золото отмечается в классе -0,25 мм. Пробность его варьирует в весьма широких пределах – от низкого (535 ‰) до весьма высокого (более 950 ‰). Золотины не несут признаков преобразования в гидродинамических условиях,

что свидетельствует о близости коренного источника. Золото имеет такое же внутреннее строение (неизмененное, неоднородное, разнофазное) как золото россыпи р. Биллях (Рисунок 1, б). Примечательно, что здесь нами в поле развития катаклазированных доломитистых известняков изучены гидротермально-метасоматические образования с вкрапленным золото-сульфидным оруденением [7], локализованные в зоне разлома. Оруденение представлено мельчайшими выделениями золота, серебра, пирита, арсенопирита, антимонита, молибденита и акантита. На основании вышеизложенного, предполагается, что коренными источниками весьма мелкого неокатанного золота ближнего сноса могли служить описанные проявления вкрапленной рудной минерализации, локализованные в метасоматически измененных карбонатных породах. Таким образом, описанные внутренние структуры, вероятно, являются индикаторными признаками для самородного золота апокарбонатных приразломных гидротермально-метасоматических образований.

3. Выводы

В результате выполненных исследований сделаны следующие краткие выводы:

1. Особенности внутреннего строения хорошо окатанного золота современных россыпей свидетельствуют о неоднократном его переотложении через промежуточные коллектора. Это наглядно подтверждается нашими исследованиями золота пермских конгломератов. Идентичность внутреннего строения золота пермского коллектора и современного аллювия бассейна р. Сололи позволяет констатировать о ведущей роли конгломератов в качестве промежуточного источника на изученном участке.
2. Обнаружение золота с внутренним строением без признаков экзогенного преобразования свидетельствует о его поступлении в современный аллювий из близлежащих коренных источников.

Таким образом, особенности внутренних структур россыпного золота в совокупности с другими типоморфными признаками могут быть дополнительными и достаточно достоверными критериями при прогнозировании потенциальных источников формирования золотоносных россыпей (древние золотоносные коллекторы или золоторудные первоисточники).

4. Благодарности

Работа выполнена по государственному заданию ИГАБМ СО РАН и частично в рамках хоздоговорных работ с АО «Алмазы Анабара».

5. Литература:

[1] Peyrovskaya, N. V. Native gold. Moscow: Nauka,1973, 347 pp (in Russian).
[2] Nikolaeva L. A., Gavrilov A.M., Nekrasova A. N., Yablokova S. V., Shatilova L. V. Atlas of native gold of ore and placer deposits of Russia. Moscow: TsNIGRI, 2003, 184 pp.
[3] Nikiforova, Z.S.; Gerasimov, B.B.; Glushkova, E.G.; Kazhenkina, A.G. Indicative features of placer gold for the prediction of the formation types of gold deposits (east of the Siberian Platform). Russ. Geol. Geophys. 2018, no. 59, pp. 1318–1329, doi:10.1016/j.rgg.2018.09.009.
[4] Peyrovskaya, N. V., Novgorodova, M.I., Frolova, K.E., 1980. Nature of structures and substructures of endogenetic native gold particles, in: Peyrovskaya, N. V., Fatyanov, I.I. (edited by), Mineralogy of native elements. FASC AS USSR publishing house, Vladivostok, pp. 10-20.
[5] Savva N. E., Preis V. K. Atlas of native gold of the North-east of the USSR. M.: Nauka, 1990, 293 pp.
[6] Gerasimov B. B. Indicator typomorphic features and potential sources of fine alluvial gold of the Ebelyakh area (north-east of the Siberian platform) // Vestnik of Saint Petersburg University. Earth Sciences. 2018, vol. 63, Issue 3, pp. 291-302. https://doi.org/10.21638/spbu07.2018.303
[7] Gerasimov, B. Typomorphism of fine placer gold and potential primary sources of the Anabar mineral subprovince (North-eastern Siberian Platform) // IOP Publishing: IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 362, 2019, 012039 https://doi.org/10.1088/1755-1315/362/1/012039. Web of Sciences. https://mess-earth.org/index.html.

УДК 55(063) (571.56)

ЗОЛОТО-СЕРЕБРО-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОЕ ОРУДЕНЕНИЕ КОНГИНСКОЙ ЗОНЫ ОМОЛОНСКОГО ТЕРРЕЙНА (СЕВЕРО-ВОСТОК АЗИИ)

Антон Глухов, Владимир Прийменко, Марина Фомина
Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт им. Н.А. Шило ДВО РАН, ул. Портовая, 16, г. Магадан, 685000, Россия

GOLD-SILVER-BASE-METALS MINERALIZATION OF KONGINSKAYA ZONE OF THE OMOLON TERRANE (NORTH-EAST OF THE ASIA)

Anton Glukhov, Vladimir Priymenko, Marina Fomina
North-East Interdisciplinary Scientific and Research Institute FEB RAS, 16 Portovaya St., Magadan, 685000, Russia

Annotation. Described ore occurences, coincided with granitoid dome structures of Konginskaya zone of Omolon the terrane. Showed two types of that: porphyry-copper and epithermal Intermediate Sulfidation.

1. Введение

В тыловой зоне Охотско-Чукотского вулканогенного пояса (ОЧВП) известен ряд далеко вдающихся в континент и вытянутых ортогонально по отношению к поясу зон меловых вулканических пород. Конгинская зона сложена вулканическими ассоциациями андезит-дацитового состава и гранитоидами [2]. С ними ассоциируют многочисленные рудопроявления Au, Ag, Pb, Zn, Cu, Mo. Они слабо изучены и некоторые из них лишь поверхностно охарактеризованы в литературе [1]. Их геолого-генетическая принадлежность неясна.

2. Основной раздел статьи

Рудопроявление Захаренко приурочено к интрузивно-купольному поднятию, в ядре которого обнажены монцодиориты викторинского комплекса с U-Pb возрастом по циркону (TIMS) 87 млн. лет. Пирит-серицит-кварцевые метасоматиты (Ar-Ar возраст по серициту 88±1 млн. лет) вмещают сульфидно-кварцевые штокверки с пиритом, пирротином, халькопиритом, сфалеритом и молибденитом. Содержания молибдена в штокверках достигают 0,2 %, меди 0,1 %. На удалении от них развиты рудоносные карбонат-кварцевые жилы. Содержания золота в них до 20 г/т, серебра до 88 г/т, свинца - более 1 %; геохимический спектр жил Au-Pb-Ag-(W, Mo)-As. Руды содержат две минеральных парагенезиса: 1) пирит-полисульфидно-кварцевый, 2) золото-серебряный. В сфалерите установлены высокие концентрации Fe (11–12 %), Mn (более 1 %), низкие – Cd (менее 1 %). Руды характеризуются относительно утяжеленным изотопным составом сульфидной серы - +4,7 $d^{34}S$ VCDT ‰. Рудопроявление Джелты приурочено к контактам субвулканических тел кварцевых монцодиоритов викторинского комплекса с U-Pb возрастом (TIMS) 86 млн. лет. Рудные тела представлены жильно-прожилковыми зонами барит-карбонат-кварцевого состава мощностью от 2 до 20 м с пиритом, халькопиритом, галенитом, сфалеритом, блеклой рудой, электрумом. Содержания золота до 9,7 г/т, серебра до 1913 г/т. Характерны высокие, иногда превышающие 1 %, концентрации свинца и цинка. Геохимический спектр оруденения Ag-Pb-Au-As-Sb-Zn-Mo. Выделены две минеральные ассоциации: 1) пирит-карбонат-барит-кварцевая, 2) золото-блеклорудно-полисульфидная. Сфалерит низкожелезистый (<4 %), содержит относительно много Cd (до 2,24 %). Руды характеризуются близким к метеоритному изотопным составом сульфидной серы - +0,3 $d^{34}S$ VCDT ‰.

3. Выводы

Охарактеризованная золото-серебро-полиметаллическая минерализация относится к различным геолого-генетическим типам. Рудопроявление Захаренко по геологической позиции и составу руд принадлежит полнопроявленной порфирово-эпитермальной рудную системе, на нижних уровнях которой развита штокверковая молибден-медно-порфировая минерализация, а на верхних – жильная золото-серебро-полиметаллическая. Рудопроявление Джелты представляет собой по современной классификации [3] эпитермальную минерализацию типа «Intermediate Sulfidation». Главные отличительные черты подобного рода объектов: ассоциация с вулканитами и субвулканическими телами кислого-среднего состава, широкое развитие карбонатов и Cu-Pb-Zb минералов в рудах, низкое отношение Au/Ag (1:10–1:100).

4. Литература:

[1] Goryachev, N. A., Egorov, V. N., Savva, N. E., Kuznetsov, V. M., Fomina, M. I. and Rozhkov, P. Yu. Geology and metallogeny of phanerozoic complexes of the southern Omolon Massif. Dal'nauka, Vladivostok, 2017, 312 pp. (in Russian)

[2] Lychagin, P. P., Dylevskiy, E. F. and Likman, V. B. Magmatism of the Omolon sredinny massif // Izv. Akad. Nauk SSSR, 1990, Ser. Geol., no. 7, pp. 17–29 (in Russian).

[3] Sillitoe R.H., Hedenquist J.W. Linkages between volcanotectonic setting, ore-fluid composition an epitermal precious-metals deposits // SEG Special Publication, 2003, no. 10, pp. 315-343.

УДК 55(063) (571.56)

ДЕЛЯНКИРСКАЯ ЛОКАЛЬНАЯ ЗОЛОТОРУДНО-МАГМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА (ЯНО-КОЛЫМСКИЙ ПОЯС, СЕВЕРО-ВОСТОК РОССИИ)

Николай Горячев[1], Геннадий Гамянин[2,5], Сергей Кряжев[3], Андрей Цыганков[4]
1 Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт им. Н.А. Шило ДВО РАН, ул. Портовая, 16, г. Магадан, 685000, Россия
2 Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, Старомонетный пер, 35, г. Москва, 119017, Россия
3 Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов, Варшавское шоссе, 121, г. Москва, 117545, Россия
4 Геологический институт СО РАН, ул. Сахьяновой, 6а, г. Улан-Удэ, 6700447, Россия
5 Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, пр. Ленина, 39, г. Якутск, 677000, Россия

DELYANKIR LOCAL GOLDORE-MAGMATIC SYSTEM (YANA-KOLYMA BELT, NORTH-EAST RUSSIA)

Nikolay Goryachev[1], Gennadiy Gamyanin[2,5], Sergei Kryazhev[3], Andrey Tsygankov[4]
1 North-East Interdisciplinary Scientific and Research Institute FEB RAS, 16 Portovaya St., Magadan, 685000, Russia
2 Institute of Ore Deposits Geology, Petrography, Mineralogy and Geochemistry RAS, 35 Staromonetny Ave., Moscow, 119017, Russia
3 Central Research Institute of Geological Prospecting for Base and Precious Metals, 121 Warshavskoye Hwy., Moscow, 117545, Russia
4 Geological Institute SB RAS, 6a Sakh'yanova St., Ulan-Ude, 670047, Russia
5 Diamond and Precious Metal Geology Institute SB RAS, 39 Lenin Ave., Yakutsk, 677000, Russia

Annotation. The local gold-ore-magmatic system of the granitoid related type is characterized. The data on geochemistry of ore-bearing granitoids, mineralogy and geochemistry of ores are presented. Gold mineralization is attributed to the gold-bismuth type. The signs of the genetic relationship of granitoids and ore mineralization have been established, which consist in the mineralogical-geochemical and isotope-geochemical characteristics of the constituent parts of the Delyankir ore-magmatic cluster. The evolution of fluid composition from quartz deposition to arsenopyrite and ore minerals deposition is shown.

1. Введение

Проблема взаимоотношения золоторудной минерализации с гранитоидами много лет служит предметом многочисленных дискуссий. В результате, в настоящее время, среди месторождений золота орогенных поясов выделено два типа: орогенный, генетически связанный с региональным метаморфизмом и тип месторождений, генетически связанный с интрузивными породами и прежде всего с гранитоидами [1-6]. Разнообразие взглядов привело к возникновению представлений о золоторудно-магматических системах регионального и локального уровня, подробно разобранных нами ранее, на примере Северо-Востока России [7] и других регионов [6,8]. Однако примеров характеристики локальных рудно-магматических систем (РМС), пока еще все же немного [7], что и послужило основанием для представления данного доклада. Поскольку РМС представляет собой совокупность эндогенных процессов, протекающих в геологической среде и приводящих к возникновению магматических расплавов и рудоносных флюидов, то продуктом ее являются конкретные рудно-магматические ассоциации, или рудно-магматические узлы (РМУ) [7,9]. Примером такого рудно-магматического узла является Делянкирский узел, локализованный в зоне Чай-Юрьинского регионального разлома, в осевой части Яно-Колымской складчатой системы недалеко от границы Республики Саха-Якутия и

Магаданской области. Нами было проведено изучение геологического строения магматических и рудных тел, петро-геохимические, минералого-геохимическое и изотопно-геохимическое изучение магматических и рудных образований, исследование флюидных включений. Все исследования проведены на базе институтов, где работают авторы. Данные по стабильным изотопам получены в Аналитическом центре ДВГИ ДВО РАН во Владивостоке, по флюидным включениям по методике [10].

2. Геология

Делянкирский РМУ представлен небольшим гранитным интрузивом штокообразной формы, в котором локализованы сульфидно-кварцевые жильно-прожилковые рудные тела одноименного рудопроявления и пострудные дайки долеритов и спессартитов. Интрузив сложен породами гранодиорит-гранитного состава главной фазы с жилами и дайками мелкозернистых аплитовидных гранитов и аплитов. Площадь выхода интрузива на поверхность составляет около 4 км^2. Он прорывает складчатую толщу северо-западного простирания, сложенную песчано-сланцевыми отложениями позднего триаса – ранней юры и содержащую зоны неравномерной пиритовой вкрапленности (до 10 %) [11]. Эти зоны вмещают редкие золотоносные жилы кварца орогенного типа, послужившие источниками россыпей ручья Озерного.

3. Результаты изучения

Интрузивные породы главной фазы по своему составу относятся к гранитам и гранодиоритам I-типа ильменитовой серии и весьма сходны по геохимическим характеристикам с породами расположенных недалеко Мяунджинского и Салгынтарского массивов [12]. По данным ICP-MS, для них характерно повышенное содержание Mo и W, а также присутствие Bi и Sb. В апикальной части штока Делянкир локализованы крутопадающие штокверковые зоны кварцевых и арсенопирит-кварцевых прожилков, ориентированные в северо-восточном направлении. Протяженность зон 400-500 м при ширине до 100 м. Количество прожилков колеблется от 5 до 20 на десять погонных метров, мощность их от долей миллиметра до 10-15 см. В составе жил, кроме кварца (90-99 %), леллингита и арсенопирита (1-10 %), отмечены калишпат (1-10 %), пирротин, пирит, самородные золото и висмут, висмутин, сульфотеллуриды и сульфосоли висмута. Пробность золота – 880-900 ‰. Околожильные изменения представлены полевошпатовыми и кварц-серицитовыми метасоматитами с вкрапленностью арсенопирита. Содержания Au в штуфных пробах достигают 21 г/т, обычно составляя около 4-7 г/т (среднее из 10 проб по нашим данным – 4,7 г/т). Для руд характерны невысокие (в среднем, менее 26 г/т) концентрации Ni, Cu, Pb; повышенные (в среднем, до 70 г/т) концентрации Bi, Sb, Co, Zn и Li. Содержание Ag, Sn и Mo, в среднем, варьирует в пределах 2-4 г/т. Содержания As, в среднем по 10 пробам, составляют около 6%. По данным оценочных работ золоторудная минерализация сопровождается отчетливой аномалией K, U и Th и высококонтрастными вторичными ореолами Au, As, Bi и W. Отмечено ярусное расположение штокверковых зон в соответствии с рельефом штока. Скважинами минерализация прослежена на глубину до 100 м. Арсенопирит рудопроявления по данным микрозондового анализа характеризуется существенным преобладанием As и незначительной (доли %) примесью Co и Ni. Данные атомной абсорбции показывают его относительно высокую золотоносность (35,8 г/т, среднее из 7 анализов) и относительно повышенные содержания Co (260 г/т) и Ni (78 г/т). Жильный кварц характеризуется повышенными концентрациями As (до 0,1%) и постоянным присутствием Ag (до 0,12 г/т), Sb, W и Bi (первые г/т). Он обладает относительно легким изотопным составом кислорода +12,1…+12,3 ‰, для арсенопирита также присуща легкая S ($\delta^{34}S$= -7,1 ‰). Изучение состава флюидных включений кварца и арсенопирита, несмотря на единичные анализы, показало заметные различия в их составе. Для кварца характерно существенное преобладание Na и Cl, заметно более высокие концентрации CH_4, постоянное присутствие B, Sb, Ag, локальное проявление Au, Mo, Bi, Sn. Общая концентрация солей составила первые проценты. Включения в арсенопирите обогащены CO_2, SO_4^{2-}, F, K, Ca, N, Br (до 30 г/кг H_2O), Li, Rb, Sr, Ba, Sb (1 г/кг), Zn (2 г/кг), Pb (2.5 г/кг), Mo, Tl, Co, Ni, U, Mn, Fe (73 г/кг). Общая концентрация солей превысила

20 %. Концентрации As во флюидах в кварце и в арсенопирите оказались сопоставимыми на уровне 5-12 г/кг H_2O.

4. Обсуждение результатов

Данные по минералогии и геохимии руд (высокая мышьяковистость арсенопирита, минералы Bi), изотопному составу O (12,1-12,3 ‰) и S (-7,1 ‰) четко совпадают с данными по другим рудно-магматическим системам Северо-Востока [7]. Это позволяет полагать, что рассматриваемая локальная система является типовой для Яно-Колымского пояса и характеризуется всеми признаками золото-висмутового оруденения, генетически связанного с гранитоидами [13]. Присутствие в гранитах повышенных количеств Bi, Sb, Mo и W, которые постоянно отмечаются в жильном кварце и в самих рудах, подчеркивает их геохимическое родство. Высокотемпературная ассоциация леллингита, пирротина и арсенопирита, в совокупности с полевошпатовыми оторочками рудных прожилков также указывает на постмагматическое формирование руд. Изотопный состав кварца имеет четкую гранитогенную природу, заметно отличаясь от метаморфогенного кварца и кварца орогенных месторождений региона [14]. Полученные нами новые данные по флюидным включениям, показывают близость их другим объектам этого типа в регионе [15] и, вероятно, отражают эволюцию состава флюидов в процессе минералообразования. Здесь, прежде всего, следует отметить восстановленность и хлоридность ранних кварцеобразующих флюидов и окисленность и преобладание калия и углекислоты в поздних сульфидообразующих флюидах. Ранее нами было показана важная роль углекислоты как осадителя кремнезема в жилах [5,16], равно как известна такая же ее роль в разрушении золотоносных комплексов. Наши пока еще единичные данные подтверждают эти предположения и расчеты. Повышение роли K, Pb, Sb в поздних флюидах также достаточно четко увязывается с калиевым характером околорудного метасоматоза и формированием Pb-Sb-Bi сульфосолей на финальной стадии рудообразования. Высокий фон As во флюидах подчеркивает их генетическое единство. Обращает на себя внимание высокие концентрации во флюидах Br, что позволяет предполагать важное значение этого галогена в процессе рудообразования и ставит вопрос об углубленном исследовании его геохимии во флюидных включениях.

5. Заключение

Приведенные результаты исследования Делянкирского РМУ показывают, что оруденение в его пределах относится к золото-висмутовому или золото-редкометалльно-кварцевому жильно-прожилковому типу [13]. Минералого-геохимические и изотопно-геохимические характеристики составных частей РМУ указывают на признаки генетического родства гранитоидов и рудной минерализации. Это позволяет рассматривать его как продукт локальной золоторудно-магматической системы.

6. Благодарности

Работа выполнена в рамках проекта РФФИ 20-05-00344 и, частично, в рамках бюджетной тематики СВКНИИ ДВО РАН.

7. Литература:

[1] Goldfarb R.J., Miller L.D., Leach D.L., Snee L.W. Gold Deposits in Metamorphic Rocks of Alaska // in Goldfarb R.J., Miller L.D. Eds, Mineral Deposits of Alaska. Economic Geology Monograph 9, 1997, pp.151-190

[2] Goldfarb, R.J., Baker, T., Dube, B., Groves, D.I., Hart, C.J.R., Gosselin, P. Distribution, Character, and Genesis of Gold Deposits in Metamorphic Terranes // Economic Geology 100th Anniversary Volume, 2005, pp. 407-450.

[3] McCoy D., Newberry R.J., Layer P., DiMarchi J.J., Bakke A., Masterman J.S., Minehane D.L. Plutonic-Related Gold Deposits of Interior Alaska // Goldfarb R.J., Miller L.D. Eds, Mineral Deposits of Alaska. Economic Geology Monograph 9, 1997, pp.191-190.

[4] Kerrich, R., Goldfarb, R., Groves, D, Garwin, S., Jia Y. The characteristics, origins, and geodynamic settings of supergiant gold metallogenic provinces // Science in China (Series D), vol. 43 Supp. December 2000, pp. 1-68.
[5] Goryachev N.A. Origin of gold quartz vein belts tyroughout the Northern Pacific area. – Magadan: NEISRI FEB RAS, 2003. – pp. 1-143, ISBN 5-94729-033-2 (in Russian)
[6] Goryachev, N.A., Pirajno, F. Gold deposits and gold metallogeny of Far East Russia // Ore Geology Reviews, 2014, vol.59, pp. 123-151.
[7] Gamyanin G.N., Goryachev N.A., Bakharev A.G., Kolesnichenko P.P., Zaitsev A.I., Diman E.N., Berdnikov N.V. Conditions of origin and evolution of granitoid gold-ore-magmatic systems in Mesozoids in North-East Asia. – Magadan: NEISRI FEB RAS, 2003, pp. 1-196, ISBN 5-94729-048-0 (in Russian)
[8] Goryachev N.A. Gold-ore-forming systems of orogenic belts // Vestnik NESC FEB RAS, 2006, no. 1, pp. 2-16 (in Russian)
[9] Gamyanin G.N., Goryachev N.A. Granitoid related gold-ore-magmatic systems of the North East USSR // in Ore-magmatic systems of East USSR. – Yakutsk: YaSC SB AS USSR, 1991, pp. 37-48 (in Russian)
[10] Kryazhev S.G., Prokofiev V.Yu., Vasyuta Yu.V. Using of the ICP MS method in the analysis of the composition of ore-forming fluids of hydrothermal ore deposits // Moscow University Bulletin. Series 4. Geology, 2006, no. 4, pp. 30-36 (in Russian)
[11] Goryachev N.A., Sotskaya O.T., Ignatiev A.V., Velivetskaya T.A., Goryacheva E.M., Semyshev F.I., Berdnikov N.V., Malinovsky M.A., Al'shevsky A.V. On sulfide mineralization of large fault zones in the Yana-Kolyma orogenic belt // Bulletin of the North-East Science Center, 2020, no. 1, pp. 11–29 (in Russian)
[12] Tsygankov A.A., Goryachev N.A., Khubanov V.B., Burmakina G.N. New isotope-geochemical data about granitoids of south-eastern flank of the Main Kolyma Batholite Belt // in [V.Yu. Fridovsky - Ed.] Geology and Minerals of North-East Russia: Proceedings of X All-Russian scientific and practical conference with international participation, April 08-10 of 2020. – Yakutsk: NEFU Publisher House, 2020, pp. 301-303 ISBN978-5-7513-2970-9 (in Russian)
[13] Goryachev N.A., Gamyanin G.N. Gold-Bismuth (Gold-Rare-Metal) deposits of North-East Russia: the types and exploration perspectives // in (N.A. Goryachev and A.G. Mironov Eds). Gold Lode Deposits of Eastern Russia – Magadan: NESC FEB RAS, 2006, pp. 50-62 ISBN 5-94279-083-9 (in Russian)
[14] Gamyanin G.N., Goryachev N.A., Kryazhev S.G. Isotope-geochemical peculiarities of quartz and carbonates of ore- and non-ore veins of the Verkhoyansk-Kolyma region // in [V.Yu. Fridovsky - Ed.]. Geology and Minerals of North-East Russia: Proceedings of X All-Russian scientific and practical conference with international participation, April 08-10 of 2020 /– Yakutsk: NEFU Publisher House, 2020, pp. 186-189 ISBN978-5-7513-2970-9 (in Russian)
[15] Vikentieva O., Prokofiev V.Yu., Gamyanin G.N., Goryachev N.A., Bortnikov N.S. Intrusion-related gold-bismuth deposits of North-East Russia: PTX parameters and sources of hydrothermal fluids // Ore Geology Reviews. 2018, vol. 102, pp. 240-259
[16] Goryachev N.A. Veined Quartz of Yana-Kolyma belt Gold Ore Deposits. – Magadan: NEISRI FEB RAS, 1992, pp. 1-136 (in Russian)

УДК 553.411:550.84

ДАННЫЕ ОБ ИЗОТОПНОМ СОСТАВЕ СЕРЫ И ОСМИЯ СУЛЬФИДОВ РУДОПРОЯВЛЕНИЯ ДЫВОК (ВЕРХНЕАЛГОМИНСКИЙ РАЙОН, ЮЖНАЯ ЯКУТИЯ)

Вероника Кардашевская, Галина Анисимова
Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, пр. Ленина, 39, г. Якутск, 677000, Россия

DATA ON THE ISOTOPIC COMPOSITION OF SULFUR AND OSMIUM SULFIDES OF THE DYVOK ORE OCCURRENCE (VERKHNEALGOMINSKIY AREA, SOUTH YAKUTIA)

Veronika Kardashevskaia, Galina Anisimova
Diamond and Precious Metal Geology Institute SB RAS, 39 Lenin Ave., Yakutsk, 677000, Russia

Annotation. This paper presents the results of the study of stable isotopes of sulfur and osmium in sulfides from quartz veins of the poorly studied Dyvok ore occurrence (South Yakutia). In the course of the studies, it was found that the sulfur falls within the range of +2.9...+4.5 %, which is consistent with the idea of a mantle source. The variation of the osmium isotope ratios in the sulfides in the range of 0.8...10.6 % indicates the crustal nature of the source. The studies carried out probably indicate a mixed mantle-crustal nature of the sulfide source.

1. Введение

Для получения информации об источниках рудного вещества рудопроявления Дывок впервые были проведены изучения изотопного состава серы и осмия сульфидов из кварцевых жил. Для изотопных исследований были отобраны монофракции некоторых сульфидов (арсенопирита, пирита, халькопирита, пирротина и сфалерита). Аналитические исследования серы сульфидов проводились в лаборатории стабильных изотопов на изотопном масс-спектрометре MAT-253 (Thermo Scientific) в режиме непрерывного потока гелия (ЦКП ДВГИ ДВО РАН). Изотопный состав осмия сульфидов определялся в центре изотопных исследований (ВСЕГЕИ) на твердофазном мультиколлекторном масс-спектрометре TritonTI (Thermo Scientific) в статическом режиме и отрицательно заряженных ионах.

2. Основной раздел

Рудопроявление Дывок расположено в Верхнеалгоминском рудно-россыпном районе на территории Становой золотоносной провинции [1]. Пространственно, район приурочен к стыку Тыркандинской тектонической зоны и зоны Станового разлома. Вмещающие породы представлены архейскими калишпат-кварцевыми метасоматитами, березитизированными и аргилизированными породами и гранодиорит-порфирами. Оруденение приурочено к штоку раннемеловых гранодиорит-порфиров. На рудопроявлении выделено 6 рудных зон. Они сложены жилами и прожилками кварцевого, кварц-сульфидного, кварц-карбонат-баритового и карбонат-баритового состава.

На рудопроявлении выделено 4 минеральные ассоциации: 1) золото-арсенопирит-пирит-кварцевая; 2) золото-пирит-халькопирит-сфалеритовая; 3) кварц-буланжеритовая; 4) кварц-теллуридная.

Главными рудными минералами являются пирит и арсенопирит. Самородное золото ассоциирует с арсенопиритом, пиритом, халькопиритом и сфалеритом. Форма выделений – аллотриоморфная, реже пористая. Пробность 650 – 750 ‰. Содержит примеси – Ag – 25 %; Fe – 3 %.

Соотношения стабильных изотопов химических элементов используются для суждения об источниках рудного вещества различных месторождений полезных ископаемых. При этом не

всегда результаты поддаются одновариантной интерпретации. Примеры такого рода известны и распространяются на месторождения, образованные в несланцевом и особенно черносланцевом субстрате [2].

Для выяснения источников рудного вещества рудопроявления Дывок был изучен изотопный состав $\delta^{34}S$ (3 анализа) и Os (15) сульфидов.

По данным полученных результатов, изотопный состав серы пирита, пирротина и сфалерита из рудных зон колеблется в диапазоне значений $\delta^{34}S$ (+2,9…+4,5 ‰), свойственные для мантийного источника [3]. Концентрации осмия в сульфидах (халькопирите, пирите и арсенопирите) рудопроявления Дывок варьируют в интервале от 0.026 до 0.147 ppb. Изотопные отношения $^{187}Os/^{188}Os$ – 0,7709±10,6311. Значения отношения $^{187}Os/^{188}Os$ выше типично мантийных [4], но совпадает с коровыми величинами [5].

3. Выводы

Таким образом, проведенные исследования, вероятно, свидетельствуют о смешанной мантийно-коровой природе источника сульфидов.

4. Благодарности

Исследования выполнены по плану НИР ИГАБМ СО РАН, проект №0381-2019-0004 и при поддержке гранта РФФИ №19-35-90051.

5. Литература:

[1] Anisimova G.S., Sokolov E.P. and Kardashevskaia V.N. Gold-rare metal (Au-Mo-Bi-Te) mineralization of the Upper Algominsk gold deposit zone (Southern Yakutia) // Otechestvennaya geologia, 2017, no. 5, pp. 12-22 (in Russian)

[2] Vagina E.A. Sulfur isotopic composition of sulfides of ores of the Chertovo Koryto gold deposit (Patomskoe Upland) // Vestnik of the Tomsk University, 2011, No. 353. P.195-198(in Russian)

[3] Ohmoto H. Stable isotope geochemistry of ore deposits // Rev. Mineral, 1986, vol. 16, pp. 491-560.

[4] Meisel T., Walker R.J. and Morgan J.W. The osmium isotopic composition of the Earth's primitive upper mantle // Nature, 1996, vol. 383, pp. 517-520.

[5] Esser B.K., Turekian K.K. The osmium isotopic composition of the continental crust // Geochimica and cosmochimica acta, 1993, vol. 57, no. 13, pp. 3093-3104.

УДК 550.814(202):553.24.065:553.411(571.56)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОРЕОЛОВ ОКОЛОРУДНЫХ ГИДРОТЕРМАЛЬНО-ИЗМЕНЕННЫХ ПОРОД ПО МАТЕРИАЛАМ ОБРАБОТКИ КОСМИЧЕСКИХ ГИПЕРСПЕКТРАЛЬНЫХ ДАННЫХ (НА ПРИМЕРЕ ЛОМАМСКОЙ ПЛОЩАДИ), (РЕСПУБЛИКА САХА (ЯКУТИЯ))

Александр Кирсанов, Константин Липияйнен, Михаил Смирнов, Георгий Кирсанов
Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского, Средний пр., 74, г. Санкт-Петербург, 199106, Россия

DETERMINAITION OF HALOS OF HYDROTERMAL METASOMATIC ALTERED ROCKS, BASED ON HYPERSPECTRAL SATELLITE DATA PROCESSING IN THE LOMAMSKAYA AREA (SAHA (YAKUTIA) REPUBLIC)

Aleksandr Kirsanov, Konstantin Lipiiainen, Michail Smirnov, Georgy Kirsanov
A.P. Karpinsky Russian Geological Research Institute, 74 Sredny Ave., Saint-Petersburg, 199106, Russia

Annotation**.** The application of the developed technology allows at the preliminary stage of prospecting to determine the areas of localization of mineralization. Comparison of the results of processing and analysis of space hyperspectral data and ground-based geochemical surveys shows that spectrometric halos of hydrothermal-metasomatic alterations coincide in most areas with increased and high values of the element contents of the primary geochemical dispersion halos of gold and silver. Complex spectroscopic halos of near-ore hydrothermal-metasomatic alterations were identified rocks accompanying noble metal mineralization for the Bilibinskaya and Ekhundinskaya areas.

1. Введение

Необходимость повышения прогнозной эффективности работ по ГДП-200, остро ставит задачу выделения локальных перспективных площадей на обнаружение месторождений, в частности, золотого оруденения, что и явилось целью работы. В последние годы за рубежом возросла возможность использования спутниковых гиперспектральных данных при прогнозировании и поисках полезных ископаемых [1].

По заданию Роснедра, в центре дистанционных методов природоресурсных исследований ФГБУ «ВСЕГЕИ», разработана компьютерная технология, включающая обработку данных, их спектральный анализ и диагностику, по индивидуальным спектральным параметрам, минералов и минеральных ассоциаций. Это позволяет фиксировать вероятностное распределение околорудных гидротермально-метасоматических изменений пород, т.е. еще на предварительном этапе поисковых работ определять участки локализации оруденения [2].

2. Геология района

В геологии Ломамского района определяющую роль имеют сложнодислоцированные архейские породы, перекрытые карбонатными отложениями венда-нижнего кембрия и терригенными породами юры. Магматические образования мезозойского возраста представлены интрузиями монцонит-сиенитовой, лейцит-щелочносиенитовой и монцонит-гранодиоритовой формаций. К узлам магматической деятельности пространственно приурочены проявления золоторудной минерализации (более 50 рудопроявлений и пунктов минерализации). Оруденение локализовано в карбонатных породах венда-нижнего кембрия, в магматических породах мезозоя и, в меньшей степени, в породах архейского фундамента. В магматических и осадочных породах широко проявлены низкотемпературные гидротермально-метасоматические образования. В мезозойских интрузивных породах развиты аргиллизиты, березиты и пропилиты, в карбонатных отмечается скарнирование, березитизация и гумбеитизация; юрские терригенные отложения также гумбеитизированы.

Рудные тела представлены жилами, залежами и протяженными крутопадающими минерализованными зонами. Состав руд в карбонатных породах, преимущественно, пирит-кварцевый, кварц-сульфидно-карбонатный, кроме пирита часто встречаются магнетит, псевдоморфозы гематита по пириту, халькопирит, галенит, сфалерит, пирротин, арсенопирит. Преобладают окисленные кварц-сульфидные руды, превращенные в массивные лимонит-кварц-анкеритовые руды и шляпы.

3. Определение ореолов околорудных изменений по обработкам космических гиперспектральных данных

Для Ломамского района создана гиперспектральная дистанционная основа (ГДО) по космическим данным ASTER и проведен спектральный анализ, позволяющие определять вероятностное распределение минералов-индикаторов рудных тел и околорудных изменений с целью выявления участков, перспективных для локализации оруденения. Минералами-индикаторами оруденения и сопутствующих гидротермально-метасоматических образований являются: кварц, щелочные полевые шпаты (альбит, адуляр), серицит, каолинит, карбонаты (доломит, анкерит), эпидот, хлорит, актинолит; рудные: окислы и гидроокислы железа (гематит, лимонит), сульфиды (пирит, арсенопирит, галенит, сфалерит) и соединения меди (халькопирит, халькозин, ковеллин, малахит). Индикаторные минералы можно формально объединить в ассоциации, соответствующие определенным околорудным гидротермалитам - метасоматитам: ассоциация *кварц + серицит +/- карбонат (анкерит, доломит, кальцит), пирит, гематит, (+/- хлорит)* соответствует березитам; ассоциация *кварц + щел.полевой шпат (адуляр, альбит) + серицит +/- карбонат, гематит (и гидроокислы железа)* +/- *пирит, хлорит* соответствует гумбеитам; присутствие ассоциации *карбоната, эпидота, хлорита, серицита +/- амфибол (актинолит) и кварц* указывает на процесс пропилитизации; присутствие *каолинита и гидросерицита* указывают на аргиллизацию. В результате были получены участки локализации фигуративных точек индикаторных минералов в различных сочетаниях (минеральные ассоциации) гидротермально-метасоматических изменений, сопровождающих благороднометальное оруденение: аргиллизации, березитизации, пропилитизаци и гумбеитизации, которые были преобразованыпреобразованы (путем низкочастотной фильтрации - «размытие» по Гауссу с заданным радиусом) в спектрометрические ореолы.

Геологические работы в Ломамском золоторудном районе выявили в его пределах Билибинскую и Эхюндинсую перспективные площади с потенциальными рудными узлами [3]. Сопоставление результатов анализа ГДО и геохимических изысканий показывает, что спектрометрические ореолы гидротермально-метасоматических изменений (Рисунок 1 В) совпадают на большинстве участков с повышенными и высокими значениями интенсивности (*содержаний элементов*) первичных геохимических ореолов рассеяния золота и серебра (Рисунок1 А, Б). К ним же приурочены скопления фигуративных точек окислов и гидроокислов железа, пирита и арсенопирита - минералов из состава рудных тел с благороднометальным оруденением (Рисунок 1 В).

Дальнейший анализ обработок ГДО, позволяющих выявить вероятностное распределение спектрометрических ореолов околорудных изменений пород на перспективных площадях, и сравнение результатов дистанционных исследований наземных работ, показывает хорошую сопоставимость прогнозных построений, полученных этими методами. Были выявлены комплексные спектроскопические ореолы околорудных гидротермально-метасоматических изменений пород, сопровождающих благороднометальное оруденение, для Билибинской (участки Емэк, Высокогорный, Гигантеус, Рудный и Угрюм) (Рисунок 2) и Эхюндинской (участки Бурпала, Водораздельный, Дорожный и Куобах) площадей (Рисунок 3).

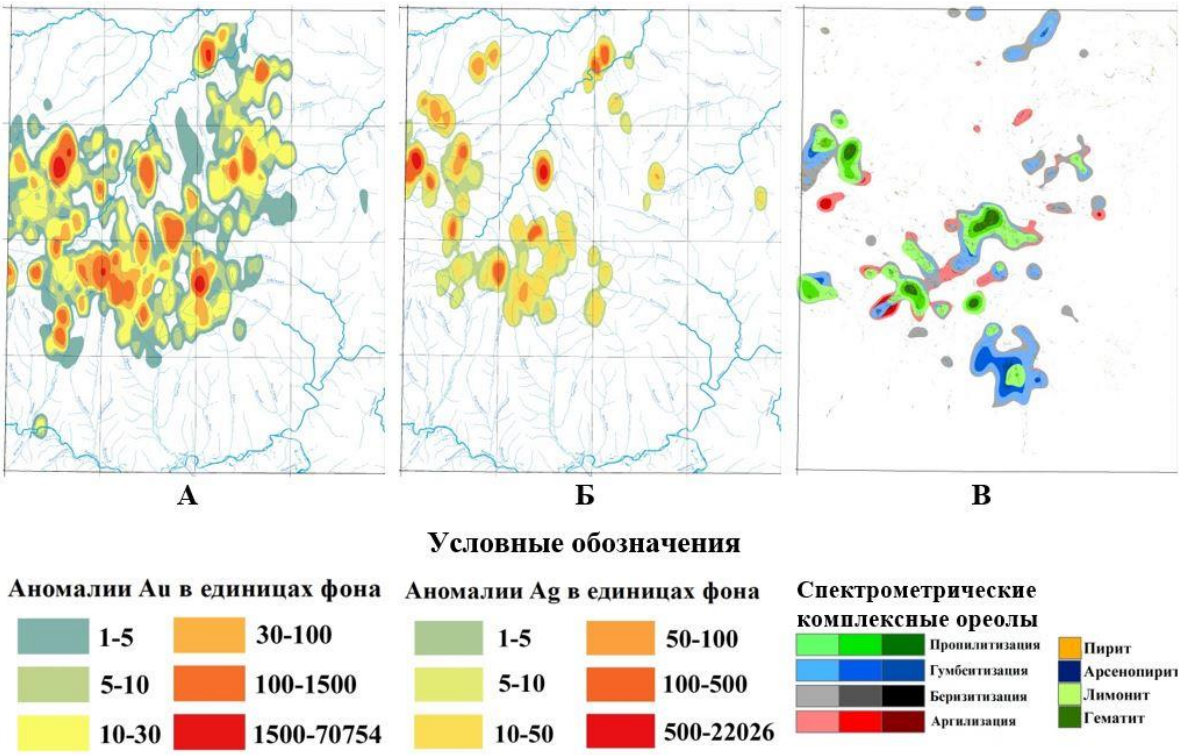


Рисунок 1. Первичные геохимические ореолы рассеяния: Au (А) и Ag (Б). Спектрометрические комплексные ореолы гидротермалитов - метасоматитов с фигуративными точками гематита, лимонита, пирита и арсенопирита (В).

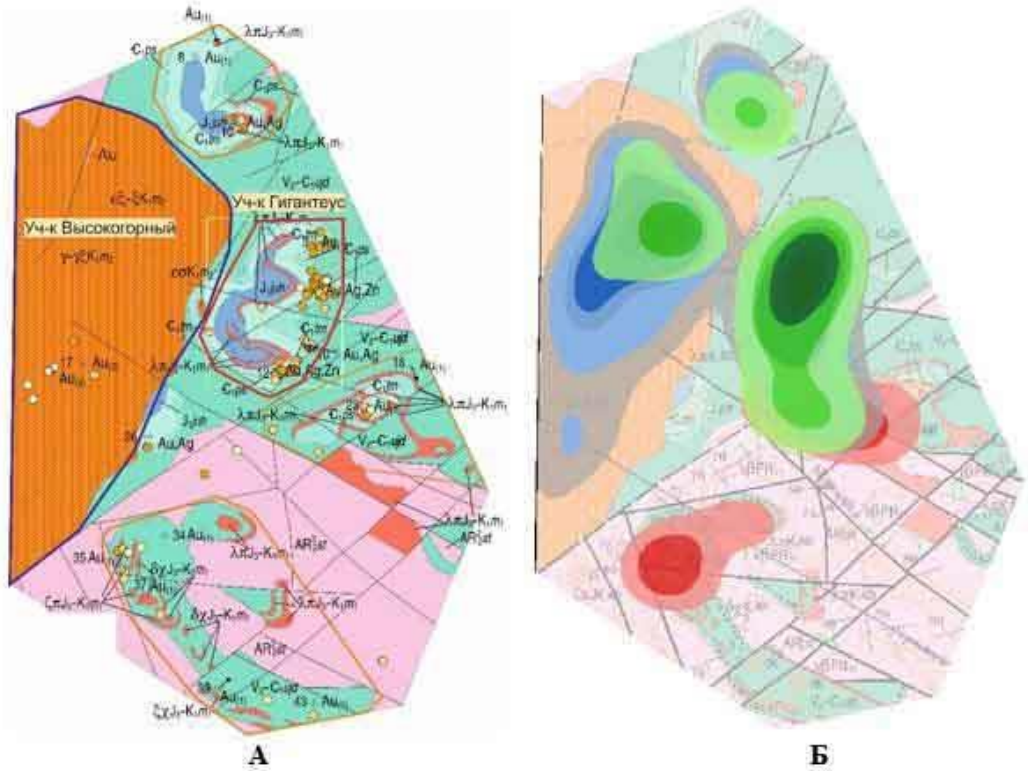


Рисунок 2. Билибинская перспективная площадь с участками 1-й и 2-й очередности (с севера на юг) Емэк, Высокогорный, Гигантеус, Угрюм; [3]. (А); она же с комплексными спектрометрическими ореолами гидротермалитов-метасоматитов (Б).

Рисунок 3. Эхюндинская перспективная площадь с выделенными Бурпалинскпм и Водораздельным ПРУ 1-й очереди. Дорожным. Куобах. Салгын. Эхюнда уч. 2-й очереди [3]. (А): она же с комплексными спектрометрическими ореолами гндротермалнтов-метасоматитов (Б).

Условные обозначения к Рисунок 2 и Рисунок 3:

4. Выводы

Разработанная технология специализированной компьютерной обработки ГДО для решения прогнозно-поисковых задач, включает комплекс методик, составляющих технологическую цепочку проведения работ от получения данных до выделения перспективных площадей. Применение технологии на намеченных к опоискованию площадях Ломамского потенциального золоторудного района дает возможность определять вероятностное положение околорудных гидротермально-метасоматических изменений, основываясь на возможности диагностировать присутствие индикаторных минералов и минеральных ассоциаций по их индивидуальным спектральным параметрам, и таким образом локализовать благоприятные для оруденения участки еще на предварительном этапе поисковых работ. К наиболее эффективным районам, по геолого-ландшафтным условиям, использования данных гиперспектральных съемок для решения задач геологического картографирования и прогнозно-поисковых работ относятся горно-складчатые территории, лишенные растительного покрова, в том числе и арктические районы России.

5. Литература:

[1] Smirnova I. O., Kirsanov A. A., Kamyshnikova N. V. Review of foreign achievements over the past five years in the use of multi-and hyperspectral satellite data and modern methods of their processing in geological research. "Modern problems of Remote Sensing from Space (physical bases, methods and technologies for monitoring the environment, potentially dangerous phenomena and objects)". M. IKI, 2020, vol. 17, no. 1, pp. 9-27.

[2] Kirsanov A.A., Lipiiainen K.L., Smirnov M.Y., Krsanov G.A., Smirnova I.O., Pavlova V.O. Identification of areas perspective for gold mineralizationbased on results of airborne and satellite hyperspectral data processing. // Regional Geology and Metallogeny, 2019, vol.78, pp. 82-90 (in Russian)

[3] State geological map of scale 1: 200 000/2. Sheet O-52-XXVII. Aldan Series. Explanatory note. - Artemyev D. S., Kozlov D.S., Ashihmin D.S., et al. Red. Molchanov A.V..Rosnedra, - S-Pb., VSEGEI. 2020, 144 pp.

УДК 550.81+553.411(571.54)

НЕОТЕКТОНИЧЕСКИЕ ДЕФОРМАЦИИ ПРОДОЛЬНЫХ ПРОФИЛЕЙ ВОДОТОКОВ И ПОИСКИ РОССЫПНОГО ЗОЛОТА

Владимир Коломиец[1,2]
1 Геологический институт СО РАН, ул. Сахьяновой, 6а, г. Улан-Удэ, 670047, Россия
2 Бурятский государственный университет им. Доржи Банзарова, ул. Смолина, 24а, г. Улан-Удэ 670000, Россия

NEOTECTONIC DEFORMATIONS OF LONGITUDINAL PROFILES OF WATERCOURSES AND PROSPECTING FOR PLACER GOLD

Vladimir Kolomiets[1,2]
1 Geological Institute SB RAS, 6a Sakh'yanova St., Ulan-Ude, 670047, Russia
2 Dorzhi Banzarov Buryat State University, 24a Smolin St., Ulan-Ude, 670000, Russia

Annotation. Geomorphological studies carried out in one of the areas of the West Transbaikalia of placer gold revealed the existence of links between the morphology of the river valleys, in particular the nature of longitudinal profiles of streams of different orders with the results of heavy concentrate shooting. The most significant convergence found for channel flow II-III orders regardless of slope exposure and rock-mineral composition of rocks eroded.

1. Введение

Одной из главных задач, решаемых на основе изучения рельефа, являются поиски россыпей золота. Речные долины любых горных стран, в том числе и Западного Забайкалья, приуроченные к зонам разрывных нарушений, потенциально перспективны для их обнаружения. Вместе с тем, формирование россыпей контролируют региональные и локальные разнознаковые неотектонические движения, которые определяют характер и интенсивность протекания эрозионно-денудационных и аккумулятивных процессов, оказывают прямое влияние на изменение местных базисов эрозии, и как следствие – форму и характер продольного профиля рек.

2. Метод исследований

Эффективным приемом, позволяющим судить об особенностях проявления неотектонических деформаций, является метод, предложенный Ю.А. Мещеряковым [1]. Сущность его заключается в выявлении по крупномасштабным топографическим картам участков речных долин с разными уклонами продольного профиля и их последующей тектонической интерпретации с учетом литологических и экзогенных факторов.

Общий уклон падения днища долины реки или его отдельного отрезка определяется по формуле

(1) $$i_{cp} = H_1\text{-}H_2/L,$$

где H_1 и H_2 – абсолютные отметки истока и устья реки, L – длина реки или ее отрезка. Подобным же образом вычисляются падения продольного профиля на каждом j-отрезке, ограниченном сечениями двух соседних горизонталей, пересекающими русло:

(2) $$i_j = h_1\text{-}h_2/l,$$

где h_1 и h_2 – абсолютные значения верхней и нижней по течению горизонталей, l – длина отрезка между этими горизонталями.

Чтобы исключить орографические условия на распределение уклонов продольного профиля, определяются процентные отклонения в каждом j-отрезке:

(3) $$\Delta i_j = (i_j/i_{cp})\times 100, \%.$$

Вычисленные Δi_j переносятся на профиль, где выделяются аномальные зоны уклона днища реки с преобладанием большего отклонения от среднего (Δi_j >75 %), меньшего отклонения от среднего (Δi_j <30 %) и нормального падения (Δi_j=75-30 %). Эти интервалы, в первую очередь, определяют

направленность и интенсивность протекания новейших движений в период между последней, сартанской ледниковой эпохой (финал плейстоцена – ранний голоцен) и современностью, что, несомненно, имеет практическое значение.

3. Результаты исследований и их обсуждение

Большее отклонение от среднего (Δi_j >75 %) отражает состояние конкретного участка в условиях новейшего поднятия, следовательно, речная долина находится в стадии интенсивной глубинной эрозии, невыработанного продольного профиля с очень бурным (часто – порожисто-водопадным) гидродинамическим кососструйным режимом течения и извилистым валунным строением ложа. Ожидание продуктивной залежи золота в таких условиях маловероятно. Сюда относятся приводораздельные части рек на протяжении первых километров с несформировавшейся поймой и отдельные короткие отрезки (сотни метров) в среднем течении, обусловленные структурно-петрографическими особенностями строения местности.

Если Δi_j=75-30 %, то эти участки являются свидетелями сбалансированного проявления неотектонических движений, выработанного продольного профиля со слаботурбулентным или турбулентным гидродинамическим режимом течения, галечно-валунными руслами и благоприятной обстановкой для накопления россыпного золота. Это – среднее и нижнее течение небольших водотоков и верхнее течение более крупных рек.

Ситуация, когда Δi_j <30 %, характеризует новейшее тектоническое опускание, приближение уклонов реки к предельному профилю равновесия, преобладание процессов аккумуляции, увеличение мощности рыхлых отложений с образованием констративных толщ, переходный тип между турбулентным и ламинарным режимами осаждения обломочного материала. Такие условия дают возможность выявления уже погребенных россыпей, сформировавшихся ранее, когда речной поток находился в обстановке, свойственной второму случаю.

При помощи соответствующих приемов были изучены продольные профили большинства рек Джидинского водосбора (р. Джида – левый приток р. Селенга), в которых находится россыпное золото. Очень хорошая сходимость аналитических данных и результатов шлихового опробования получена для водотоков II-III порядков вне зависимости от их пространственного положения и петрографического состава эродируемых пород (рр. Шара-Бильчир, Барун-Зеринка, Харгана-Бильчир, Хангарул, Нарын, Сайханай, Нарын-Убырь, Каменистый и др.). Для рек IV-V такая связь оказалась менее тесной, особенно в местах слияния однопорядковых или близких таковым потоков с появлением уровня высокой поймы и переходом от V-образного поперечного профиля долины к лотко- или ящикообразному, хотя такие участки все еще находились в зоне благоприятных гидродинамических условий россыпеобразования (рр. Джида, Биту-Джида, Хохюрта, Цакирка).

4. Литература:

[1] Setunskaya, L.E. Slope maps of hydraulic networks // Application of geomorphological methods in structural-geological research. Moscow: Nedra Publishing. 1969, pp. 53-59 (in Russian).

УДК 553.3.051 + 553.62

ПОЗДНЕКАЙНОЗОЙСКИЕ ЭТАПЫ ОСАДКОНАКОПЛЕНИЯ ВО ВПАДИНАХ БАЙКАЛЬСКОЙ РИФТОВОЙ ЗОНЫ И ИХ СВЯЗЬ С ФОРМИРОВАНИЕМ СТРОИТЕЛЬНОГО НЕРУДНОГО СЫРЬЯ

Владимир Коломиец[1,2]
1 Геологический институт СО РАН, ул. Сахьяновой, 6а, г. Улан-Удэ, 670047, Россия
2 Бурятский государственный университет им. Доржи Банзарова, ул. Смолина, 24а, г. Улан-Удэ 670000, Россия

LATE CENOZOIC STAGES OF SEDIMENTATION IN THE DEPRESSIONS OF THE BAIKAL RIFT ZONE AND THEIR RELATIONSHIP WITH THE FORMATION OF NONMETALLIC BUILDING MATERIALS

Vladimir Kolomiets[1,2]
1 Geological Institute SB RAS, 6a Sakh'yanova St., Ulan-Ude, 670047, Russia
2 Dorzhi Banzarov Buryat State University, 24a Smolin St., Ulan-Ude, 670000, Russia

Annotation. The suitability of the Late Cenozoic sediments of rift depressions as building materials is determined on the basis of taking into account lithological, genetic, facies, microfacial and hydrodynamic features, analyzing the patterns of distribution of useful deposits within deposits, manifestations of building materials. The most promising are alluvial and lacustrine-river deposits, which have the greatest areal distribution. They are characterized by consistency of structure, constancy of granulometric and chemical compositions, high thickness of useful deposits, large reserves, estimated in tens and hundreds of millions of cubic meters, favorable hydrogeological conditions, even in areas of permafrost development, general accessibility of the territory. These are the main and priority objects, both in terms of explored and approved, as well as prospected and projected reserves, of any types of nonmetallic raw materials. Sediments of proluvial, glacial, and aeolian genesis play a subordinate role in the structure of the bottoms of rift depressions and are secondary objects.

1. Введение

Постоянная потребность народного хозяйства в строительных материалах обусловила расширение поисковых работ на площадях широкого развития кайнозойских образований. Это вызывает необходимость разработки критериев прогнозирования перспективных площадей и изучения закономерностей их размещения.

Вопросы палеогеографии регионов Прибайкалья и Забайкалья уже неоднократно освещались исследователями [1]. Одной из главных задач предлагаемой работы является попытка оценить влияние неотектонических движений на осадконакопление, увязать их с периодами осадконакопления и показать практическое применение таких построений при поисках строительного сырья.

2. Методы исследований

Многолетние исследования во впадинах Байкальского рифта (Муйская, Верхнеангарская, Баргузинская, Тункинская, Усть-Селенгинская и юго-восточное побережье оз. Байкал) при проведении производственного аэрофотогеологического картирования (АФГК-50) и научно-исследовательских работ, позволили достаточно эффективно разбраковать площади депрессий на разные виды строительных материалов. На аэрофотоснимках (АФС) и космоснимках (КС) изучаемые объекты отражены в разных масштабах, что дает преимущество обзорности, позволяет выявить общие закономерности распространения, уточнить границы разновозрастных образований котловин и разделить их по генетическим типам.

Основой палеогеографических реконструкций является изучение современного рельефа горного обрамления впадин с выделением реликтов поверхностей выравнивания прошлых этапов развития, что позволяет достаточно достоверно восстановить историю формирования впадин в кайнозое. Реликты таких поверхностей прослежены на материалах аэро– и космических съемок (МАКС), а также отмечены непосредственными полевыми наблюдениями. На АФС такие поверхности (уровни) выделяются по горизонтальным, слабонаклонным площадкам (0,25 х 1,5 км), приуроченным к зонам, переходным от горных хребтов к межгорным впадинам в слаборасчлененном низко-среднегорном денудационном рельефе.

Пригодность рыхлых алевритово-песчаных отложений на различные виды строительного сырья определяется литологическими и генетическими особенностями осадков. Для их характеристики и определения пригодности в качестве строительных материалов использовались гранулометрические параметры A_0 (количество алеврочастиц) и M_k (модуль крупности), а также вычисленные графическим способом (по методу Траска) S_0 (коэффициент сортировки), S_k (коэффициент асимметрии), M_d (медианный диаметр). Использование гранулометрических характеристик позволило установить динамику палеопотоков, формирующих отложения, а также среду осадкообразования.

3. Результаты исследований и их обсуждение

Геологическое строение рифтовых впадин Байкальской рифтовой зоны представляется в следующем виде. Выделяются 2 неогеновых (1200-1500 м – миоценовый, 900-1100 м – плиоценовый) и 7 антропогеновых эрозионно-аккумулятивных уровней, которые отождествляются с этапами осадконакопления. Возраст неогеновых отложений этих уровней обосновывается коррелятными образованиями танхойской и аносовской свит опорных разрезов Баргузинской впадины, а также непосредственно отложениями 1500-метрового уровня в Тункинской впадине [2].

Танхойская свита сложена глинами, глинистыми сланцами с линзами и пластами бурого угля. Иногда на контакте пород танхойской свиты с кристаллическими породами отмечается палеогеновая кора выветривания. Мощность свиты достигает 1200 м.

Отложения аносовской свиты, как правило, приурочены к тем же структурам, что и осадки танхойской свиты. Мощность отложений – от первых метров до 400 м и более. В целом для свиты характерно огрубление материала по сравнению с нижележащими миоценовыми отложениями. Характерно обилие гидроокислов железа. Отложения свиты с размывом лежат либо на отложениях танхойской свиты, либо на структурной коре выветривания кристаллических пород, а сверху перекрываются мощной (до 200 м) толщей нижне-среднечетвертичных песков.

Отложения VII плиоцен-нижнечетвертичного уровня, представленные переотложенными продуктами коры выветривания, слагают нижние части разрезов антропогена и занимают самое высокое гипсометрическое положение на террасоувалах. Отмечается механическая дифференциация осадков от валунно-галечно-гравийных разностей в предгорной части впадин, суглинистых, глинистых осадков приподнятых блоков (перемычках) до тонко– и мелкозернистых, алевропесков и алевритов в опущенных участках впадин.

Нижне-среднечетвертичные отложения слагают VI (80-120 м), V (40-80 м) и IV (24-35 м) террасы (террасоувалы). Хотя уровни довольно однозначно выделяются как на АФС, так и по разрезам, отложения их сопоставляются с песками кривоярской свиты Западного Забайкалья. Для отложений VI уровня характерны фациальная изменчивость осадков и залегание с размывом на нижележащих осадках эоплейстоцена. Отложения V уровня представлены мелко-тонкозернистыми горизонтально-слоистыми песками. По данным спорово-пыльцевого анализа, довольно уверенно отбиваются кровля и подошва V террасы. IV эрозионно-аккумулятивный уровень является переходной ступенью в серии отмеченных уровней, слагающие его пески занимают промежуточное положение между аллювиально-озерными и аллювиальными разностями. Отложения уровня чаще прислонены, вложены в нижележащие осадки, а иногда с размывом залегают на отложениях аносовской свиты или красноцветах эоплейстоцена.

Верхнечетвертичными отложениями сформирован комплекс низких аллювиальных террас (I-III) и сопряженные с ними аллювиально-пролювиальные, пролювиально-аллювиальные конусы выноса и предгорные шлейфы. Отложения террас – хорошо сортированные мелко-среднезернистые пески.

Голоценовые отложения распространены в поймах и руслах рек и представлены озерными, озерно-болотными, болотными генотипами, развитыми в опущенных частях впадин.

Приведенный палеогеографический анализ по рифтовым впадинам позволяет стратифицировать отложения и интерпретировать миоцен-плиоценовые уровни как эрозионно-аккумулятивные террасы. Такие палеореконструкции, сделанные по результатам дешифрирования МАКС, позволяют выделить площади распространения неогеновых отложений, а также в какой-то мере определить их положение в разрезе кайнозоя, так как часто они выделены условно из-за отсутствия возрастных данных. Так, образования, залегающие выше линии плиоцен-четвертичного бассейна, являются аналогами аносовской свиты, тогда как отложения эоплейстоцена могут находиться только ниже этой линии.

Практическое применение результатов палеореконструкций дает возможность прогнозировать месторождения строительных материалов.

1. По расположению береговых линий древнего бассейна можно восстановить палеогидросеть, выделить древние погребенные долины, перспективные для поисков россыпных месторождений.

2. Довольно четко фиксируются впадины – сателлиты и инфантильные структуры, зародившиеся в среднем – верхнем плиоцене. Эти консолидированные участки впадин оказываются перспективными на глинистое сырье. Поиски глинистого сырья, связанного с отложениями аносовской свиты и красноцветными образованиями эоплейстоцена возможны ниже линии плиоценового бассейна (900-1100 м). Такие участки приурочены к бортовым частям впадин (в приподнятых блоках) и пространственно связаны с отложениями танхойской свиты.

3. Отложения танхойской свиты перспективны на бурый уголь, пригодный к использованию в качестве топлива в котельных и бытовых печах. Так, в Баргузинской котловине, оптимальные условия для наиболее значительного углеобразования в миоценовый период развития впадины существовали в ее краевых частях, приуроченных к предгорьям Икатского хребта. Угленосная пачка танхойской свиты сохранилась от размыва в опущенных тектонических блоках. Ввиду асимметричности строения днища и фундамента депрессии, северо-западный борт и ее осевая часть не представляют поискового интереса. Потенциальная угленосная площадь выделяется в виде узкой полосы вдоль южного и юго-восточного бортов Баргузинской Котловины, а также открывается возможность обнаружения проявлений бурого угля в небольших впадинах – сателлитах со стороны Икатского хребта.

4. Мощная кора дезинтеграции (от первых м до 100 м и более), распространенная в пределах выделенных контуров неогеновых уровней, позволяет дать отрицательную оценку на поиски здесь месторождений строительного камня. В частности, бесперспективны поиски в пределах плиоцен – нижнечетвертичного уровня (650-850 м); выборочно перспективен на щебень плиоценовый уровень (900-1100 м), и, наконец, отдельные блоки могут быть пригодны в пределах миоценового уровня (1200-1500 м). Выше линии миоценового бассейна при наличии соответствующих геологических образований возможно обнаружение строительного камня.

5. Песчаные отложения рифтовых впадин представлены семью разновозрастными террасовыми уровнями. Анализ отложений на пригодность в качестве строительных материалов позволяет наметить определенные закономерности в их размещении.

Пески VII эрозионно-аккумулятивного уровня практически не пригодны на строительные материалы, VI-V – перспективны для изготовления силикатного кирпича и строительных растворов, IV – применимы для изготовления строительных растворов и в качестве мелкого заполнителя бетонов. Пески комплекса низких террас (I-III-я), как правило, пригодны почти на все виды строительного сырья. Нередко пески одной и той же террасы, находящиеся в разной структурной позиции, отличаются по пригодности. Например, песчаные отложения комплекса высоких террас в пределах поднятых блоков оказываются более отмытыми и сортированными.

Сопряженные с верхнеплейстоценовыми террасами конусы выноса водотоков третьего порядка (особенно их периферийные части) можно рекомендовать в качестве песчано-гравийных смесей. Валунные отложения водотоков третьего – второго порядков после дробления могут использоваться для получения бытового и строительного камня. Биогенные, лимнобиогенные генотипы контролируют размещение торфа, сапропелей, используемых в качестве естественных органических удобрений.

4. Выводы

Предлагаемый палеогеографический анализ на основе аэрометодов показал высокую эффективность при поисках строительных материалов в пределах впадин Байкальской рифтовой зоны. Поисковые работы, проведенные на отдельных участках, подтвердили выявленные закономерности.

5. Литература:

[1] Bazarov, D.-D.B. Cenozoic of the Cis-Baikal and Western Transbaikal. Novosibirsk: Nauka Publishing. 1986, 184 pp. (in Russian)

[2] Imetkhenov, A.B. Late Cenozoic deposits of the coast of Lake Baikal. Novosibirsk: Nauka Publishing. 1987, 150 pp. (in Russian)

[3] Rezanov, I.N. Cenozoic sediments and morphostructures of the Eastern Pribaikal. Novosibirsk: Nauka Publishing, Siberian Branch. 1988, 128 pp. (in Russian)

[4] Kolomiets, V.L. Sedimentogenesis of Pleistocene aquatic complex and conditions for the formation of non-metallic raw material of the dry bottom depressions of the Baikal rift zone. Abstract of cand. geol.-miner. sci. syn. diss.. Irkutsk. 2010, 18 pp. (in Russian).

[5] Medvedev, M.E. New data on the age of the Khamar-Daban basalts // Reports of the USSR Academy of Sciences. 1968. vol.178. no. 6. pp. 1378-1381. (in Russian).

УДК 553.411

ТИПОМОРФНЫЕ ОСОБЕННОСТИ САМОРОДНОГО ЗОЛОТА СПОКОЙНИНСКОГО УЗЛА (АЛДАНО-СТАНОВОЙ ЩИТ)

Лариса Кондратьева[1], Галина Анисимова[1], Вероника Кардашевская[1],
Евгений Соколов[2], Егор Халгаев[1]
1 Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, пр. Ленина, 39, г. Якутск, 677000, Россия
2 АО «Якутскгеология», ул. Кальвица, 24, г. Якутск, 677009, Россия

TYPOMORPHIC FEATURES OF NATIVE GOLD OF THE SPOKOYNINSKY NODE (ALDAN-STANOVOY SHIELD)

Larisa Kondratieva[1], Galina Anisimova[1], Veronika Kardashevskaya[1],
Evgeny Sokolov[2] and Egor Khalgaev[1]
1 Diamond and Precious Metal Geology Institute SB RAS, 39 Lenin Ave., Yakutsk, 677000, Russia
2 JSC "Yakutskgeologiya", 24 Kalvitsa St., Yakutsk, 677009, Russia

Annotation. The typomorphic features of native gold from two perspective ore fields of the Spokoininsky ore cluster (Aldan-Stanovoy shield) have been studied. A large occurrence of idiomorphic gold in the Mayskiy ore field was revealed, indicating its formation under conditions of open growth, possibly in micronests among druse-like quartz or in breccias. At the Spokoinyi ore field, gold of irregular morphology was more often observed: lumpy, cementitious and lamellar, formed in micropores and microcracks of breccia metasomatites and berezites.

The decrease fineness of native gold in the Spokoinyi ore field relative to the Mayskiy field is consistent with the sequence and temperatures of the formation of associated mineral parageneses from mesothermal gold-rare metal to epithermal Ag-Te.

The typomorphic impurities of Fe, Cu, Zn and Bi in native gold reflect the geochemistry of the existing mineral associations of the ore field – pyrite-quartz, polymetallic-quartz, and gold-rare metal. The increased Bi impurity (up to 0,2 %) highlights the close relationship of the latter association with native gold.

The established zonal heterogeneity in individual gold grains of the Spokoinyi ore field with fluctuations of probity up to 300 ‰ is evidence of its formation in several stages under changing physical and chemical parameters of the environment.

The associated minerals (Au, Ag, and Bi tellurides), the composition of microinclusions (hessite, cervelleite, galena, and matildite), and the placement of native gold in tellurates and goethite, often with an impurity of Te, confirm a large role in its formation of late telluride associations.

1. Введение

Спокойнинский рудный узел расположен в верховьях правого притока р. Тимптона – р. Улахан-Тараканда и включает ряд рудных полей, наиболее перспективными среди которых являются Спокойный и Майский. Оруденение связано с метасоматитами березитовой и аргиллизитовой формаций. Текстурно-структурные и минералого-геохимические особенности руд приведены ранее [1] и смотрите тезисы Анисимовой и др. в этом сборнике [2].

В пределах Спокойнинского рудного узла изучены типоморфные особенности (гранулометрия, морфология, химический состав и микровключения) самородного золота в первичных рудах и шлихах. Исследования проводились с помощью оптических методов и на сканирующем электронном микроскопе JEOL JSM-6480LV с использованием энергетического дисперсионного спектрометра Energy 350 of Oxford Instruments.

2. Типоморфные особенности самородного золота первичных руд

При минераграфических исследованиях самородное золото встречено в аргиллизированных кварц-полевошпатовых брекчиях, несущих жильно-прожилковую минерализацию друзовидного кварца. Форма выделений самородного золота неправильная, округло-вытянутая, прожилковидная, реже изометричная (Рисунок 1 а-в). Размеры индивидов не превышают 0,1 мм. Самородное золото наблюдалось в пирите, гетите и жильных минералах. Основной примесью является Ag, отмечаются единичные находки медистого золота (Cu – 6,37-30,04 %).

На площади Спокойного рудного поля самородное золото зафиксировано в ассоциации с акантитом, гесситом и галенитом. Пробность изменяется от 710 до 883 ‰, преобладает относительно низкопробное золото. В Майском поле самородное золото ассоциирует с теллуридами Au, Ag и Bi – петцитом, гесситом, теллуровисмутитом, а также самородным висмутом, матильдитом и волынскитом. Колебания пробности составляют 617-999 ‰, при этом доминирует золото средней пробы.

3. Типоморфные особенности шлихового золота

Гранулометрия. Преобладает золото весьма мелкого класса фракции от -0,1 до 0,25 мм, реже встречается золото фракции 0,25-0,5 мм. Выявлен один мелкий самородок размером 5,7 мм и весом 0,1849 гр. Сравнение самородного золота участков Майский и Спокойный по гранулометрии не выявило принципиальных отличий.

Морфология. Рудное золото разделяется на два главных морфологических типа – идиоморфное и неправильное. Идиоморфное золото представлено отдельными кристаллами, либо их сростками. Кристаллы образуют изометричные и кристалломорфные зерна с формами близкими к октаэдру и комбинации куба и октаэдра, уплощенным призматическим, вытянутым игольчатым, дендрито- и коралловидным индивидам (Рисунок 1 г, д). Также часто встречаются агрегаты сростки зерен с отдельными развитыми кристаллическими гранями, сочетающихся с золотом неправильной морфологии. На гранях кристаллов наблюдается штриховка и ступени роста, ребра в основном сглаженные. Форма зерен неправильного типа в основном комковатая, чешуйчатая, крючковатая, пластинчатая и проволочковидная (Рисунок 1 е). Заметна большая встречаемость идиоморфного золота на участке Майский, а золото неправильной морфологии комковидное и чешуйчатое чаще наблюдалось на участке Спокойный.

Химический состав. Анализ данных по химическому составу самородного золота рудных полей при сопоставимом диапазоне колебаний пробности (Спокойный – 673-993 ‰, Майский – 699-965 ‰), позволил выявить существенные различия по лигатуре. Распределение значений по участку Спокойный выглядит следующим образом: 600-700 ‰ – 5,66 %, 701-800 ‰ – 58,49 %, 801-900 ‰ – 30,19 %, 901-950 ‰ – 1,89 % и 951-1000 ‰ – 3,77 %. Таким образом, основная масса золота (около 90 %) характеризуется пробностью от 700 до 900 ‰ со значительно более высокой частотой встречаемости относительно низкопробных золотин (701-800 ‰). Самородное золото Майского участка характеризуется преобладанием золотин средней (800-900 ‰) пробы, на долю которого приходится 48,38 %. Относительно низкопробные (700-800 ‰) и высокопробные золотины (900-950 ‰) соответственно составляют 22,58 % и 20,97 %, а низкопробные (<700 ‰) и весьма высокопробные золотины – 3,22 % и 4,85 %.

Элементы-примеси в золоте. Типоморфные элементы-примеси в самородном золоте обоих участков представлены Cu, Fe, Zn и Bi. При этом наиболее высокое содержание (до 0,2 %) в золоте участка Спокойный показывают Cu, Fe и Bi. Цинк, хоть и встречается повсеместно, концентрация его не превышает сотых долей %. В самородном золоте участка Майский из элементов-примесей значимое содержание (до 0,2 %) в золоте показывает Bi. Концентрация Cu, Fe и Zn, несмотря на высокую частоту встречаемости (особенно Cu) составляет лишь сотые доли %.

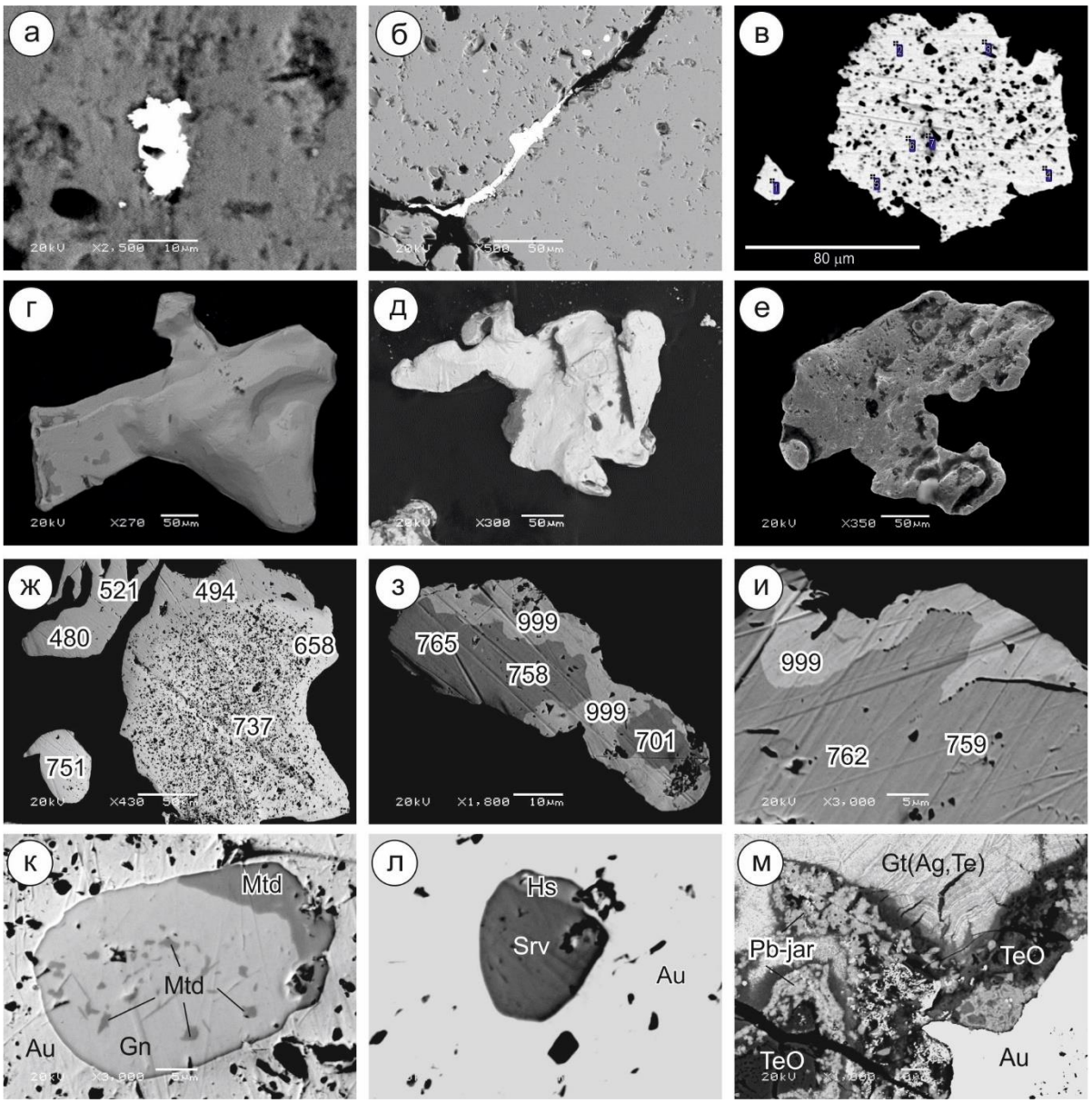


Рисунок 1. Морфология, неоднородность, микровключения и взаимоотношение золота с другими минералами: а-в – формы самородного золота первичных руд: а – неправильная, б – прожилковая в пирите, в – идиоморфная; г-е – морфология шлихового золота: г – сростки кристаллов призматической и октаэдрической форм, д – дендритовидное, е – пластинчатое; ж-и – неоднородное золото (цифрами показана пробность); к, л – микровключения рудных минералов: к- галенита (Gn) с фазами и каймой матильдита (Mtd), л – сервеллеита (Srv) с каймой гессита (Hs); м – взаимоотношения самородного золота с теллуратами (TeO), плюмбоярозитом (Pb-jar) и гетитом, обогащенным Ag и Te (Gt(Ag,Te))

Неоднородность состава. Неоднородное золото, резко отличающееся по цвету от ярко желтого до бледного белесого цвета, было выявлено в шлиховой пробе участка Спокойный. По морфологии золото чаще листоватое, чешуйчатое, в центральной части пористого строения, по краю массивное. Предельные колебания пробности в шлихе, в целом составляют 480-999 ‰. Подавляющее количество самородного золота имеет пробность 750-780 ‰ (среднее значение 778 ‰). Примечательным является полное отсутствие золота средней и высокой пробности в интервале 791-995 ‰. В отдельных зернах выявлено два типа неоднородного золота зонального строения. Встречаются золотины, в которых пробность варьирует от электрума 480-520 ‰ по краю зерна до относительно низкопробного 737-775 ‰ в центральных частях (Рисунок 1 ж).

Чаще встречается другой тип неоднородного золота – низкопробное золото от 668 до 790 ‰ с оторочкой или фрагментами каймы беспримесного самородного золота (Рисунок 1 з-и).

Микровключения минералов. В самородном золоте установлены округло-овальные микровключения рудных минералов: галенита, гессита (Ag_2Te), матильдита ($BiAgS_2$) и сервеллеита (Ag_4TeS). Минералы наблюдались как в самостоятельных зернах, так и в тесном срастании галенита с матильдитом и гессита с сервеллеитом (Рисунок 1 к, л). Выявлены также неуточненные минеральные фазы, по химическому составу близкие к сервеллеиту, содержащие примесь Cu (5,15-5,92 %). В сростках с самородным золотом встречаются гидроксиды железа по пириту, минералу-хозяину, что постоянно наблюдалось в аншлифах. Кроме этого, самородное золото размещено в гипергенных минералах – теллуратах, плюмбоярозите и гетите, нередко с примесью Te, либо с ритмично-зональными нитевидными микрослойками, обогащенными Ag и Te (Рисунок 1 м).

4. Выводы

1. Выявлена большая встречаемость идиоморфного золота на участке Майский, свидетельствующего об его формировании в условиях открытого роста, возможно в микрогнездах среди друзовидного кварца или в брекчиях. На участке Спокойный чаще наблюдалось золото неправильной морфологии комковидное, цементационное и пластинчатое, образующееся в микропорах и микротрещинах брекчиевых метасоматитов и березитов.
2. Понижение пробности самородного золота в Спокойном рудном поле относительно Майского согласуется с последовательностью и температурами образования ассоциирующих минеральных парагенезисов от мезотермального золото-редкометального к эпитермальному Ag-Te.
3. Типоморфные элементы-примеси Fe, Cu, Zn, и Bi в самородном золоте отражают геохимию существующих минеральных ассоциаций рудного поля – пирит-кварцевой, полиметаллически-кварцевой и золото-редкометалльной. Повышенная примесь Bi (до 0,2 %) подчеркивает тесную взаимосвязь последней ассоциации с самородным золотом.
4. Установленная зональная неоднородность в отдельных зернах золота Спокойного рудного поля с колебаниями пробности до 300 ‰, является свидетельством его формирования в несколько этапов при меняющихся физико-химических параметрах среды. Отсутствие при этом высокопробного золота (800-950 ‰), по-видимому, объясняется тем, что в данном случае образование золота связано с поздним Ag-Te парагенезисом, а образование кайм беспримесного золота происходит при выщелачивании Ag в результате пострудных гипергенных процессов.
5. Ассоциирующие минералы (теллуриды Au, Ag и Bi), состав микровключений (гессит, сервеллеит, галенит и матильдит), а также размещение самородного золота в теллуратах и гетите, нередко с примесью Te, подтверждают большую роль в его формировании поздних теллуридных ассоциаций.

5. Благодарности

Исследования выполнены по плану НИР ИГАБМ СО РАН, проект № 0381-2019-00045 и частично при поддержке РФФИ (проект №18-45-140018).

6. Литература:

[1] Anisimova G.S., Kondratieva L.A. and Kardashevskaya V.N. The minerial composition of the ores of the Spokoininsky cluster // In the collection: Geology and mineral resources of the North-East of Russia. Yakutsk, 2020, pp. 169-173.
[2] Galina Anisimova, Larisa Kondratieva, Veronika Kardashevskaia and Evgeniy Sokolov Texturial-structurial and mineral-geochemical typing of ore Spokoinsky knot (Aldan-Stanovoy shield) // In the collection: Geology and mineral resources of the North-East of Russia. Yakutsk, 2021.

УДК 552.3:549.2

ГЕОХИМИЯ САМОРОДНОГО ЖЕЛЕЗА

Альбина Копылова
Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, пр. Ленина, 39, г. Якутск, 677000, Россия

GEOCHEMISTRY OF NATIVE IRON

Albina Kopylova
Diamond and Precious Metal Geology Institute SB RAS, 39 Lenin Ave., Yakutsk, 677000, Russia

Annotation. Natural reduced iron incorporates many elements, thus enabling the formation of solid solutions in liquid and solid metal together with it. Nickel and cobalt are dissolved under a wide range in the metal. Geochemical study of native iron revealed high concentrations of Au and PGE. In addition to noble metals, elements with distinct siderophile properties also accumulate in the metallic liquid of basites. The trend of a direct correlation between the nickel content and these elements remains. The Cu and Ag solubility in iron is low, therefore these elements form an independent phase in the form of microscopic emulsion precipitation. The presence of lithophylic elements in the native iron composition is probably associated with melt inclusions.

1. Введение

Значительные проявления самородного железа в земных условиях – достаточно редкое явление. В России они известны на севере Красноярского края в трапповых интрузивах Джалтульский и Хунктукунский [1,2]. Интерес к крупным обособлениям железа вновь возник в связи с обнаружением его нового месторождения в Якутии в Айхальском силле, перекрывающем кимберлитовую трубку «Заря» [3]. В данном сообщении приводятся результаты исследования вещественного состава самородного железа и ассоциирующих с ним минеральных фаз. Химический состав породообразующих минералов и самородных металлических фаз определялся на сканирующем электронном микроскопе JSM-6480LV с энергодисперсионным спектрометром INCA-Energy. Определение широкого спектра элементов-примесей в долеритах и самородном железе проведено методами (ICP-MS) в стандартном режиме (ИМГРЭ) и нейтронно-активационного анализа (ГЕОХИ).

2. Основной раздел

Самородное железо формирует скопления размером от первых мм до желвакообразных эллипсовидных или округлых обособлений обычно 20-50 см в поперечнике. Более крупные глыбы встречаются редко. Доминирующим минералом в желваках является самородное железо. Основной примесный элемент в нем никель. Чаще всего самородная фаза железа представлена ферритом с примесью никеля, не превышающей десятые доли процента. В Джалтульском интрузиве встречены зерна железа с содержанием никеля 5-7 % и более, отвечающие минералам железных метеоритов – камаситу, тэниту γ-(Fe,Ni) и тетратэниту (Ni,Fe). В ассоциации с железом чаще всего встречаются когенит, троилит и расплавные силикатные включения. Когенит (Fe_3C) и троилит (FeS) образуют каплевидные обособления во внутренней части самородного железа или располагаются по периферии железа на границе его с силикатной матрицей. В когените установлена невысокая примесь Ni, Co и Cu, троилит редко содержит примеси других элементов. Кроме минеральных включений в самородном железе установлены округлые включения силикатного расплава, разной степени раскристаллизации. Минералы в них характеризуются высоким содержанием железа. Они представлены кристаллами высокожелезистого авгита (Fs_{31}), ферро-гортонолита (Fa_{78}) и железистой шпинелью герцинитом.

Многие элементы образуют с железом растворы в жидком и твердом состоянии [4]. Никель и кобальт обычно растворяются в Fe-фазе в широких пределах. В металлической жидкости активно

концентрируются сидерофильные элементы, при этом их содержание в металле по сравнению с вмещающей горной породой увеличивается в десятки раз (таблица 1). Степень обогащения железной фазы можно определить, используя отношение средних содержаний элемента в металлической и силикатной части.

Таблица 1

Содержание элементов-примесей в самородном железе.

	Ni	Co	Au	Pt	Pd	As	Sb	Sn	W	Mo
1	1270	457	0,243	0,343	0,392	25,0	2,01	9,36	10,5	6,9
2	160	45	0,004	0,009	0,019	2,0	1,0	1,4	1,0	1,4
3	7,9	10	68,2	38,1	20,6	12,5	2,01	6,24	10,5	4,9

1 – среднее в Fe-фазе, 2 – среднее в базитах, 3 – отношение Fe-фаза/порода; содержание Au и PGE в мг/т, остальные элементы в г/т

Максимальные значения благородных элементов установлены в массивных самородках (г/т): - 7,4 Au, 12,9 Pt, 22,2 Pd, 4,8 Rh, 4,00 Ru, 0,33 Os, 0,30 Ir. В них и самое высокое содержание никеля. Сильная корреляционная связь установлена между содержаниями Ni и Au, Ni и Ge. Для Pt, Pd, Rh, Ru также сохраняется тенденция накопления в обогащенной никелем Fe-фазе. Практически нет зависимости между степенью никеленосности Fe-желваков и содержанием в них Ag, Cu, Ir и Os. Кроме благородных металлов в металлической жидкости базитов активно концентрируются Ga, Ge, As, Sb, Sn, W, Mo, проявляя при этом четко выраженные сидерофильные свойства. Повышенные концентрации в самородном железе установлены для радиоактивных элементов Th (до 32 г/т) и U (до 9 г/т), при этом их содержание в породе не выше 1-2 г/т. Медь и серебро практически не растворимы в α-Fe [4]. Присутствие Cu и Ag в железе в пределах 0,1-0,3% объясняется наличием мельчайших эмульсионных выделений.

3. Выводы

Согласно современным представлениям, появление нульвалентного железа является следствием взаимодействия глубинного восстановительного флюида с эволюционирующим базальтовым расплавом в докамерной обстановке. Восстановительная среда, в которой выделялось железо способствовало значительной концентрации элементов, проявляющих в такой обстановке сидерофильные свойства.

4. Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 18-45-140043 р_а.

5. Литература:

[1] Oleinikov, B.V., Okrugin, A.V., Tomshin and Native Iron Formation in Platform Basic Rocks. Yakutsk. 1985, 188 pp.
[2] Ryabov V.V., Pavlov A.L., Lopatin G.G. Native iron of Siberian traps. Novosibirsk, Nauka, 1985, 168 pp.
[3] Tomshin M.D., Salikhov R.F. and at. Native iron in dolerites of the Aikhal sill (the first find in Yakutia) // Natural resources of the Arctic and Subarctic. 2019, vol. 24, no. 9, pp. 50-63
[4] Diagrams of the state of binary and multicomponent systems based on iron: reference edition. M.: Metallurgy, 1986, 440 pp.

УДК 553.4 (571.56)

НОВЫЙ МИНЕРАЛЬНЫЙ ПАРАГЕНЕЗИС ДИОРИТОВОГО КОМПЛЕКСА FE-ОКСИДНЫХ-CU-AU РУД КИС-КЮЕЛЬСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Алексей Костин
Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, пр. Ленина, 39, г. Якутск, 677000, Россия

A NEW MINERAL ASSEMBLAGE FROM THE DIORITE COMPLEX IN THE FE-OXIDE-CU-AU ORES OF THE KISKUEL DEPOSIT

Aleksey Kostin
Diamond and Precious Metal Geology Institute SB RAS, 39 Lenin Ave., Yakutsk, 677000, Russia

Annotation. This study continues our investigations of the iron-oxide copper-gold deposits in the Western Verkhoyansk region, where recent years efforts of the IGABM SB RAS led to the discovery of a new gold Kiskuel deposit. The deposit is localized in diorites and granodiorites. Xenoliths in the rocks confirming deep mineralization. Ore mineralization in xenoliths is represented by pyrrhotite (main), pyrite, chalcopyrite, and clinosafflorite (Co, Fe, Ni) As_2 in Pt-bearing pyrrhotite. Clinosafflorite is localized at the contact of pyrrhotite and chalcopyrite and at the contact of pyrrhotite and biotite. Chalcopyrite is found in intergrowth with pyrrhotite, were it forms bands and lenses. Parallel to the biotite cleavage, the thinnest layers of chalcopyrite are common. Clinosafflorite is rare and discovered in hydrothermal cobalt-nickel ores of the Bou-Azzer (Morocco), Cobalt (Canada), Glassberg (Germany), Silver Mine (England) and several others. The obtained data suggest deep ore-bearing structure of the Kis-Kuel ore-magmatic cluster with the potential for discovering of a new mineral ores style.

1. Введение

Первые доказательства присутствия руд IOCG типа в Кис-Кюельском рудном узле были получены автором в 2018 году [1]. Установлено, что все рудные тела проявления локализованы непосредственно в контурах Кис-Кюельского интрузива площадью около 2 км^2. Строение интрузива неоднородное. Его южная часть сложена гранодиоритами, северная – диоритами. В гранодиоритах обнаружены линзовидные тела лампрофиров и кварцевых порфиров. В диоритах присутствуют ксенолиты ультраосновных пород (фоидолитов), насыщенных вкрапленностью пирротина и халькопирита. Важнейшей особенностью руд Кис-Кюельского IOCG месторождения является положительная корреляция между Au и Fe_2O_3. Позже были обнаружены закономерные связи железо-оксидных медно-золотых и медно-молибденово-REE руд [2,3]. Сегодня на повестке новая рудная минерализация в ксенолитах, найденных в диоритах.

2. Рудные нодули в диоритах

В борту канавы 9003 (образец 9003-218) в диоритах вблизи контакта с гранодиоритами было обнаружено небольшое нодулярное выделение, насыщенное сульфидами на 10-15 % (Рисунок 1). Нодулярная текстура представлена рудным обособлением овальной формы в виде включения в диорите. Размер нодуля около 1 см в поперечнике. Состоит из сульфидов меди, железа, кобальта и никеля. Для сульфидных нодулей характерно расслоенное строение: донная часть обогащена более тяжелым пирротином, верхняя – халькопиритом. Происхождение нодулей обусловлено ликвацией рудоносного расплава и разделением его на несмешивающиеся фазы – сульфидную и силикатную до начала кристаллизации.

Для изучения его химического состава было выполнено площадное сканирование поверхности на сканирующем электронном микроскопе JSM6480LV с энергетическим спектрометром INCA-Energy (образец 9003-218, химический анализ в %: SiO_2 – 40,46; TiO_2 – 1,48; Al_2O_3 – 22,83; $FeO_{общ}$ – 17,0; MgO – 2,43; CaO – 6,99; Na_2O – 3,34; K_2O – 1,9; Cr_2O_3 – 0,44; Cu – 0,69). Полученный

состав характеризует принадлежность породы к группе ультраосновных. Минеральный состав породы: Mg-биотит, пироксены (авгит, клиноэнстатит и клиноферросилит), плагиоклаз (лабрадор), ильменит. Составы биотита и полевых шпатов, насыщенного сульфидами нодуля и диорита идентичны по составу, это свидетельствуют о том, что с большой долей вероятности сульфидные нодули — это продукт ликвации диоритового расплава.

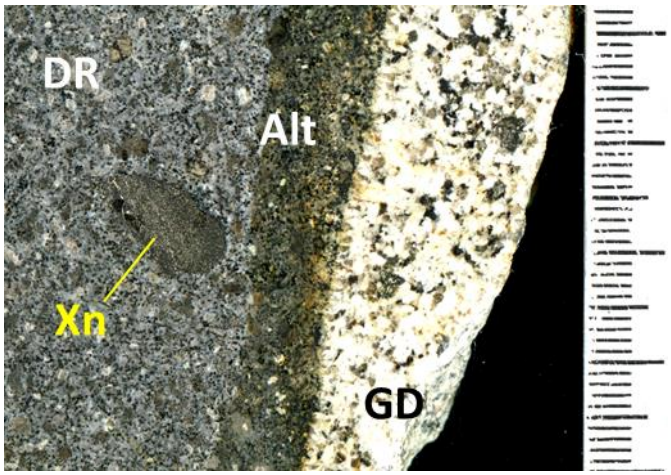


Рисунок 1. Образец 9003-218. Контакт диорита (**DR**) и гранодиорита (**GD**) с каймой измененного диорита (**Alt**). В диорите - ксенолит (**Xn**) шлировидной формы с сульфидами.

Отчетливо видна групировка сульфидов в слойки, что характерно для кристаллизационной дифференциации расплавов.

Рудная минерализация в ксенолите представлена пирротином, пиритом, халькопиритом и клиносаффлоритом (Co, Fe, Ni)As_2 в Pt-содержащем пирротине. Халькопирит находится в срастаниях с пирротином, в котором образует полосы и линзы. Параллельно спайности биотита встречаются тончайшие прослои халькопирита. Пирротин главный рудный минерал. Клиносаффлорит обнаружен в пирротине, на контакте пирротина и халькопирита и на контакте пирротина и биотита. Клиносаффлорит - редкий минерал, арсенид Co из группы лёллингита ($FeAs_2$), впервые был найден и описан на серебряном месторождение Cobalt (Ontario, Canada) [4,5]. Считается, что в составе минерала некоторое количество Fe и Ni может замещать Co. Минерал редкий, встречается в гидротермальных кобальтоникелевых рудах. Ильменит образует тесные срастания с пирротином.

Таблица 1

Представительные микрозондовые анализы клиносаффлорита, масс. %.

Образец	Fe	Co	Ni	As	Сумма
4-1	19,79	5,28	2,46	71,82	99,35
4-2	20,54	5,79	2,18	71,55	100,06
4-3	20,24	5,19	2,64	71,54	99,61
7	18,64	7,63	3,21	70,40	99,88
14	20,02	5,97	2,53	70,86	99,38
15-1	19,25	7,12	2,82	71,60	100,79
15-2	20,55	6,55	2,07	70,68	99,85
17-1	19,54	6,72	2,72	70,92	99,90
17-2	19,53	6,28	2,74	70,90	99,45
17-3	19,72	6,3	2,03	68,92	96,97
17-4	19,13	7,58	2,23	68,77	97,71
17-5	19,58	6,92	2,79	71,22	100,51
25	20,22	6,00	2,43	70,99	99,64

3. Выводы

В результате проведенного исследования получены дополнительные черты Кис-Кюельского Fe-оксидного Cu-Au месторождения, которые позволили прогнозировать Cu–Co–Ni–As–Fe минеральный парагенезис на глубине. В целом, следует ожидать увеличение роли серебра в рудах с глубиной при сохранении высокой золотоносности.

4. Благодарности

Работа выполнена по государственному заданию ИГАБМ СО РАН при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, проект НИР 0381-2019-004.

5. Литература:

[1] Kostin AV. The Kis-Kuel Fe-Cu-Au±(Ag, Mo, Bi) deposit, Eastern Yakutia (Russia)–a link between Iron Oxide Copper-Gold and Intrusion Related Gold systems. Вестник Санкт-Петербургского университета Науки о Земле [Internet]. 2019;64(4):516–29. Available from: https://doi.org/10.21638/spbu07.2019.401

[2] Kostin A. Iron Oxide Cu-Au (IOCG) Mineralizing Systems: The Eastern Yakutia (Russia) Perspective. IOP Conf Ser Earth Environ Sci [Internet]. 2020;609:012005. Available from: http://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/609/1/012005

[3] Kostin A. High REE and Y Concentrations in Mo-Au Ores of the Kis-Kuel IOCG Deposit, East Yakutia (Russia). IOP Conf Ser Earth Environ Sci [Internet]. 2020;609:012006. Available from: http://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/609/1/012006

[4] Radcliffe D, Berry LG. Clinosafflorite; a monoclinic polymorph of safflorite. Can Mineral. 1971;10(5):877–81.

[5] Hazen RM, Hystad G, Golden JJ, Hummer DR, Liu C, Downs RT, et al. Cobalt mineral ecology. Am Mineral [Internet]. 2017 Jan 1;102(1):108–16. Available from: https://doi.org/10.2138/am-2017-5798.

УДК 549.01, 553.41

ГИПЕРГЕННАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ БАЗОВСКОЕ (ВОСТОЧНАЯ ЯКУТИЯ) ПО ДАННЫМ РЕНТГЕНО-ФАЗОВОГО АНАЛИЗА

Максим Кудрин, Надежда Заякина, Валерий Фридовский, Татьяна Васильева
1 Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН,
пр-т Ленина, 39, г. Якутск, 677000, Россия

SUPERGENE MINERALIZATION OF THE BAZOVSKOE GOLD DEPOSIT (EAST YAKUTIA) ACCORDING TO X-RAY PHASE ANALYSIS

Maxim Kudrin, Nadezhda Zayakina, Valery Fridovsky, Tatiana Vasileva
1 Diamond and Precious Metal Geology Institute SB RAS, 39 Lenin Ave., Yakutsk, 677000, Russia

Annotation. Supergenic mineralization of the Bazovskoe orogenic gold deposit, Eastern Yakutia, was studied. Sulfates, arsenates, iron oxides and hydrous ferric oxides, native sulfur, which are mainly associated with the transformation of sulfides, have been identified. The development of the initial stage of oxidation is shown, under the conditions of this oxidation significant enrichment and purification of native gold, and the formation of its supergenic analog are unlikely.

1. Введение

Золото и серебро, находящиеся в сульфидах в изоморфной форме или в виде собственных микро(нано)включений, в условиях зоны окисления весьма мобильны и могут переотлагаться с образованием высокопробного золота и его минералов [1-4]. В 70-е годы для ряда золоторудных месторождений северо-востока Якутии Нестеровым Н.В. [5] впервые была изучена минералогия зоны окисления и отмечено вторичное обогащение золотом. Позднее в зонах окисления месторождений Восточной Якутии были установлены редкие и новые гипергенные минералы [6-8].

Нами в последние годы была изучена минералогия зоны гипергенеза месторождений и рудопроявлений Хангаласского золоторудного узла, расположенного на юго-востоке Ольчан-Нерской металлогенической зоны Яно-Колымского металлогенического пояса [9, 10]. Исследованиями были подтверждены результаты Нестерова Н.В. [5] о широком развитии процессов гипергенеза на месторождении Хангалас. Установлена линейная кора выветривания с образованием оксидов железа, сульфатов, арсенатов и глинистых минералов [9]. На рудопроявлениях Клич и Ожидание формирование суглинисто-алевритистой коры выветривания объяснено, главным образом, за счет физического разрушения кварцевых жил и вмещающих пород.

Данная работа посвящена изучению гипергенной минерализации, определению степени изменения пород и руд в приповерхностных условиях и оценке возможного появления новообразованного золота месторождения Базовское. В расположенном к юго-востоку в сходной геологической обстановке золоторудном месторождении Талалах Анисимовой Г.С. и Поповой С.К. [11] выявлено проявление зоны окисления до глубины 40 м и ассоциация самородного Au и интерметаллидов в зоне гипергенеза с сульфатами, фосфатами и арсенатами.

Орогенное золото-кварцевое месторождение Базовское расположено в пределах Эльгинского рудного узла в северо-западной части Адыча-Тарынской металлогенической зоны Яно-Колымского металлогенического пояса [12]. Вмещающие толщи представлены терригенными породами норийского яруса верхнего триаса. Падение пород на СВ под углами 20-30° осложняется вблизи минерализованных зон дробления складками нескольких генераций [13]. Проявлен дайковый магматизм позднеюрского-мелового возраста. Рудные тела представлены минерализованными зонами дробления (Диагональная, Восточная, Центральная, Средняя и Западная) мощностью до 40 м и протяженностью до 6,5 км, падение их на северо-восток под углами от 40-60º до вертикального, которые образуют сложную систему надвиговых чешуй и

наложенных поздних сдвиговых деформаций [13]. Они сопровождаются несколькими системами межпластовых и секущих кварцевых жил, образующих линейные и пластовые штокверки и их комбинации. Установлено, что формирование золотого оруденения связано с надвиговыми движениями по рудоконтролирующим зонам и межслоевым срывам при позднеюрско-раннемеловых аккреционно-коллизионных процессах на восточной окраине Сибирского кратона [13, 14]. Жильные минералы представлены кварцем, карбонатами (анкерит, кальцит), хлоритом, серицитом, альбитом, биотитом, рудные минералы – самородным золотом, арсенопиритом, пиритом, галенитом, сфалеритом, халькопиритом, сульфосолями [12]. Рудные жилы месторождения формировались на фоне относительно небольшого и монотонного снижения температуры, но при резком снижении давления от 0,75 до 0,25 кбар на глубине от 1 до 2,5 км [14]. Утвержденные запасы по данным АО «ГРК Западная» составляют 11,3 т, прогнозные ресурсы – 182 т [15].

2. Объекты исследования и результаты работ

Пробы для изучения гипергенной минерализации в количестве 40 штук были отобраны из поверхностных горных выработок и керна скважин. Они представляют собой подверженные выветриванию материалы зоны дробления (брекчии), сульфидизированные околорудные метасоматиты (песчаники, алевролиты), окисленные кварцевые жилы и гнездообразные скопления арсенопирита. Изучение минерального состава выполнено в ИГАБМ СО РАН методом рентгенофазового анализа на дифрактометре D2 PHASER, съемка образцов проводилась на Cu Kα излучении, напряжении трубки 30 кВ и силе тока 10 мА в интервале 4,5 – 65˚ (2θ˚), использовали базу данных PDF-2. Препараты готовились из порошковых проб. Для диагностики глинистых минералов дополнительно провели съемки некоторых образцов после прокалки при различных температурах (350-550 °С), а также исходных насыщенных этиленгликолем.

Установлено, что материал изученных проб в основном состоит из гипогенных минералов – кварца, мусковита, альбита и хлорита, из рудных минералов в двух образцах зафиксирован арсенопирит. Если кварц, мусковит (серицит) и альбит фиксируются почти во всех образцах, то хлорит в небольшом количестве фиксируется примерно в трети проб. Редко устанавливаются карбонаты – кальцит и доломит. Наиболее распространенными гипергенными минералами являются скородит, фармакосидерит, гетит и гипс, которые в разном сочетании обнаружены в большинстве исследуемых образцов. Редки находки ярозита, гематита, арсенолита и самородной серы. В пробе Бз-85-15, отобранной из канавы 814Б, вскрывающей лестничные жилы с гнездами арсенопирита в песчаниках, в ассоциации со скородитом и фармакосидеритом зафиксирован редкий арсенат из группы антурита – охуэлаит $ZnFe_2(AsO_4)_2(OH)_2(H_2O)_4$. Выделить монофракцию минерала и провести его детальное исследование не удалось, поскольку обнаруженные арсенаты дисперсны и находятся в тесном срастании. В отличие от Хангаласского рудного узла [7-10] минеральный состав зоны гипергенеза месторождения Базовское беден: из арсенатов встречены только скородит, фармакосидерит и охуэлаит, из сульфатов – гипс, ярозит, гидроокислы железа представлены гетитом. Кроме гипогенных минералов (кварц, мусковит (серицит), кальцит, доломит, альбит и хлорит), в пробах из керна скважин на глубине 93 м (скв. 2811) в трещине песчаников зафиксированы гипс и скородит. Таким образом, можно говорить о слабом протекании на месторождении Базовское гипергенных преобразований первичных пород и минералов. Это подтверждается отсутствием продуктов изменения силикатов – каолинита и смектита, что является показателем глубины профиля выветривания. Находка арсенолита также указывает на начальный этап развития зоны окисления [16]. В таких условиях значимое обогащение и очищение самородного золота и образование гипергенного золота маловероятно.

3. Выводы

Полученные результаты позволяют говорить о слабой степени гипергенных изменений месторождения Базовское. Хотя фрагментарно процессы окисления зафиксированы до глубины 93 м от поверхности. Установлены минералы начальной стадии окисления. Значимого

обогащения и преобразования первичного золота, и появление его гипергенного аналога ожидать не стоит.

4. Благодарности

Авторы выражают благодарность Смолинову Ю.И. за содействие в проведении работ. *Исследование выполнено при финансовой поддержке по плану НИР ИГАБМ СО РАН и РФФИ в рамках научного проекта № 18-35-00336.*

5. Литература:

[1] Kalinin Yu.A., Kovalev K.R., Naumov E.A., Kirillov M.V. Gold of the weathering crust of the Suzdal deposit (Kazakhstan) // Geology and Geophysics. 2009. Vol. 50. No. 3. P. 241-257 (in Russian).

[2] Mayorova T.P., Ustyugova K.S., Kuryleva K.G., Shevchuk S.S., Filippov V.N., Kozyreva I.V., Nesterenko G.V. Nanosized gold in the hypergenesis zone // Bulletin of the Institute of Geology of the Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. 2012. No. 10. P. 35-39 (in Russian).

[3] Savva N. E., Palyanova G. A., Kolova E. E. Minerals of gold and silver in the zone of secondary sulfide concentration (Krutoye ore occurrence, northeastern Russia) // Bulletin of the North-Eastern Scientific Center of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences. 2010. No. 1. P. 33-45.

[4] Palyanova GA, Savva NE Some sulfides of gold and silver: composition, mineral associations, conditions of formation // Chem. technology. 2007. Vol. 8. No. 9. P. 411-421.

[5] Nesterov N.V. Secondary zoning of gold ore deposits in Yakutia // Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. 1970. Vol. 239. P. 242-247.

[6] Gamyanin G.N., Zhdanov Yu.Ya., Zayakina N.V., Gamyanina V.V., Suknev V.S. Mangazeite, $Al_2(SO_4)(OH)_4 3H_2O$ – a new mineral // Zapiski Rossiyskogo mineralogicheskogo obshchestva. 2006. Vol. 135. No. 4. P. 20-24.

[7] Kudrin M.V., Zayakina N.V., Fridovsky V.Yu., Galenchikova L.T. Hydrous ferric sulfate – Fe(SO4)(OH)·2H2O from the supergene zone of the Khangalas gold deposit, Eastern Yakutia, Russia // Zapiski Rossiyskogo mineralogicheskogo obshchestva. 2020, Ч. CXLIX, № 3, с. 126–141. https://doi.org/10.31857/S0869605520030120.

[8] Zayakina N.V., Kudrin M.V., Fridovsky V.Yu. Unknown sulfate-arsenate-phosphate Al and Fe from the Khangalas deposit (Eastern Yakutia) // In the collection: Geology and mineral resources of the North-East of Russia. Materials of the X All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation April 8-10, 2020 Yakutsk. 2020.S. 210-214 (in Russian).

[9] Kudrin M.V., Zayakina N.V., Vasilyeva T.I. Minerals of the oxidation zone of the Khangalas gold deposit (Eastern Yakutia) // Geology and mineral resources of the North-East of Russia: materials of the VIII All-Russian scientific and practical conference, in 2 volumes - Yakutsk: Ed. house of NEFU, 2018. P. 77-80 (in Russian).

[10] Kudrin M.V., Zayakina N.V., Fridovsky V.Yu., Vasilieva T.I., Polufuntikova L.I. Minerals of the weathering crust of the Khangalassky ore cluster (North-East of Russia). Geology and mineral resources of the North-East of Russia: materials of the VIII All-Russian scientific-practical conference, in 2 volumes. - Yakutsk: Izd. House of NEFU, 2019. P. 53-55 (in Russian).

[11] Anisimova G. S., Popova S. K. New data in mineralogy of hypergenic ore of the Talalakh Au-quartz deposit // X International Conference "New Ideas in Earth Sciences", Moscow, Russian State Geological Prospecting University, April 12-15 , 2011: Reports: In 3 volumes. Vol. 1. RGGRU.– M .: Extra-Print, 2011. P. 100.

[12] Gold deposits of Russia // Ed. M.M. Konstantinov. M.: Akvarel, 2010. 349 p. (in Russian).

[13] Fridovsky V.Yu., Polufuntikova L.I., Goryachev N.A., Kudrin M.V. Ore-controlling thrusts of the Bazovskoye gold deposit (Eastern Yakutia) // Reports of the Academy of Sciences, 2017. V. 474. No. 4.S. 462-464 (in Russian).

[14] Fridovskiy V.Yu., Kryazhev SG, Goryachev NA, Physicochemical conditions for the formation of quartz of the Bazovskoye gold ore deposit (Eastern Yakutia, Russia) // Pacific Geology. 2019.Vol. 38. No. 5.P. 14-24 (in Russian).

[15] http://www.zapadnaya.ru/qa/zapasy_resursy.html.
[16] Yakhontova, L.K. On the participation of the compound of trivalent arsenic in the oxidation zone of iron-cobalt-nickel arsenides. // Proceedings of the Mineralogical Museum, 1964, no. 15, pp. 176–183 (in Russian).

УДК 553.41, 553.078.2

ПОСТРУДНЫЕ ДЕФОРМАЦИИ ХАНГАЛАССКОГО РУДНОГО УЗЛА (ВОСТОЧНАЯ ЯКУТИЯ)

Максим Кудрин, Валерий Фридовский
Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, пр. Ленина, 39, г. Якутск, 677000, Россия

POST-ORE DEFORMATION OF THE KHANGALAS ORE CLUSTER (EAST YAKUTIA)

Maxim Kudrin, Valery Fridovsky
Diamond and Precious Metal Geology Institute SB RAS, 39 Lenin Ave., Yakutsk, 677000, Russia

Annotation. Post-ore deformations of the Khangalas and Nagornoe deposits, Ozhidanie and Dvoinoe occurrences of the Khangalas ore cluster, Eastern Yakutia are described. The wide-spread development of strike-slip faults and folds, which significantly complicated the structure of ore-hosting structures, is shown. On the Dvoinoe occurrence, the limb of the same-name ore-controlling fold is complicated by the third order folds of the NE strike with moderately steep (up to 28°) hinges. Dextral strike-slip faults are identified on the Khangalas deposit. Near-fault axonoclines of the sublatitudinal orientation are recognized on the Ozhidanie occurrence, and post-ore deformations complicated the structure of the early F1 folds with a change in their orientation from NW to WE, on the Nagornoe deposit (b – 85/4).

1. Введение

Исследованиями строения и эволюции деформационных структур установлена многоэтапность тектонического развития Хангалассского рудного узла, связанная с позднеюрскими-меловыми орогенными и посторогенными событиями в Верхояно-Колымской складчатой области [1-3]. Выделено четыре деформационных этапа. Первый этап D1 характеризуется прогрессивными деформациями во взбросо-надвиговом поле напряжения при СВ-ЮЗ ориентировке σ3/σ1. Этот этап начинается развитием сжатых до изоклинальных складок северо-западного простирания, межслоевых срывов, продолжается формированием главных складчатых структур той же ориентировки, протяженных надвигов, будинажа, кливажа. Завершается этап формированием золотоносных минерализованных зон дробления с прожилково-вкрапленной и кварцево-жильной минерализацией. Установлено широкое проявление послерудных деформаций. Структуры левосдвиговых этапов D2 и D3 являются коаксиальными при доминирующем З-В направлении сжатия. С ними связаны близмеридиональные и северо-восточные складки F2-3 с крутыми шарнирами, деформации ранних, в т.ч. рудоконтролирующих структур. В дальнейшем происходили правосдвиговые движения (D4) по СЗ разломам при преобладающем С-Ю направлении сжатия, формировались складки с крутыми шарнирами, деформировались ранние структурные элементы, включая рудные тела.

В данной работе приведены результаты полевых наблюдений 2018 и 2019 годов, проведенных на месторождениях Хангалас и Нагорное, проявлениях Ожидание и Двойное. Применялись современные структурно-кинематические методы исследований [4,5].

2. Объекты исследования и результаты работ

Объекты исследования представлены орогенными месторождениями и проявлениями золота в терригенных углеродсодержащих верхнепермских толщах Хангалассского рудного узла, Верхне-Индигирского сектора Яно-Колымского металлогенического пояса. Их детальное геологическое строение описано в работе [1]. Горные выработки, пройденные недропользователями в последнее время позволили получить новые данные, дополняющие ранее полученные результаты [1-3].

На правобережье руч. Узкий вскрываются главные рудные тела месторождения Хангалас, их простирание здесь различное – от СВ (зона Южная), субширотного (зоны Центральная и Промежуточная) до СЗ (зона Северная) [1-3]. Ранее [1] отмечено погружение рудолокализующей антиклинали Двойная к СЗ под углом 28°. Структуры замка антиклинали с экранирующими оруденение алевролитами изучены в левом борту руч. Узкий (Рисунок 1 А). Здесь на контакте окварцованных песчаников и алевролитов вскрыта межпластовая кварцевая жила мощностью 65-70 см ЮВ падения (V-230/20). Она, вероятно, является продолжением жилы Центральная месторождения Хангалас. Анализ залегания кварцевых жил и прожилков позволил выделить четыре разноориентированные системы (Рисунок 1 А, диаграмма). Система V1 образована пологими согласными с залеганием пород жилами с наиболее выдержанными параметрами. Кварцевые жилы системы V2 согласны простиранию слоистости, но падают в противоположном направлении (СВ) и характеризуются невыдержанной мощностью. Жилы системы V3 также имеют согласное простирание с системой V1 и крутое ЮЗ падение. Система жил V4 близвертикальная согласно плоскости σ3/σ1. На отдельных участках развития всех систем жил и прожилков проявлены штокверки, чаще всего линейные. Вертикальное положение пояса полюсов кварцевых прожилков и жил σ3/σ1 на диаграмме свидетельствует об их образовании во взбросо-надвиговом поле тектонических напряжений (Рисунок 1 А). Сходные результаты получены при анализе залегания кварцевых прожилков на горизонте 938 м штрека 2 месторождения Хангалас (Рисунок 1 Б), где отмечается их тесная пространственная связь с залеганием слоистости S0. Взбросо-надвиговое поле напряжений установлено в рудный этап развития орогенных золоторудных месторождений Базовское и Мало-Тарынское [6,7]. Структуры взбросо-надвивого этапа D1 осложнены поздними правыми сдвигами этапа D4 (Рисунок 1 В) с видимыми амплитудами смещения 10-25 см, на их стенках фиксируются близгоризонтальные борозды скольжения. Со сдвигами связаны приразломные аксоноклинали (b – 150/80) рудопроявления Ожидание (Рисунок 1 Е).

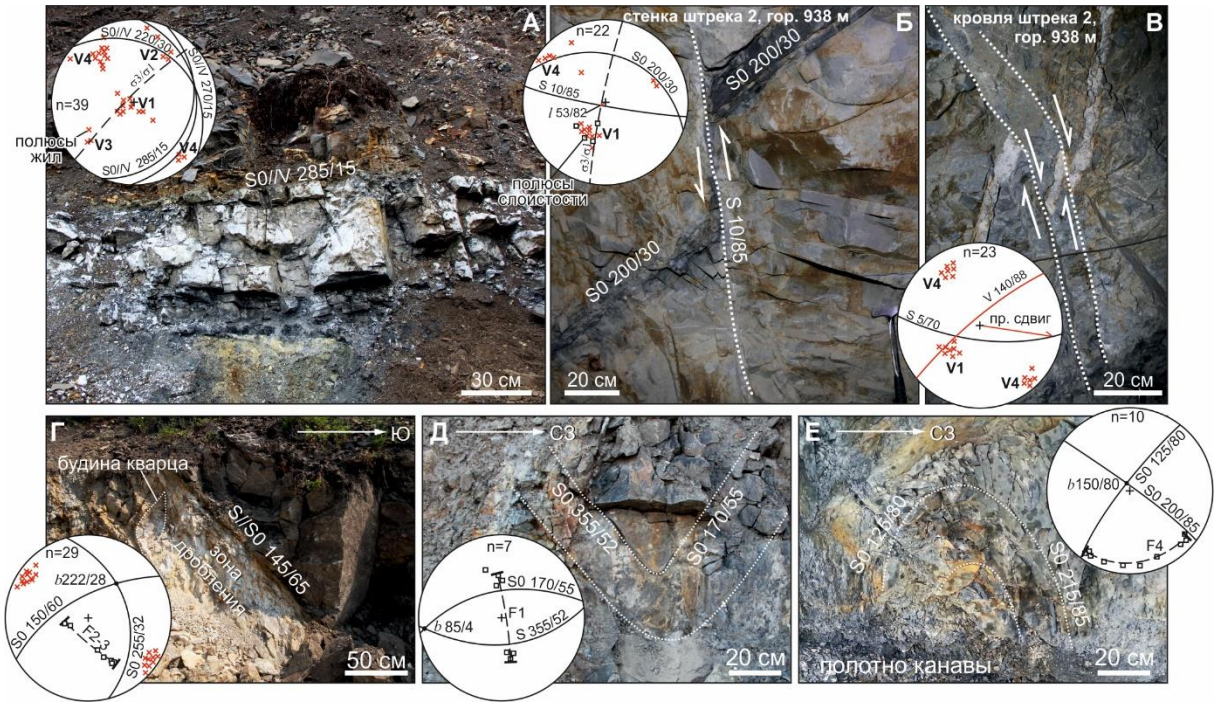


Рисунок 1. Деформационные структуры Хангалласского рудного узла. А-В – месторождение Хангалас: А – согласная жила в замке Двойной антиклинали, левобережье ручья Узкий; Б – взбросы D1 (штрек 2, горизонт 938 м); В – пострудные правые сдвиги D4 (штрек 2, горизонт 938 м); Г – СЗ крыло складки F2-3 и будина кварца в зоне дробления, проявление Двойное; Д – синклинальная складка F1, месторождение Нагорное; Е – приразломная аксоноклиналь F4, рудопроявление Ожидание.

На проявлении Двойное залегание рудных тел поперечное относительно северо-восточного крыла одноименной антиклинали СЗ простирания (Рисунок 1 Г). Рудные тела имеют согласное с плоскостью σ3/σ1 положение, подобно системам жил V4 месторождения Хангалас. Установлено, что крыло антиклинали осложнено левосдвиговыми перемещениями по разломам СЗ простирания с образованием складок СВ простирания с умеренно крутым (до 28°) погружением шарниров.

На месторождении Нагорное помимо ранее описанных СЗ сжатых и изоклинальных складок [1] впервые задокументированы близширотные поперечные складки с пологими шарнирами (b – 85/4) (Рисунок 1 Д).

3. Выводы

В результате проведенных исследований установлено широкое проявление пострудных сдвиговых деформаций, которые значительно осложнили структурный облик Хангаласского рудного узла. Сдвиги развиваются на крыльях ранних складок СЗ простирания и активизируют взбросо-надвиговые разрывные нарушения. Контролируемой сдвигами минерализации не установлено, тогда как на расположенной к юго-западу Адыча-Тарынской металлогенической зоне с левыми сдвигами связано формирование золото-сурьмяной минерализации [7].

4. Благодарности

Авторы выражают благодарность руководству и геологам АО «ВЕДК» за содействие и помощь в проведении полевых исследовательских работ на Хангаласском рудном узле.

Исследование выполнено при финансовой поддержке по плану НИР ИГАБМ СО РАН и РФФИ в рамках научного проекта № 18-35-00336.

5. Литература:

[1] Fridovsky V.Yu., Kudrin M.V., Polufuntikova L.I. Multi-stage deformation of the Khangalas ore cluster (Verkhoyansk-Kolyma folded region, northeast Russia): ore-controlling reverse thrust faults and post-mineral strike-slip faults // Minerals. 2018, vol. 8, no. 7, pp. 270.

[2] Kudrin M.V., Fridovsky V.Yu. Structural conditions for the localization of mineralization of the Khangalas ore cluster (North-East of Yakutia) // Geologicheskie processy v obstanovkah subdukcii, kollizii i skol'zheniya litosfernyh plit: Materialy IV Vserossijskoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem. Vladivostok, 17-23 sentyabrya 2018, pp. 266–269 (in Russian).

[3] Fridovsky V.Yu., Kudrin M.V. Deformation structures of the Khangalas ore cluster // Geology and mineral resources of the North-East of Russia: materials of the All-Russian scientific-practical conference. Yakutsk: Izd. dom SVFU, 2015, pp. 537–540 (in Russian).

[4] Fossen H. Structural geology. Cambridge University Press: New York, USA, 2010, 463 pp. ISBN: 978-0-521-51664-8.

[5] Sherman S.I. and Dneprovsky Yu.I. Stress fields of the Earth’s crust and geological structural methods of their study. Nauka: Novosibirsk, Russia, 1989, 158 pp. (in Russian).

[6] Fridovsky V.Yu., Polufuntikova, L.I., Goryachev N.A., Kudrin M.V. Ore-controlling thrust faults of the Bazovskoye gold deposit (Eastern Yakutia) // Doklady Akademii nauk. 2017, vol. 474, no. 4, pp. 462–464.

[7] Fridovsky V.Yu., Gamyanin G.N., Polufuntikova L.I. The structure, mineralogy, and fluid regime of ore formation in the polygenic Malo-Taryn gold field, northeast Russia // Russian Journal of Pacific Geology. 2015, no. 9(4), pp. 274-286 (in Russian).

[8] Fridovsky V.Y., Gamyanin G.N., Polufuntikova L.I. Gold quartz and antimony mineralization in the Maltan deposit in northeast Russia. Russian Journal of Pacific Geology. 2014, no. 8 (4), pp. 276–287 (in Russian).

УДК 549.283.477

ТИПОМОРФИЗМ САМОРОДНОГО ЗОЛОТА РОССЫПНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ВЕРХНЕ-МЯКИТСКОГО РУДНО-РОССЫПНОГО УЗЛА (СЕВЕРО-ВОСТОК РОССИИ)

Иван Литвиненко
Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт им. Н.А. Шило ДВО РАН, ул. Портовая, 16, г. Магадан, 685000, Россия

NATIVE GOLD TYPOMORPHISM OF PLACER DEPOSITS OF THE VERKHNE-MYAKITSKY ORE-PLACER KNOT (NORTH-EAST OF RUSSIA)

Ivan Litvinenko
North-East Interdisciplinary Scientific and Research Institute FEB RAS, 16 Portovaya St., Magadan, 685000, Russia

Annotation. We used typomorphic properties of native gold as a basis to revise formational status of ore lode sources and conditions of formation of placer deposits throughout Verkhne-Myakitsky ore-placer knot, which is placed in the east of the Upper Kolymian area that is a part of the Yana-Kolymian gold province. Lode sources of placers were such Au-rare metal types mineralization as silver-polysulfide type with very low-fineness (350–600 ‰) gold, sulfide-sulfoarsenide type with low-fineness (600–800 ‰) gold and bismuth-sulfotelluride type with middle-fineness–high-fineness (800–1000 ‰) gold. Most of the gold came in placers from sulfide-sulfoarsenide and silver-polysulfide types of ores. The release of gold from ore material was carried out under conditions of chemical weathering. Hypergene new formations of gold are represented by high-finenes shells on hypogenic gold grains, "mustard" gold and dispersed aggregates of gold and iron hydroxides are.

1. Введение

Верхне-Мякитский рудно-россыпной узел располагается в восточной части Верхне-Колымского региона Яно-Колымской золотоносной провинции. Здесь выявлено 4 мелких и средних россыпных месторождения золота (Рисунок 1). Низкая крупность и пробность золота отличают их от основной массы россыпных месторождений Верхне-Колымского региона. Детальных специализированных исследований по реконструкции коренных источников россыпей и условиям их образования не проводилось. В. М. Кузнецовым с соавторами по единичным шлиховым пробам высказано предположение о золото-кварцевом типе коренных источников россыпи руч. Безалаберный [1].

Цель настоящей работы – уточнение на основе изучения типоморфных признаков россыпного золота формационной принадлежности коренных источников и условий формирования россыпных месторождений Верхне-Мякитского рудно-россыпного узла. Были исследованы типоморфные свойства самородного золота 22-х шлиховых проб. Определение состава золотин, включений в них минералов и гипергенных новообразований золота выполнено в монтированных аншлифах на микрозондовом анализаторе Camebax № 304, укомплектованном энергодисперсионным спектрометром X-Max 50 английской фирмы Oxford Instruments, программное обеспечение Inca Energy (СВКНИИ ДВО РАН, г. Магадан, аналитик Т.В. Субботникова). Геохимический состав концентратов шлиховых проб определялся экспрессным количественным спектральным анализом в СВКНИИ ДВО РАН (аналитик Т. П. Козырева).

2. Типоморфные свойства гипогенных выделений самородного золота

Верхне-Мякитский рудно-россыпной узел расположен в зоне юго-восточного замыкания Яно-Колымской складчатой области вблизи ее границы с Охотско-Чукотским вулканогенным поясом. Территория узла сложена терригенными породами раннего триаса Балыгычанского поднятия. Осадочные отложения прорваны мелкими штоками гранит-порфиров, а также дайками

гранит-порфиров и диоритовых порфиритов позднеюрского-раннемелового возраста. По геофизическим данным узел располагается над залегающим на небольшой глубине гранитным интрузивом [2].

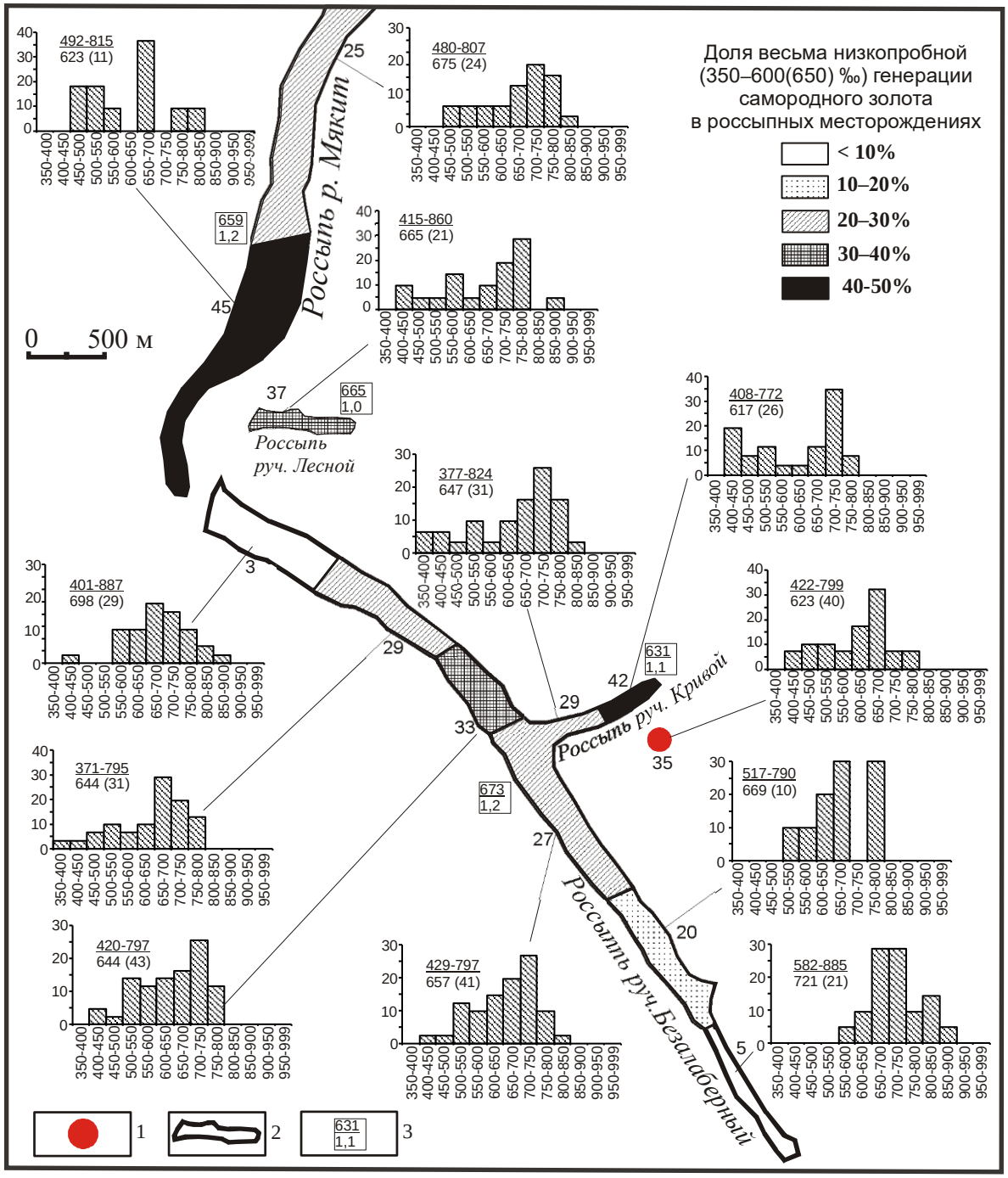


Рисунок 1. Гистограммы пробности самородного золота в россыпных месторождениях Верхе-Мякитского рудно-россыпного узла: 1 – рудопроявление Безалаберный; 2 – контуры россыпных месторождений; 3 – над чертой средняя пробность (‰), под чертой средняя крупность (мм) самородного золота в россыпных месторождениях.

Примечание. На гистограммах указаны пределы колебаний пробности (над чертой), средняя пробность (под чертой) и количество исследованных золотин (под чертой в скобках). Гистограммы построены по средним пробностям золотин, рассчитанным из 2–4 микрозондовых анализов. По оси абсцисс – классы пробности (‰), по оси ординат – частота встречаемости (%). В надписях возле россыпей и рудопроявления Безалаберный указана доля (%) весьма низкопробной генерации самородного золота.

Россыпные месторождения узла располагаются в долине р. Мякит и долинах ее правых боковых притоков. Золотоносный пласт приурочен к реликтовым образованиям линейной коры химического выветривания и нижним горизонтам аллювия. В тяжелой фракции шлиховых проб преобладают оксиды и гидроксиды железа, сульфиды присутствуют в небольшом количестве и представлены пиритом и арсенопиритом. В россыпи руч. Безалаберный в ней значительную долю составляют касситерит, деревянистое олово и вольфрамит. При разведке этой россыпи в шлихах встречен самородный висмут (З. И. Литовченко и С. С. Апрелков, 1967 г.). По данным спектрального анализа тяжелой фракции шлиховых проб в ней помимо железа отмечаются As (до 0,3 %), Zn (до 1230 г/т), Pb (до 613 г/т), Cu (до 1140 г/т), Ni (до 237 г/т), Co (до 203 г/т), Sn (до 1820 г/т), W (до 262 г/т), Bi (до 60 г/т) и Mo (до 43 г/т), что указывает на присутствие в разрушенных частях рудных проявлений редкометалльного оруденения.

Средняя крупность золота по россыпным месторождениям колеблется от 1,0 до 1, 2 мм. Основная его масса представлена комковидными (в среднем 61–73 %) образованиями, при подчиненной роли таблитчатых (в среднем 13–28 %) и пластинчатых (в среднем 2–13 %) зерен. Степень обработки золотин слабая. Неокатанные и слабоокатанные разности составляют в среднем от 43 (россыпь р. Мякит) до 67 % (россыпь руч. Лесной). На отдельных участках их доля достигает 100 %.

По пробности выделяются три группы золота: весьма низкопробная (350–600 (650) ‰), низкопробная (600–800(850) ‰) и среднепробная-высокопробная (800–1000 ‰), совпадающие с группами золота в россыпях соседнего Нижне-Мякитского рудно-россыпного узла [3]. Основная масса золота в россыпях относится к низкопробной группе при подчиненной роли весьма низкопробных выделений (Рисунок 1). Среднепробная-высокопробная группа проявлена в небольшом количестве в отдельных пробах. В качестве микровключений в весьма низкопробном золоте преобладает галенит, подчиненную роль играют пирит, арсенопирит, сфалерит, акантит и канфильдит. В низкопробном золоте преобладают микровключения арсенопирита, менее распространены пирит и пирротин, изредка отмечаются лёллингит и галенит. По аналогии с россыпями Нижне-Мякитского узла отмеченные группы золота можно связать соответственно с серебро-полисульфидным, сульфидно-сульфоарсенидным и висмут-сульфотеллурид-ным минеральными типами золото-редкометалльного оруденения.

3. Гипергенные новообразования золота

Характерной особенностью россыпных месторождений узла является присутствие гипергенных новообразований золота. Это высокопробные оболочки на гипогенных золотинах, «горчичное» золото и агрегаты гидроксидов золота и железа.

Высокопробные (970–1000 ‰) оболочки на гипогенном золоте, представляющие собой зону его преобразования в гипергенных условиях, в россыпных месторождениях узла имеют широкое распространение. Наибольшая доля золотин с высокопробными оболочками отмечается в россыпях р. Мякит (в среднем у 94 % золотин) и руч. Безалаберный (в среднем у 73 % золотин). Наибольшую мощность они имеют на золоте низкопробной генерации.

«Горчичное» золото наиболее распространено в россыпях руч. Кривой и Безалаберный. Доля золотин в сростках с «горчичным» золотом в них составляет соответственно 8,6 и 3,9 %. Ассоциирует «горчичное» золото только с весьма низкопробным самородным золотом. В россыпи руч Безалаберный с ним находятся в сростках 50 %, а в россыпи руч. Кривой – 39 % весьма низкопробных золотин. Образование «горчичного» золота, очевидно, связано с разложением золотосодержащих сульфидов.

Пробность микрочастиц самородного золота, слагающих сотовый каркас «горчичного» золота, колеблется от 700 до 985 ‰, наиболее часто она составляет 900–950 ‰. Микропористые зоны, как правило, сложены более высокопробным золотом. Присутствие в составе «горчичного» золота кислорода (Таблица 1) указывает на то, что поровое пространство в нем, очевидно, заполнено оксидами (гидроксидами) золота, наличие которых в порах придает «горчичному» золоту бурый цвет. В полостях и трещинах отмечается наличие глинистых минералов.

Агрегаты гидроксидов золота и железа выявлены в углублениях на поверхности весьма низкопробной золотины. Они представлены землистыми образованиями темно-бурого цвета. Поскольку гидроксиды золота по своей кристаллической структуре отличаются от полиморфных модификаций гидроксидов железа, то формирование смешанных золото-железных гидроксидных соединений представляется маловероятным. Можно предположить, что рассматриваемые образования представляют собой тонкую смесь гидроксидов золота и гидроксидов железа с возможным присутствием в ней микрочастиц самородного золота. Происхождение таких образований связывают с окислением золотоносного пирита или арсенопирита [4].

Таблица 1

Состав гипергенных новообразований золота, масс. %.

Форма выделения	№ зерна	Au	Ag	Fe	O	Al	Si	K	Ti	Na	Mg
«Горчичное» золото											
Сросток с золотиной пробностью 452 ‰	164-41	84,2	12,0	–	3,8	–	–	–	–	–	–
		85,0	11,9	–	3,1	–	–	–	–	–	–
Сросток с золотиной пробностью 450 ‰	167-29	98,5	1,5	–	–	–	–	–	–	–	–
		93,9	1,5	–	4,6	–	–	–	–	–	–
Сросток с золотиной пробностью 393 ‰	168-16	66,9	29,1	–	4,0	–	–	–	–	–	–
		87,8	9,1	–	3,1	–	–	–	–	–	–
		75,0	19,4	–	5,5	–	–	–	–	–	–
Сростки с золотиной пробностью 389 ‰	164-48-1	69,2	28,0	–	2,8	–	–	–	–	–	–
	164-48-2	66,3	28,9	–	4,9	–	–	–	–	–	–
	164-48-3	79,5	16,1	–	4,3	–	–	–	–	–	–
Кайма на золотине с пробностью 425 ‰	167-13	91,4	8,6	–	–	–	–	–	–	–	–
		88,8	9,1	–	2,1	–	–	–	–	–	–
		84,7	9,5	–	5,8	–	–	–	–	–	–
Кайма на золотине с пробностью 411 ‰	168-25	90,0	6,6	–	3,4	–	–	–	–	–	–
		76,8	12,8	–	10,3	–	–	–	–	–	–
Прожилок в золотине с пробностью 401 ‰	166-18	21,6	2,9	1,5	50,4	3,5	18,9	0,6	–	0,5	0,2
		87,2	12,8	–	–	–	–	–	–	–	–
		77,9	18,4	–	3,7	–	–	–	–	–	–
		53,9	16,2	2,7	18,8	3,7	3,0	0,5	1,1		
Прожилки в золотине с пробностью 441 ‰	166-37-1	74,9	22,2	–	2,9	–	–	–	–	–	–
	166-37-2	66,4	29,8	–	3,8	–	–	–	–	–	–
	166-37-3	63,9	30,9	–	5,2	–	–	–	–	–	–
Агрегаты гидроксидов золота и железа											
Сростки с золотиной пробностью 507 ‰	163-23-1	86,5	4,8	3,0	5,7	–	–	–	–	–	–
	163-23-2	83,1	4,3	5,2	7,4	–	–	–	–	–	–
	163-23-3	84,5	5,4	3,8	6,2	–	–	–	–	–	–

Примечание. Содержания элементов пересчитаны на сумму 100 %. Прочерк – элемент не установлен.

4. Выводы

Коренными источниками россыпей Верхне-Мякитского рудно-россыпного узла являлись рудные появления с золото-редкометалльным оруденением. Основная масса золота поступила из сульфидно-сульфоарсенидного с низкопробным (600–800 ‰) и серебро-полисульфид-ного с весьма низкопробным (350–600 ‰) золотом минеральных типов руд. Висмут-сульфотелуридный минеральный тип оруденения со среднепробным-высокопробным (800–1000 ‰) золотом проявился в очень ограниченных масштабах. В длительно и прогрессивно развивающихся зонах окисления эпохи планации рельефа произошло не только высвобождение основной массы самородного золота, участвующего в россыпеобразовании, но и активное развитие новообразований золота. Генезис россыпей может быть определен как остаточно-аллювиальный.

5. Литература:

[1] Kuznetsov, V.M., Goryachev, N.A., Zhigalov, S.V., Savva, N.E. The Structure and Ore Minerals of Myakit-Khurchansky mineral District // Bulletin of the North-East Scientific Center FEB RAS, 2011, vol. 4, pp. 37–51 (In Russian).

[2] Zimenko, M.I., Karelin, Yu.P. Zimenko, E.A. et al. State geological map of the Russian Federation at a scale of 1: 200000. Second edition. Sugoiskaya series. Sheet P-56-XXI (Myakit). Explanatory note. St. Petersburg: Cartographic factory VSEGEI, 2018, 192 pp. (In Russian).

[3] Litvinenko, I. S., Shilina, L. A. Reconstruction of placer hard rock sources in the Lower Myakit ore-placer knot (Russia's North-East) based on studies of native gold typomorphism // Bulletin of the North-East Scientific Center FEB RAS, 2020, vol. 1, pp. 30–46 (In Russian).

[4] Bovell, R.J. Suppergene gold mineralogy at Ashanti Ghana: implications for the suppergene behaviour of gold // Miner. Mag., 1992, vol. 56, no. 4, pp. 545–560.

УДК 553.98

ЦИКЛОСЕДИМЕНТОГРАММЫ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО РАЗРЕЗА СКВАЖИН НЕПСКО-ПЕЛЕДУЙСКОГО СВОДА НБА (НА ФРАГМЕНТЕ ПРОФИЛЯ БАТОЛИТ-1)

Мария Марсанова, Анастасия Соколова
Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, ул. Белинского, 58, г. Якутск, 677000, Россия

CYCLIC SEDIMENT PLANS OF THE GEOLOGICAL SECTION OF THE WELL OF THE NEPA-PELEDUI ARCH OF THE NEPA-BOTUOBA ANTECLISE (IN THE FRAGMENT OF THE BATHOLIT-1 PROFILE)

Mariya Marsanova, Anastasiya Sokolova
M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, 58 Belinsky St., Yakutsk, 677000, Russia

Annotation. According to the hypothesis of Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences Boris Sokolov, put forward in the 1990's, deep wells in the territory of the Nepa-Peledui arch uncover not the crystalline foundation, but its allochthonous crystalline block, overlapping the paleorift system with Riphean sediments, where considerable hydrocarbon potential remains unexploited. Although the hypothesis was put forward more than 20 years ago, its validity has not been proved or disproved. To date, a number of indirect geophysical indications have been established in the potential fields of gravity-magnetic and electrical exploration near-field time-domain electromagnetic sounding, indicating the presence of a paleorift with Riphean sediments at the Nepa-Peledui arch base with potentially productive Late Proterozoic sediments under a subhorizontally bedded crystal coating about 300 m thick of yet unidentified genesis. The results can justify setting up geological exploration work to study the deep Nepa-Peledui arch horizons and search for predicted oil and gas deposits within.

1. Введение

Еще в 90-х гг. прошлого века членом-корреспондентом РАН Соколовым Б.А. выдвинута гипотеза о возможной связи месторождений углеводородов Непско-Пеледуйского свода (НПС) Непско-Ботуобинской антеклизы (НБА), с осадочными образованиями в палеорифтовой системе под перекрывающими ее аллохтонными блоками фундамента, где остается невостребованным крупный углеводородный потенциал [5].

К настоящему времени установлен ряд косвенных геофизических признаков в потенциальных полях грави-магниторазведки и электроразведки ЗСБЗ, указывающих на присутствие палеорифта с рифейскими отложениями в основании НПС. Прямые признаки его присутствия обнаруживаются на сейсмическом разрезе МОГТ по профилю «Батолит-1» с временем регистрации до 18 с, где на территории свода наблюдается подъем границы «Мохо», утонение земной коры и специфичный рисунок сейсмической записи [2]. На присутствие палеорифта указывает и уникальная нефтегазоносность НПС, свойственная осадочным бассейнам над инверсионными рифтовыми системами

2. Новые аргументы существования палеорифта в НПС НБА

Построены циклоседиментограммы по разрезам скважин вдоль фрагмента профиля «Батолит-1» через Непско-Пеледуйский свод (НПС). На них однозначно выделяются, распознаются и коррелируются макроциклиты: А0, А, В, С, привязанные соответственно к кровлям толбачанской, нелбинской, бюкской и билирской свит. Поведение корреляционных линий между макроциклами свидетельствует о моноклинальном погружении свит на северо-запад по профилю, а разрез скв. №804, вскрывшей на забое отложения среднего рифея, вписывается в этот тренд и противоречит сложившемуся представлению попадания скважины в грабен (Рисунок 1).

Разрезу скважины 540-3П принадлежит ключевая роль в плане доказательства реальности позднерифейских отложений. Скважина не встретила кристаллических пород по причине попадания в «эрозионное окно» кристаллического пластообразного тела или его окончания на крае свода. На временном разрезе МОГТ скважина пересекает группу фаз 2-го выраженного отражения, которое является «позднерифейским» для остальной западной части профиля и однозначно идентифицировано в Талаканской скв. №804 как отражение от рифейских отложений. Наложение макроциклов выделенного рифейского мегацикла в скв. № 540-3П на группу фаз этого отражения подтверждает реальность позднерифейских отложений и отражений от них (Рисунок 1).

Кроме этого, корреляционная линия макроциклов «С» на временном разрезе свидетельствует, что позднерифейскими на западной части НПС (Верхне-Чонская и Санарская площади) могут быть не только рифейские, но и нижневендские отложения.

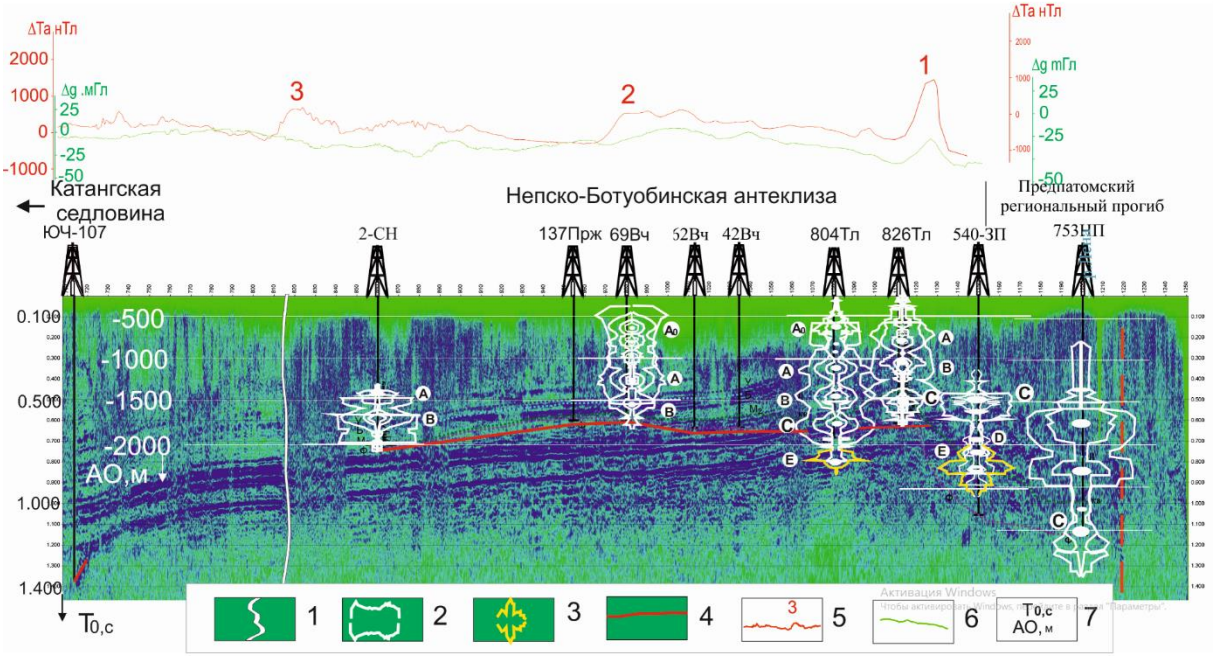


Рисунок 1. Гильберт-преобразование временного разреза МОГТ (по способу мгновенных амплитуд) фрагмента геотраверса “Батолит-1” с геолого-геофизической нагрузкой.
1-граница с-з борта палеорифтовой системы и смены типа разреза; 2-венд-нижнекембрийские мегациклы; 3-рифейский мегацикл; 4-кровля кристаллических пород, вскрываемых скважинами; 5- кривая наблюденного поля ΔT: 1,2,3-максимумы поля, нТл; 6- кривая наблюденного поля ΔG, мГл; 7-масштабы разреза: T0, с- временной, АО, м (абсолютная отметка)-глубинный.

Отметим еще дополнительные геофизические признаки отсутствия консолидированного фундамента и присутствия палеорифтовой системы в основании НПС на представленном разрезе (Рисунок 1).

Поле ΔG не реагирует «гравитационной ступенью» на огромный перепад глубин (порядка 2000 м) вскрытия скв. СН-2 кристаллических пород на территории НПС и скв. ЮЧ-107 кристаллического фундамента в Катангской седловине.

Максимумами поля ΔT отмечаются приподнятые гранулито-базитовые блоки палеорифтовой системы, из которых 1-й соответствует положению на профиле юго-восточного борта, 2-й промежуточный, а 3-й отмечает положение северо-западного борта и границу смены типа разреза осадочного чехла к западу от него. Положение бортов палеорифта и граница смены типа разреза по профилю подтверждается и другими признаками [3].

Природа образования покрытия окончательно не установлена и приводимые ниже предположения, увязываемые с аллохтонной природой, носят дискуссионный характер.

Существует точка зрения, что, кристаллическое покрытие образовалось в предвендское время в результате надвига со стороны Байкало-Патомской складчатой области блока гранитно-гнейсового слоя земной коры на Иркинеевско-Катангский палеорифт в стадии его проседания и последующей денудации блока до состояния реликтовой кристаллической пластины в процессе инверсии [1].

В более сложном механизме осадочный чехол НПС рассматривается как сложно-построенный ансамбль, образовавшийся из реликтовых частей первичного разреза кембрия, венда и рифея Патомско-Вилюйской складчатой области, сохранившихся после денудационного среза вертикальных блоков, и надвинутых в виде аллохтонных пластин со стороны Патомского нагорья при встречном пододвигании одной или несколько пластин архейского кристаллического фундамента со стороны Сибирской платформы [4].

3. Выводы

Проведенные исследования позволили:

- Аргументировать по комплексу геолого–геофизических данных правомерность новых научных представлений о существования в основании Непско-Пеледуйского свода инверсионного палеорифта, вмещающего отложения рифея и нижнего венда, перекрытого субгоризонтальным кристаллическим покрытием, сложенным метаморфическими породами; оценить толщину покрытия (порядка 300 м) и выдвинуть предположения о его природе, увязываемой с эволюцией палеорифта.
- Предположить на западной части территории НПС существование «подфундаментных» не только рифейских, но и отложений нижнего венда. Оценить положительно промыслово-геологические характеристики отложений рифея и нижнего венда, прогнозируемые под пластиной, с позиции обоснования развития в них потенциально продуктивных резервуаров; обосновать положение западного борта инверсионного палеорифта.

Результаты проведенных исследований могут быть использованы в качестве дополнительного обоснования для постановки целевого бурения глубоких скважин, вскрытия «подфундаментных» отложений и разведки прогнозируемых в них залежей нефти и газа.

4. Литература:

[1] Berzin A.G., Tugi E.R., Sitnikov V.S., Berzin S.A. Sub-foundation oil (in the conditions of the Napsco-Peledusky vault of the Napsco-Botuobin anteclysis) // Exploration and protection of the bowels. 2013, no. 12, pp. 27-32.

[2] Detkov V.A., Valchak V.I., Goryunov N.A., Evgrafov A.A., 2007. Some features of the Earth's crust and upper mantle structure of the southern part of the Siberian platform in Batolit and Altai – Severnaya Zemlya sections. In: Models ofthe Earth's crust and upper mantle by deep seismic profiling. Proceedings of the International scientific-practical seminar. VSEGEI, Saint Petersburg, pp. 26–31 (in Russian).

[3] Marsanova M.R., Berzin A.G. The deep structure of the Nepa-Peleduy arch of the Nepa-Botuoba anteclise in the development of B.A. Sokolov's hypothesis// Geodynamiks & Tectonophysics 2019, vol. 10, issue 4, pp. 959-969.

[4] Sitnikov V.S., Berzin A.G. Some peculiarities of the deep structure and oil-and-gas bearing capacity of the Nepsko-Botuobinskaya anteclise and the adjacent part of the Predpatomsky Trough V.M. scientific-practical conference C Petersburg, VNIGRI, 2013, pp. 260-267.

[5] Sokolov B.A., 2001. New Ideas in the Oil and Gas Geology. Selected Works. Moscow State University Publishing House, Moscow, 480 pp. (in Russian).

УДК 550.4:552.11

ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ МЕЗОЗОЙСКИХ МАГМАТИЧЕСКИХ ПОЯСОВ ВОСТОЧНОЙ ЯКУТИИ И СВЯЗАННАЯ С НИМИ МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКАЯ ЗОНАЛЬНОСТЬ

Леонид Мишин, Екатерина Коновалова, Юрий Талтыкин
Институт тектоники и геофизики им. Ю.А. Косыгина ДВО РАН, ул. Ким Ю Чена, 65, г. Хабаровск, 680000, Россия

REDOX CONDITIONS OF THE FORMATION OF THE MESOZOIC MAGMATIC BELTS OF EASTERN YAKUTIA AND ASSOCIATED METALLOGENIC ZONING

Leonid Mishin, Ekaterina Konovalova, Yuri Taltykin
Yu.A. Kosygin Institute of Tectonics and Geophysics, 65 Kim-Yu-Chen St., Khabarovsk, 680000, Russia

Annotation. The activity of polyvalent elements in geochemical processes is determined by the valence state, and the valence state depends mainly on the redox conditions of crystallization of igneous rocks. A reliable indicator of redox conditions is the ratio of Fe^{3+} to Fe^{2+}. Using this coefficient, a map of the redox conditions of the formation of Mesozoic igneous rocks in Eastern Yakutia was constructed.

1. Введение

Окислительно-восстановительные (редокс) условия формирования во многом определяют геохимические параметры и металлогеническую специализацию магматических пород. Изученное ранее [1,2,3] региональное распространение зон окисленных (магнетитовых) и восстановленных (ильменитовых) плутонов в восточном Забайкалье и Сихотэ-Алиньском орогенном поясе продолжено авторами в Восточной Якутии. Зональность окислительного (преобладание кислорода) и восстановительного (преобладание водорода) фронтов возникнув, существует длительное время, например в восточном Забайкалье это с позднего палеозоя по нижний мел, в Сихотэ-Алиньском орогенном поясе – со 130 млн. лет – по кайнозой включительно.

Восточная Якутия в мезозое представляла собой арену интенсивного гранитоидного магматизма. На ее территории в обрамлении Колымо-Омолонского составного террейна формируются протяженные магматические пояса, с которыми пространственно и во времени связаны различные гидротермальные рудные месторождения. Магматизму, тектонике и металлогении этого интереснейшего региона посвящены многочисленные монографические описания, насыщенные аналитическими данными [4,5,6]. Однако валентное состояние поливалентных рудных элементов за редким исключением не рассматривалось, хотя валентные формы зачастую кардинально отличаются по своей активности в геохимических процессах.

Переход из одного валентного состояния в другое связан с окислительными условиями. Зная валентное состояние элемента, можно решать обратную задачу прогнозирования окислительных условий кристаллизации магматических пород - определение фугитивности кислорода (fO_2) (Рисунок 1).

С этих позиций в настоящем обобщении рассматривается распределение поливалентных рудных элементов в мезозойских магматических образованиях Восточной Якутии.

2. Основной раздел

При составлении карты окислительных условий формирования мезозойских магматических образований Восточной Якутии (Рисунок 2) в выборки включался весь спектр магматических пород за исключением ультрабазитов, метаморфических и метасоматически измененных пород.

Учитывая наличие однонаправленного тренда изменения $\frac{Fe_2O_3}{Fe_2O_3+FeO}$ от риолитов к базальтам и от гранитов к габбро, данные анализов пересчитывались по формуле:

$$(1)\ f' = \frac{Fe_2O_3}{Fe_2O_3+FeO} + 0.38 - \frac{SiO_2}{200}$$ [7].

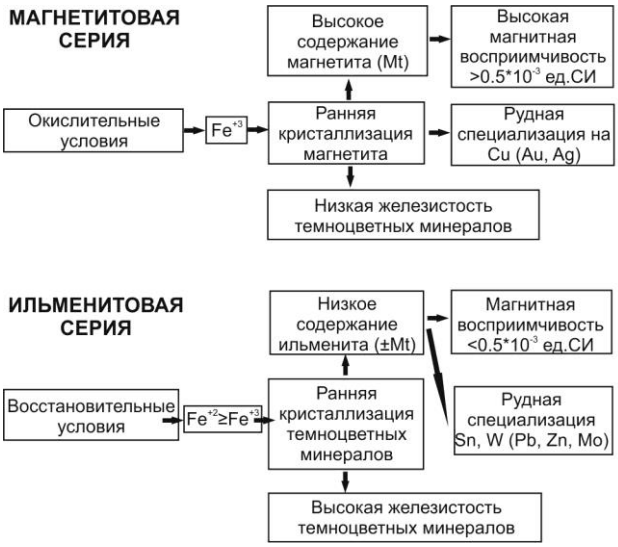


Рисунок 1. Схема характеристик магматических пород, сформировавшихся в окислительных (магнетитовая серия) (а) и восстановительных (ильменитовая серия) (б) условиях.

Из вулканических образований в расчет принимались только лавы и игнимбриты, характеризующиеся ювенильным составом. Банк аналитических данных составили силикатные анализы пород, в которых раздельно определены содержания окисного и закисного железа, использовались записки к геологическим картам масштаба 1:200000, и монографические работы [4,5,6].

К ильменитовой серии отнесены магматические породы со значениями f' <0,3, к магнетитовой - f' >0,3. Этим значениям окисленности железа примерно отвечает магнитная восприимчивость пород со значениями (0,5-0,6)*10^{-3} ед. СИ.

Изучение окислительно-восстановительных условий кристаллизации магматических образований способствует решению ряда тектонических и геодинамических вопросов.

Район исследований представляет собой зону мезозойской коллизии Сибирского кратона (SC) с Колымско-Омолонским массивом (КОМ). Возраст гранитоидов [8,9] по ^{40}Ar-^{39}Ar методу определен в 145–135 млн лет, по определениям U/Pb методу возраст гранитоидов и эффузивов Уяндино-Ясачненского вулкано-плутонического пояса (УЯВПП) близок (примерно 151 млн. лет).

Перечислим ряд структурных факторов: 1) конформное простирание складчатости границам составного Колымо-Омолонского массива, 2) нарастание дислоцированности пород в районе петли и в направлении к контакту с (КОМ), 3) наличие обширной зоны радиальных разломов, сопровождающихся дайками и интрузиям гранитоидов в районе западного обрамления Колымской петли. Все эти данные - свидетельство поступательного движения Колымо-Омолонского террейна с востока на запад. На наш взгляд, это аналог зон пассивной субдукции при сближении Колымско-Омолонского блока с Сибирским кратоном. При этом океаническая кора Малого Оймяконского океана погружалась под КОМ и частично под SC и способствовала образованию как окисленных вулканитов УЯВПП, так и гранитоидов магнетитовой серии на внутренней восточной границе батолитовых поясов и на западной окраине Верхоянско-Колымской складчатой системы.

3. Выводы

В заключение необходимо отметить, что все оловорудные иногда с вольфрамом и полиметаллами рудные проявления ассоциируют с магматическими породами ильменитовой серии, но не все выходы магматических пород ильменитовой серии оловоносны. Последнее

обстоятельство связано с глубоким эрозионным срезом Главного и Северного батолитовых поясов. Практически вся оловоносность, включая такие уникальные месторождения как Депутатское, сосредоточена к западу от батолитовых поясов, в районе Колымской петли с характерными для нее зонами радиальных разломов, формирующихся в условиях растяжения, по которым поступал глубинный восстановленный флюид.

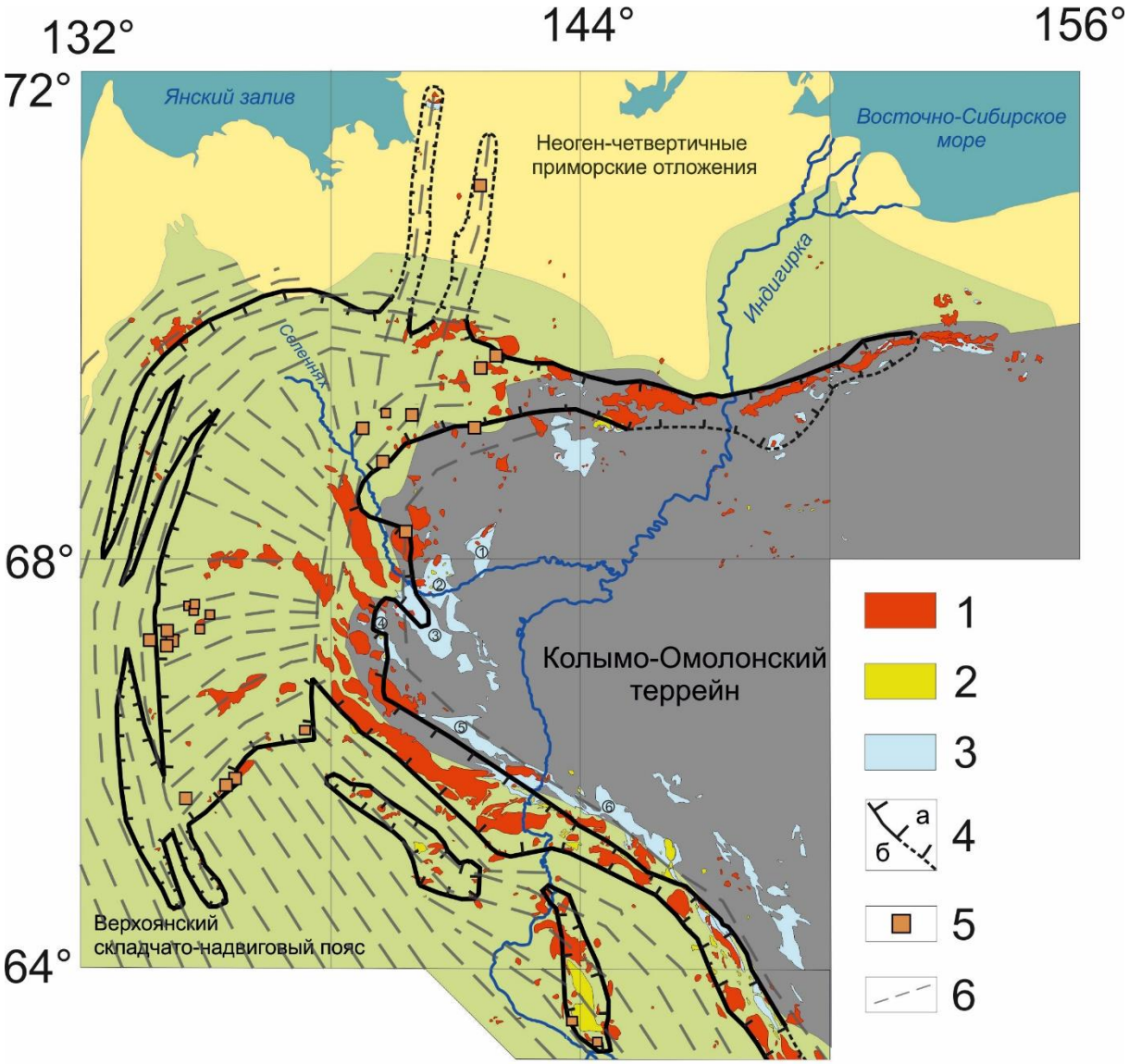


Рисунок 2. Карта окислительно-восстановительных условий формирования мезозойских магматических поясов Восточной Якутии. Использованы материалы [10] с добавлениями авторов: 1 – интрузивные, 2 – субвулканические, 3 – вулканические породы, 4 – зона распространения восстановительных (а) и окислительных (б) условий формирования магматических пород, 5 – месторождения Sn, 6 – система радиальных и дуговых разломов.

4. Литература:

[1] Mishin, L.F., Kirillova, G.L., Merkulova, T.G. and Ryabova E.A. Redox conditions for the formation of postcollisional magmatism and metallogeny in the western sector of the Mongol-Okhotsk orogenic belt // Tikhookean. Geology, 2019, vol. 38, no. 4, pp. 3-12 (in Russian)

[2] Mishin, L.F., Konovalova, E.A., Taltykin, Yu.V. Krutikova, V.O., Dobkin, S.N., Yurchenko, Yu.Yu. and Shtareva, A.V. Oxidizing conditions and associated geochemical and metallogenic zoning of magmatic formations of the Sikhote-Alin orogenic belt // Tikhookean. Geology, 2020, vol. 39, no. 3, pp. 51-67 (in Russian)

[3] Taltykin, Yu.V., Mishin, L.F. and Konovalova E.A. Redox background in the earth's crust of the Sikhote-Alin orogenic belt during crystallization of Cretaceous-Paleogene magmatites: relationship with geodynamics // Bulletin of the SVNTs FEB RAS, 2020, no. 4, pp. 24–38 (in Russian)
[4] Tectonics, geodynamics and metallogeny of the territory of the Republic of Sakha (Yakutia). EIC Parfenov, L.M., and Kuzmin, M. I. Moscow: MAIK "Nauka / Interperiodika", 2001, 571 pp. (in Russian)
[5] Trunilina, V.A., Roev, S.P. and Orlov, Yu.S. Volcano-plutonic belts of the North-East of Yakutia. Yakutsk: State Unitary Enterprise NIPK Sakhapoligrafizdat, 2007, 152 pp. (in Russian)
[6] Trunilina, V.A., Roev, S.P. and Orlov, Yu.S. Granitoids of batholith belts of the North-East of the Verkhoyansk-Kolyma Mesozoids. Yakutsk: Media-holding "Yakutia", 2013, 188 pp. (in Russian)
[7] Mishin, L.F. Felsic subvolcanic intrusions. Moscow: Science, 1994, 207 pp. (in Russian)
[8] Layer, P.W., Newberry, R., Fujita, K., Parfenov, L.M., Trunilina, V.A. and Bakharev, A.G. Tectonic setting of the plutonic belts of Yakutia, Northeast Russia, based on 40Ar/39Ar and trace element geochemistry // Geology. 2001, vol. 29, pp. 167–170.
[9] Akinin, V.V., Prokopiev, A. V., Toro, H., Miller, E.L., Wooden, J., Goryachev, N.A., Alshevsky, A.V., Bakharev, A.G. and Trunilina, V.A. U-Pb-SHRIMP-age of granitoids of the main batholinic belt (northeastern Asia) // DAN, 2009, vol. 426, no. 2, pp. 216-221 (in Russian)
[10] Tretyakov, F.F. Terranes of the Verkhoyansk fold-thrust belt (Eastern Yakutia) // Natural resources of the Arctic and Subarctic, 2019, vol. 24, no. 4, pp. 67-78 (in Russian)

УДК 550.4:553+553.41

ОСОБЕННОСТИ МИНЕРАЛОГИИ И ГЕОХИМИИ МЕТАЛЛОНОСНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ, СВЯЗАННЫХ С АРИАДНЕНСКОЙ ИНТРУЗИЕЙ УЛЬТРАБАЗИТОВ (ПРИМОРЬЕ)

Владимир Молчанов[1], Дмитрий Андросов[1], Александр Юдаков[2], Сергей Иванников[2]
1 Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, пр. 100-летия Владивостоку, 159, г. Владивосток, 690022, Россия
2 Институт химии ДВО РАН, пр. 100-летия Владивостоку, 159, г. Владивосток, 690022, Россия

FEATURES OF MINERALOGY AND GEOCHEMISTRY OF METAL-BEARING FORMATIONS ASSOCIATED WITH THE ARIADNE INTRUSION OF ULTRABASITES (PRIMORYE)

Vladimir Molchanov[1], Dmitriy Androsov[1], Alexander Yudakov[2], Sergey Ivannikov[2]
1 Far East Geological Institute FEB RAS, 159 100-letiya Vladivostoka Ave., Vladivostok, 690022, Russia
2 Institute of Chemistry FEB RAS, 159 100-letiya Vladivostoka Ave., Vladivostok, 690022, Russia

Annotation. The features of mineralogy and geochemistry of the metal-bearing formations of the Ariadne intrusion of ultrabasites are revealed. The composition of the main industrial minerals was studied, and the complex of associated high-tech metals was determined. The data obtained indicate the participation of polygenic and polychronous indigenous sources in the placer formation. Ultrabasites were the suppliers of ilmenite, platinum, copper and mercury gold. Another source of power for the placers was quartz-antimonite veins.

1. Введение

В Приморье, одном из наиболее старых районов золотодобычи России, с участием авторов открыт новый перспективный тип проявлений комплексной минерализации, в которых титан и золото являются основными промышленным компонентами, а широкий спектр высокотехнологичных элементов (V, Nb, Nd, Co, Hf, Ce, Y) – попутными [1,2]. Это указывает на то, что золотой потенциал региона не исчерпан, но нужны новые подходы к прогнозу и поискам источников стратегического минерального сырья. Примером тому могут послужить ультрабазиты Сихотэ-Алинского орогенного пояса и сопровождающие их рудо-россыпепроявления [3].

2. Результаты исследований

Ариадненский массив является одним из крупнейших массивов базит-ультрабазитов Сихотэ-Алиня. Его южная часть сложена перидотитами и оливиновыми пироксенитами, к северу преобладают ильменитовые и роговообманковые габбро, переходящие в диориты, монцодиориты и сиениты. Отличительной чертой ариадненских ультрабазитов является присутствие первичной (магматической) благороднометальной минерализации. В диоритах содержания золота достигают 1,6 г/т. Высокопробные частицы золота (Au от 90,17 до 92,43 и Ag от 7,5 до 9,83 масс. %) отмечены в ассоциации с силикатами, а низкопробные (Au от 76,52 до 80,37 и Ag от 16,91 до 23,43 масс. %) чаще фиксируется в срастаниях с пиритом. В ультрабазитах минералы благородных металлов представлены сперилитом, золотом высокой и низкой пробы. Высокопробные зерна (Au - 93,53 и Ag - 6,6 масс. %) встречаются совместно с ильменитом, а низкопробные (Au – 50,59, Ag- 49,7 и Pd – 0,011 масс. %) – с поздними сульфидами.

С ильменитовыми габбро связано Ариадненское проявление золото-ильменитовой минерализации (среднее течение р. Падь Тодохова). Среднее содержание TiO_2 в руде (масс. %.) составляет 6,16, V_2O_5 –0,086, Fe_2O_3 – 13,28, Sc – 0,0045. С глубиной отмечается увеличение концентрации Cu и Ni, достигающих, соответственно, 0,1 и 0,3 масс. %.

По возрастным взаимоотношениям рудных минералов и степени продуктивности выделяются две минеральные ассоциации. Ильменит, определяющий промышленную значимость объекта, чаще всего встречается в ассоциации с пентландитом. Поздние сульфиды (пирротин, халькопирит, сфалерит) пользуются гораздо меньшей распространенностью.

В верховьях р. Падь Тодохова широко развита сеть северо-восточных разрывных нарушений, контролирующих положение антимонит-кварцевых жил Тодоховского рудопроявления. Большей частью они приурочены к экзоконтакту базит-ультрабазитов с алевролитами ариадненской свиты. При этом содержания основных полезных компонентов в руде варьируют в следующих пределах: Au до 12,5 г/т, Ag – 500-1820 г/т, Sb – 0,18-23,4 масс. %.

Главный рудный минерал антимонит на отдельных участках занимает до 50 % жильной массы. Самородное золото представлено серебристыми фазами – мелкими зернами (менее 0,25 мм) комковидных очертаний часто в срастаниях с кварцем, галенитом, теллуридом свинца. Концентрации Ag в золотинах колеблются от 17,2 до 10,3 масс. %, изредка отмечается небольшая примесь Rb (до 0,9 масс. %). Минералы серебра представлены небольшими выделениями самородного серебра, аргентита и миаргирита. Реже встречаются арсенопирит, пирит, марказит.

Ариадненский массив продуцирует ряд крупных титаноносных россыпей. Основной промышленный минерал – ильменит. Из рудных минералов [1] преобладают сульфиды (единичные зерна пирита, арсенопирита, антимонита и галенита), а также самородные металлы (цинк и никель). Минералы благородных металлов представлены серебристой, медистой и ртутистой разновидностями самородного золота и железистой платиной.

3. Выводы

В генетическом плане присутствие разнородных групп золота можно рассматривать как индикатор формирования ариадненских россыпей с участием нескольких коренных источников. Наиболее активно в этом процессе участвовали базит-ультрабазиты, поставлявшие стратегически важные компоненты, в первую очередь ильменит, золото и платину. А находки сростков антимонита и золота отражают участие в россыпеобразовании проявления золото – сурьмяной минерализации.

4. Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 20-05-00525.

5. Литература:

[1] Khanchuk A.I., Molchanov V.P. and Androsov D.V. First Finds of Native Gold and Platinum in the Ilmenite Placers of the Ariadnoye Basite–Ultrabasite Intrusion (Primorye) // Doklady Earth Sciences, 2020, vol. 492 (2), pp. 422-425.

[2] Molchanov V.P., Medkov M.A., Yudakov A.A. Ways of industrial development of gold-ilmenite placers of Sikhote-Alin ultrabasites / / Nauka Severo-Vostoka Rossii: fundamental and applied Research in Northern Pacifica and the Arctic. Magadan: SVKNII FEB RAS, 2020, pp. 118-120.

[3] Geodynamics, magmatism and metallogeny of the East of Russia / ed. by A. I. Khanchuk. Book 1. Vladivostok: Dalnauka, 2006, 572 p.

УДК 553.41

КОМПЛЕКСНОЕ ЗОЛОТО-СУРЬМЯНОЕ ОРУДЕНЕНИЕ В ТЕРРЕЙНОВЫХ СТРУКТУРАХ АЗИИ

Сабир Мустафин[1], Галина Анисимова[2]
1 Башкирский государственный университет, ул. Заки Валиди, 32, г.Уфа, 450076, Россия
2 Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, пр. Ленина, 39, г. Якутск, 677000, Россия

COMPLEX GOLD-ANTIMONIC MINING IN THE TERRINE STRUCTURES OF ASIA

Sabir Mustafin[1], Galina Anisimova[2]
1 Bashkir State University, 32 Zaki Validi St., Ufa, Russia
2 Diamond and Precious Metal Geology Institute SB RAS, 39 Lenin Ave., Yakutsk, 677000, Russia

Annotation. The objects of complex gold-antimony mineralization of terrane areas of folded structures of Asia are considered. These objects are characterized by the duration of the history of formation, the features of the composition and localization of deposits are determined by the geodynamic conditions of the development of the region, the combination of different types of mineralization in common ore-localizing structures and different sources of the latter. In most objects, antimony mineralization is separated in time from gold-sulfide mineralization. Complex gold-antimony deposits of terrane areas of folded structures in Asia have large reserves of both antimony and gold.

1. Введение

Сурьма, согласно Стратегии развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации до 2035 года, сохраняет своё место в перечне основных видов стратегического минерального сырья и относится наряду с нефтью, Pb, Au, Ag, алмазами, Zn, особо чистым кварцевым сырьем ко второй группе полезных ископаемых недр РФ достигнутый уровень добычи, которых возможно удержать в период после 2025 года [1].

По данным Геологической службы США (USGS), мировые запасы сурьмы на конец 2020 года насчитывали 1,9 млн тонн, а добыча составила – 130 тыс. тонн [2].

Состояние добычи и величины запасов сурьмы ведущих стран-производителей этого металла Азии приведены в таблице:

Таблица 1

Добыча и запасы сурьмы в основных странах продуцентах Азии [2]

Страна	Добыча 2019 г.	Добыча 2020 г.	Запасы
Китай	89000	80000	480000
Казахстан	300	300	Н.д
Киргизстан	-	-	260000
Россия (восстанавливаемая)	30000	30000	350000
Таджикистан	28000	28000	50000
Турция	2400	2000	100000
Всего в мире (округлено)	162000	153000	1900000

2. Объекты комплексного золото-сурьмяного оруденения террейновых областей складчатых сооружений Азии

Китай с запасами 480 тыс. тонн, добычей первичного сырья на уровне 80000- 89000 тыс. тонн в год и импортом 55–60 тыс. тонн в год, является крупнейшим игроком мирового рынка Sb. Второе место в мире по запасам Sb занимает РФ с 350 000 тонн.

Комплексное Au-Sb оруденения в террейнах Китая характеризуется разнообразием. Столкновение террейнов кратона Янцзы и блока Катайзия в среднем-позднем протерозое привело к поднятию орогенных отложений Цзяннань с месторождением Вокси (Woxi) Au-Sb-W

типа. В породах протерозойского возраста провинции Хунань обнаружено более 100 месторождений Au – Sb (–W) с общими доказанными запасами: WO_3 - 0,25 млн т; Sb - 1,67 млн. т; Au - 42 т. при средних содержаниях: WO_3 (0,2-0,8 %); Sb (2–6 %) и Au (5-10 г / год). Продуктивные отложения приурочены к протерозойской формации Мадийи. Производство рафинированной и оксидной Sb в 2010 г. составило около 40 тыс. тонн (по шахтным данным), WO_3 произведено около 5000 тонн, добыча Au составила около 2 тонн. К гидротермальным жилам приурочена минеральная ассоциация антимонита, шеелита и Au с весьма высокими значениями пробности (998,6-1000). Флюидные включения в шеелите характеризуются повышенными концентрациями золота [3].

Гималайская орогенная система, созданная в результате столкновения Индии с Азией, динамично развивается, начиная с раннего кайнозоя. Террейн Лхасы, отделён от Гималаев швом Инд-Цангпо (ITS). Южный Тибетский металлогенический пояс Au / Sb, представляет ороген к югу от ITS и включает более 50 золоторудных жильных месторождений и проявлений, содержащих Au, антимонит и связанные с ними россыпные месторождения золота. Au-Sb месторождение Мажала с ресурсами Sb 10000 т; и Au 5т локализуется в толще нижне-среднеюрских сланцев, песчаников, известняков. Жильные рудные тела протяжённостью 10 - 400 м и мощностью 2,5 м содержат самородное золото, антимонит, пирит, марказит, арсенопирит, лимонит и следы киновари. Высокопробное самородное золото 982-990 диаметром 0,01-2,0 мм визуально различимо в кварце, образует включения в сульфидах. Месторождение сурьмы Шалаганг с ресурсами металла от 10000 до 100000 т приурочено к нижнемеловой формации Дуодзиу (песчаники, глинистые известняки, аргиллиты). Жильные рудные тела длиной 40–350 м, мощностью 0,5–3 м антимонит-кварцевого состава. Рудные минералы: антимонит, киноварь, валентинит, лимонит и следовые количества пирита, арсенопирита и реальгара. Двенадцать рудных тел содержат сурьму от 1,98 до 29,0 % [4].

Рудно-Алтайский, Колба-Нарымский и Западно-Колбинский террейны как фрагменты единой островодужной системы Сибирского континента в результате позднекарбоново-пермской коллизии Казахстано-Байкальского и Сибирского континентов смещены относительно друг друга на многие сотни километров [5].

Золото-сульфидный (Au-As-Sb-вкрапленных руд) тип месторождений Казахстана представлен минерализованными зонами в черных сланцах (месторождение Бакырчик). Рудные тела пластообразной, лентовидной, линзообразной формы. Золото связано с сульфидами (преимущественно с пиритом и арсенопиритом). Средние содержания золота в рудах 4,8–9,4 г/т. Руды упорные в терригенно-углеродистых отложениях раннего и среднего карбона. Выявлено 30 рудных тел; которые прослежены на расстоянии 5,5 км и залегают субсогласно с Кызыловской зоной смятия. Мощность тел 1-40,0 м содержания золота 3,0-49,0 г/т. Предполагается наличие золотосодержащих металлоорганических образований. Рудные тела представлены системой минерализованных зон мощностью до 20 м и протяженностью до 500 м, прослеженных на глубину 1200 м. Руды полосчатые и массивно-вкрапленные; рудные минералы: пирит, арсенопирит, антимонит, золото, марказит, халькопирит, пирротин, блеклые руды (теннантит и тетраэдрит), галенит, сфалерит, киноварь, самородное серебро, кварц, карбонаты. Характерны выраженная полихронность оруденения, контрастная зональность, размещение в ограниченном объеме. Запасы золота месторождения составляют 25,2 % общих запасов металла Республики Казахстан [6]. Устанавливаются два температурных режима формирования минерализации — для золото-полисульфидной 418—300 °С и более поздней сурьмяной 280—200 °С. Изотопный состав серы антимонита на месторождениях Суздальское, Жерек, Жанан, Бакырчик и Дальний I имеет близкие значения в интервале $\delta 34S = -3.8+2.5$ ‰, что позволяет предполагать ее глубинное происхождение [7].

В Республике Саха (Якутия) далее (РС (Я)) самая крупная сырьевая база сурьмы в РФ, представленная 6 золото-сурьмяными, золоторудными с сурьмой месторождениями с запасами 146354 т (44,1 % запасов РФ). Наиболее крупные разрабатываемые месторождения сурьмы РФ расположены на территории Республики Саха (Якутия) (далее РС (Я)) - Сентачан (17,9 % от запасов РФ) и Сарылах (7,6 % от запасов РФ). В 2019 на месторождениях Сентачан и Сарылах

добыто более 6996 т сурьмы. Суммарные данные о балансовых запасах и добыче сурьмы на месторождениях РС(Я) по состоянию на 15.12.2020 г. составляют (тонн): по категориям $A+B+C_1$ = 71701 т, категории C_2 = 74869 т. Запасы сурьмы разрабатываемых месторождений по категориям $A+B+C_1+C_2$ составляют: РС (Я) Сарылах – 48700 т, Сентачан – 84000 т сурьмы и 14488 кг золота. Месторождение Тан характеризуется запасами сурьмы по категориям $A+B+C_1+C_2$= 14800 т [8].

Комплексное Au-Sb оруденение месторождения Сарылах детально исследовано, что позволило получить оригинальную информацию, характеризующую генетические минералогические признаки самородного золота массивной, губчатой и горчичной структур, аурostибита, арсенопирита, сфалерита, стибнита, ульманнита, сурьмы самородной. Эти данные в сочетании с ранее полученными результатами топоминералогических исследований самородного золота месторождения позволит оптимизировать работу по исследованию технологической минералогии сложных по составу рудных тел в целях повышения эффективности добычи и обогащения минерального сырья [9].

Месторождения Сентачан и Сарылах представлены комплексным Au-Sb оруденением и в настоящее время разрабатываются. Объекты контролируются зоной регионального Адыча-Тарынского разлома, разделяющего Кулар-Нерский террейн и западную часть Верхоянского складчато-надвигового пояса. Исследования минералогических, термобарометрических и изотопно-геохимических параметров позволили получить новые данные, которые свидетельствуют о сложной и длительной истории формирования Au-Sb месторождений. Особенности состава и локализации месторождений Сарылах и Сентачан определяются геодинамическими условиями развития региона, совмещением в общих рудолокализующих структурах разновременных типов оруденения и разными источниками вещества последних [10].

В процессе геодинамической эволюции Срединного Тянь-Шаня, входящего в глобальную тектоническую структуру Центрально-Азиатского складчатого пояса, определилась геотектоническая структура Чаткальского террейна. В пределах Чаткальской минерагенической области получили развитие все известные на сегодня минеральные и структурные типы Ab-Sb оруденения от жильного самородно-сурьмяного до джаспероидного – так называемого «невадийского» или карлин-типа. Перспективно жильное Au-Sb месторождение Чаарат (Чандалашский район) с запасами золота 100 т и ресурсами - 100 т.

В Заангарье Енисейского кряжа выделяются Восточно-Ангарский, Центрально-Ангарский и Исаковский террейны, сложенные мезо-неопротерозойскими метаморфизованными породами. Золоторудные объекты региона тяготеют к низам сухопитской серии раннего и среднего рифея, сложенной терригенными, углеродисто-терригенными и карбонатно-терригенными отложениями. Обнаруживается тесная связь золота с мышьяком; сурьмяная минерализация на ряде объектов (Олимпиадинское, Удерейское, Ведугинское) достигает промышленных масштабов. Сурьмяная минерализация, как правило, оторвана во времени от золото-сульфидной. На начало 2018 г. оруденение с промышленными параметрами на Восточной Олимпиаде уже установлено на горизонте – 800 м. *Западная Олимпиада* включает три рудных тела. Средние содержания Au в первичных рудах варьируют от 2,5 до 8,6 г/т, в окисленных – от 3,1 до 8,9 г/т. *Промежуточный участок* является продолжением Западной Олимпиады на восток. Средние содержания Au в рудных телах от 2,7 до 3,0 г/т. *Восточная Олимпиада* является главной частью месторождения: на ее долю приходится около 90 % всех запасов золота. В сульфидных рудах содержания Au по рудным пересечениям варьируют от 0,2 до 165,4 г/т. В Южном блоке Восточной Олимпиады преобладает Au-Sb ассоциация с незначительной примесью арсенопирита [11]. Вертикальный размах оруденения превышает 1 400 м; по глубине рудное тело не оконтурено. Подсчитанные в 2016 г. запасы составляют при содержании 5,55 г/т 441,6 т золота. В рудах установлены: сульфоарсениды, стибниды, сульфосоли, сульфостибниды, теллуриды и самородные металлы; преобладают - пирротин, арсенопирит, стибнит, пирит. Отмечаются аурostибит и сурьма самородная. Месторождение формировалось в период от 817 до 660 млн. лет; продолжительность рудообразования оценивается в 150 млн. лет.

На месторождении Джижикрут (Таджикистан) золотоносные Sb руды нижних горизонтов эффективно перерабатывать по комбинированной технологии позволяющей извлекать до 83 % золота [12]. На Кончоче, запасы комплексных руд составляют 50 т золота, 265 000 т сурьмы, более 59 т Ag, 1197 т Hg и более 76000 т флюорита.

3. Выводы

В заключении отметим, комплексные золото-сурьмяные месторождения террейновых областей складчатых сооружений Азии обладают крупными запасами как по сурьме, так и по золоту.

4. Благодарности

Исследования выполнены в рамках учебного проекта Башкирского госуниверситета и по плану НИР ИГАБМ СО РАН, проект № 0381-2019-00045.

5. Литература:

[1] Development strategy of the mineral resources base of the Russian Federation until 2035/ Approved by order of the Government of the Russian Federation dated December 22, 2018, no. 2914r.
[2] Antimony. Mineral commodity summaries 2021: U.S. Geological Survey, 2021, pp. 22-23. https://doi.org/10.3133/mcs2021.
[3] Yi Liang, Guogang Wang, Shengyou Liu, Yuzhen Sun, Yonggang Huang and Kenichi Hoshino. A Study on the Mineralization of the Woxi Au–Sb–W Deposit, Western Hunan, China. Resource Geology vol. 65, no. 1, pp. 27–38).
[4] Wei Zhai, Xiaoming Suna, Jianzhou Yi, Xiangguo Zhang, Ruwei Mo, Feng Zhouc, Huixiao Wei, Qinggao Zeng. Geology, geochemistry, and genesis of orogenic gold–antimony mineralization in the Himalayan Orogen, South Tibet, China. Ore Geology Reviews 58 (2014) 68–90.
[5] Buslov M.M. Dynamics and kinematics of large fault zones of the East Kazakhstan fold area in the Late Carboniferous-Permian. Geology and minerals of the World Ocean. – 2006, no. 4, pp. 112-125.
[6] Umarbekova Z.T. "Gold ore processes and predicted geological data for deposits in Kazakhstan (Bakyrshik, Bestobe, Arkharly)". 6D070600 - Geology and Exploration of Mineral Deposits Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy (PhD) Republic of Kazakhstan Almaty: Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satpayev, 2020, 149 pp.
[7] Kovalev K.R., Kalinin Yu.A., Naumov E.A., Myagkaya M.K. Relationship of antimony with gold mineralization in the ore districts of Eastern Kazakhstan. Russian Geology and Geophysics 55 (2014) 1170–1182.
[8] Information "On the state and prospects of using the mineral resource base of the Republic of Sakha (Yakutia) as of 15.12.2020" prepared by FSBI "VSEGEI" within the framework of the State Assignment of the Federal Agency for Subsoil Use dated December 26, 2019.
[9] Anisimova G. S. A polymineral inclusion reflecting the whole mineralogy of Sarylakhskoye ore deposit. Zapiski RMO. 2005, no. 5, pp. 87-94.
[10] Bortnikov N.S., Gamyanin G.N., Vikent'eva O.V., Prokof'ev V.Yu., Prokop'ev A.V. The Sarylakh and Sentachan gold-antimony deposits, Sakha-Yakutia: A case of combined mesothermal gold-quartz and epithermal stibnite ores. Geology of Ore deposits. 2010, vol. 52, pp. 339–372.
[11] Silyanov S.A. Geology and mineral-geochemical indicators of the genesis of the Olympiada gold ore deposit (Yenisei Ridge). Dissertation for the degree of candidate of geological and mineralogical sciences. Krasnoyarsk: Siberian Federal University 2020, 185 pp.
[12] Kholov Kh, Samikhov Sh. Acetylthiourea leaching gold from tails of flotation deposit Dzhikikrut. Norwegian Journal of development of the International Science. 2019, no. 27, pp. 7-11.

УДК 553.075

СТРУКТУРНАЯ ПОЗИЦИЯ НАТАЛКИНСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ

Роман Овсов
Магаданский филиал АО «Полиметалл УК», ул. Транспортная, 1, г. Магадан, 685000, Россия

STRUCTURAL POSITION OF THE NATALKA ORE FIELD

Roman Ovsov
Magadan branch of JSC «Polymetal Management Company», 1 Transportnaya St., Magadan, 685000, Russia

Annotation. On the basis of 3D modeling and structural-kinematic analysis, the interpretation of the geological structure of the ore objects of the Natalka ore field - the Natalka deposit, Omchak deposit, and the Geologichesky area was carried out. It is concluded that initially all ore objects are a single ore deposit, disturbed by post-ore tectonics

1. Введение

Наталкинское рудное поле (далее НРП) входит в состав Омчакского рудного узла, который находится на Северо-Востоке России в Тенькинском районе Магаданской области. Центральную часть рудного поля занимает Наталкинское месторождение (НМ), к которому примыкают с СЗ фланга участок Геологический (УГ), а с ЮВ фланга Омчакское месторождение (ОМ). Все рудные объекты однотипны и представлены к пирит-арсенопиритовому типу золотокварцевой малосульфидной формации, к группе месторождений умеренных и значительных глубин, рудные тела которых представлены жилами, жильно-прожилковыми зонами и минерализованными зонами дробления и массивного метасоматического окварцевания пород.

Наталка является наиболее изученным месторождением [1,2,3,4,5]. Структура рудного поля, включая ОМ, изучена небольшим количеством исследователей [6], а информация о строении СЗ фланга, где расположен УГ встречается только в виде единичных упоминаний [1].

Целью исследований является изучение геологического строения и описание структуры Наталкинского рудного поля в целом. Основой для интерпретации является большой объём исторических данных, а также данные геологической документации и опробования современного этапа разведочных и эксплуатационных работ. Основной методикой изучения структурного контроля оруденения является детальное 3D моделирование рудоконтролирующих структур, а также последующий структурно-кинематический анализ. В процессе моделирования были построены основные и второстепенные системы рудных тел, группы даек кислого и среднего составов, свиты вмещающих пород и главные тектонические нарушения.

2. Интерпретация структуры Наталкинского рудного поля

Главной рудоконтролирующей тектонической структурой первого порядка НРП является Омчакский разлом, который входит в инфраструктуру регионального Тенькинского глубинного разлома СЗ простирания. Локализация НРП приурочена к коленообразному изгибу Омчакского разлома – к его меридиональному сегменту.

В структуре Наталкинского месторождения выделяются несколько основных рудолокализующих тектонических систем, главными из которых выступают субпараллельные разломные зоны «Стержневого» и «Северо-Восточного» магистральных тектонических швов, а в блоке заключённом между ними залегает, так называемая, рудная зона «Диагональная» [7], состоящая как минимум из двух систем эшелонированных рудовмещающих разрывов, одна из которых является структурным ограничителем по отношению ко второй и характеризуются нетипичным встречным падением.

По залеганию и взаимному положению рудных зон, а также входящих в их состав основных и оперяющих рудных тел, определено, что оруденение приурочено к системам сбросов (либо к

обратным взбросам [6,7]) со значительной левосторонней сдвиговой составляющей. Кроме этого, по собственным наблюдениям отмечено, что внутреннее строение большинства рудоносных жильно-прожилковых зон представлено системами сколов Риделя, морфологические характеристики которых отвечают вышеуказанной кинематической обстановке формирования.

Структурный парагенез системы дорудных даек спессартитов и их апофиз отвечает кинематическим условиям правосторонних взбросо-сдвиговых деформаций. Дайки кислого состава также формируют правосторонние кулисы, что наиболее проявлено в пределах западного фланга месторождения Омчак.

Значительная часть даек спессартитов и в меньшей степени риолитов является рудовмещающими, что наблюдается на всех изучаемых объектах рудного поля.

Участок Геологический вплотную граничит с СЗ флангом НМ, но смещён широтным разломом, который определен Карелиным Ю.П. (1985 г) как позднемеловой сброс, северный блок которого, где располагается УГ, опущен. Рудные тела УГ в отличии от СЗ фланга НМ залегают более полого с падением на СВ и заметно изгибаются к Северо-Западу. Структура УГ схожа с СЗ флангом НМ, но более компактна, где основные ограничивающие рудоконтролирующие структуры, вероятно являющиеся продолжением зон «Стержневого» и «Северо-Восточного» разломов, располагаются ближе друг к другу.

Структура МО схожа с ЮВ флангом Наталкинского месторождения. Там обнажаются идентичные вмещающие породы Омчакской свиты, а залегание и взаимное положение основных рудных зон, которые формируют левосторонние кулисы продольных и диагональных рудовмещающих систем, подобны тем, которые прослеживаются на ЮВ фланге НМ.

Формирование изучаемого района происходило в несколько тектонических этапов, характеризующихся реверсивными кинематическими режимами [8] - позднеюрские дислокации с правосторонней сдвиговой составляющей, сопровождаемые складкообразованием и последующим внедрением даек среднего и кислого составов, а также раннемеловые левосторонние подвижки, в результате которых сформировалась рудовмещающая разломная зона. Реверсивные движения вдоль Омчакского разлома могли предопределить приуроченность НРП к меридиональному сегменту Омчакского разлома, в правосторонний кинематический режим на месте которого могла возникнуть зона присдвигового растяжения с последующим внедрением скрытого интрузива (его наличие подтверждается геофизическими исследованиями [1]), который послужил источником гидротерм. В левосторонний кинематический режим между кулисами Омчакского разлома образовался меридиональный сегмент, в виде ограничивающего изгиба [9], который выступил как рамп, в результате ЮЗ блок, где локализуется НМ, в процессе тектонической эволюции района был деформирован в приразломную складку и смещен относительно СВ блока, где локализуется ОМ.

3. Выводы

Рудные объекты Наталкинского рудного поля: Наталкинское и Омчакское месторождения, а также участок Геологический, изначально являлись единой рудной залежью, сплошность структуры которой была нарушена в ходе развития пострудных тектонических этапов.

4. Литература:

[1] Goncharov V.I., Voroshin S.V., Sidorov V.A. Natalka gold ore deposit. - Magadan: NEISRI FEB RAS, 2002, 250 pp.

[2] Golub V.N., Goryachev N.A. On the role of transverse faults and localization of gold mineralization of the Natalka deposit // Science of the North-East of Russia - the beginning of the century: Proceedings of the All-Russian. Scientific. conf., dedicated in memory of acad. K.V. Simakov and in honor of his 70th birthday (Magadan, April 26-28, 2005). Magadan: SVNTs FEB RAS, 2005, pp. 158-161.

[3] Golub V.N., Petrov A.N., Goryachev N.A. Geological and structural conditions of localization of ore zones in the southeastern flank of the Natalka gold deposit // Bulletin of the SVNTs FEB RAS, 2008, vol. 4, pp. 16-20.
[4] Struzhkov S.F., Natalenko M.V., Chekvaidze V.B. et al. Multifactor model of the Natalka gold deposit // Ores and metals, 2006, vol. 3, pp. 34-44.
[5] Golubev S.Yu. Conditions of localization of ore bodies of the Natalka gold ore deposit // Ores and metals, 2008, vol. 6, pp. 72-76.
[6] Kalinin A.I. Kanishchev V.K. Orlov A.G. Gashtold V.V. The structure of the Natalka ore field // Kolyma, 1992, vol. 10-11, pp. 10-14.
[7] Pluteshko V.P. Geological and structural features of the Natalka deposit in connection with its industrial assessment // Abstract of the dissertation for the degree of candidate of geological and mineralogical sciences. Moscow: TsNIGRI, 1981, 29 pp.
[8] Shakhtyrov V.G. Structural paragenesis in the Ten'ka deep fault zone (Yano-Kolyma fold system) // Natural and technical sciences, 2009, vol. 6, pp. 313-319.
[9] Woodcock, N. H. & Fischer, M. Strike-slip duplexes. Journal of Structural Geology 8(7), 1986, pp. 725-735.

УДК 552.113 (571.56)

ЛИКВАЦИОННОЕ PGE-CU-NI СУЛЬФИДНОЕ РУДОПРОЯВЛЕНИЕ В ДОЛЕРИТАХ ВОСТОЧНОГО СКЛОНА АНАБАРСКОГО ЩИТА

Александр Округин[1], Алексей Земнухов[2], Анатолий Журавлев[1]
1 Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, пр. Ленина, 39, г. Якутск, 677000, Россия
2 АО «Алмазы Анабара», ул. Кирова, 18, блок Б, г. Якутск, 677980, Россия

LIQUATION PGE-CU-NI SULFIDE MINERAL OCCURRENCE IN DOLERITES OF THE EASTERN SLOPE OF THE ANABAR SHIELD

Alexandr Okrugin[1], Aleksey Zemnukhov[2], Anatolii Zhuravlev[1]
1 Diamond and Precious Metal Geology Institute SB RAS, 39 Lenin Ave., Yakutsk, 677000, Russia
2 JSC "Almazy Anabara", 18 Kirov St., block B, Yakutsk, 677980, Russia

Annotation. A description of liquation sulfide segregations consisting of pyrrhotite, chalcopyrite, pentlandite, and siegenite in dolerites is given. In pyrrhotite, microprobe analysis revealed the presence of an admixture of Pd up to 1,2 % and Rh up to 1,1 %, and in chalcopyrite - up to 0,6 % Pt. Rounded sulfide nodules ranging in size from 1 to 10 mm in diameter in a block of dolerites on the terrace of the r. Bolshaya Kuonamka at 18 km from the estuary of the Dyuken tributary were found. Dolerite consists mainly of plagioclase, augite, and Ti-magnetite; amphibole, pigeonite, apatite, chlorite, quartz, calcite, and ilmenite are less common. The chemical composition and age of dolerites have not yet been determined, however the revealing of such mineralization in the eastern slope of the Anabar Shield causing interest from point of view of possible discovering of basic rocks with PGE-Cu-Ni sulfide mineralization in this area since the appearance of such liquation nodules is a sign of saturation of magmatic melts with sulfides.

1. Введение

Крупные сульфидные PGE-Cu-Ni месторождения в основном связаны с комплексом докембрийских базит-ультрабазитовых пород. Фанерозойская эпоха в целом бедна проявлением сульфидоносных магматических образований, за исключением Норильских месторождений – крупнейших среди подобных месторождений [1,2]. Одним из важных критериев насыщенности сульфидами магматических расплавов, которые могут быть потенциальными источниками, является наличие в них ликвационных сульфидных обособлений. В связи с этим в данном сообщении нами обсуждаются типоморфные особенности минералов ликвационных сульфидных выделений, обнаруженных в долеритах на восточном склоне Анабарского щита.

2. Фактический материал и методы исследований

В ходе проведения АО «Алмазы Анабара» поисково-оценочных работ на участке «Средний» россыпного месторождения алмазов р. Большая Куонамка в декабре 2019 г. в глыбе долеритов, поднятого с глубины около 8 м (в шурфе 44л разведочной линии 1388) на террасе р. Большая Куонамка в 18 км ниже устья притока Дюкен были обнаружены округлые сульфидные нодули размером от 1 до 10 мм в поперечнике. Долерит состоит в основном из плагиоклаза, клинопироксена и титаномагнетита, реже встречаются амфибол, ромбический пироксен, апатит хлорит, цеолит, кварц, кальцит и ильменит. Состав минералов долеритов и сульфидных обособлений в них определялся на микрозондовом анализаторе Camebax-Micro французской фирмы Cameca, а их микроструктурные взаимоотношения изучались на сканирующем микроскопе JSM-6480LV японской фирмы JEOL в лаборатории рентгеноспектральных методов анализа в ИГАБМ СО РАН. В качестве эталонов применялись стандартизированные минералы, чистые металлы и их сплавы. Режимы съемки: 20 кВ, ток 30 нА, время 7 с. В сульфидных

минералах производилось определение примесей Pt, Rh и Pd. Пределы обнаружения Pt – 0,27; Rh – 0,06; и Pd – 0,06 %. Хотя в большинстве анализов примеси элементов платиновой группы (ЭПГ) не установлены в пределах чувствительности метода, но в некоторых анализах они фиксируются в значениях, многократно превышающих пределы обнаружения, что позволяет заключить нам о присутствии изоморфной примеси ЭПГ в изученных сульфидах (Таблица 1). Рентгенофазовый анализ выполнен на дифрактометре D2 PHASER, CuKα излучение, 30 кВ, 10 мА, для диагностики минералов использована база данных PDF-2.

Таблица 1

Составы пирротина[1], халькопирита[2], пентландита[3], зигенита[4] и пирита[5], масс. %.

Sample	Fe	Co	Ni	Cu	Pt	Rh	Pd	S	As	Total
1-88[1]	57,41	0,16	0,78	0,00	0,00	0,05	0,56	37,71	0,99	97,65
1-113[1]	58,99	0,50	0,32	0,03	0,00	0,00	1,19	38,66	1,68	101,37
1-95[1]	58,77	0,19	0,33	0,00	0,00	0,07	0,03	40,45	0,27	100,10
1-100[1]	58,45	0,19	0,20	0,00	0,00	1,11	0,00	39,09	0,86	99,91
1-47[2]	30,29	0,08	0,02	34,56	0,58	0,03	0,10	33,58	0,46	99,71
1-48[2]	30,78	0,07	0,02	34,57	0,00	0,04	0,03	33,64	0,21	99,35
2-20[2]	29,78	0,05	0,02	33,80	0,47	0,02	0,06	33,09	0,30	97,59
1-44[3]	35,42	10,57	5,91	1,47	0,00	0,02	0,02	39,67	0,27	93,36
2-53[4]	8,03	28,01	17,17	8,03	0,00	0,00	0,02	38,65	0,22	100,13
2-58[4]	3,92	33,96	20,92	0,20	0,00	0,00	0,00	38,48	0,21	97,69
2-18[5]	46,30	0,18	0,29	0,00	0,00	0,08	0,02	51,46	0,15	98,48
1-93[5]	46,69	0,08	0,01	0,01	0,00	0,00	0,02	53,26	0,11	100,18

3. Типоморфные особенности породообразующих минералов долеритов и сульфидов

Вмещающие сульфидные вкрапления долериты представлены среднезернистым светло-серыми породами офитовой структуры, где пластинчатые кристаллы плагиоклаза, размером до 5 мм в удлинении занимают примерно половину объема породы. Плагиоклазы по данным микрозондового анализа имеют состав от лабрадора (An_{57}) до андезина (Ab_{65}) с ортоклазовой компонентой от 3 до 13 % соответственно и находятся в мелкозернистой основной массе, состоящей из авгита (30-35 %), Ti-магнетита (3-5 %, местами до 10 %), реже КПШ, амфибола, ромбического пироксена, псевдоморфоз оливина. Авгит состава ($Wo_{31-40}En_{40-45}Fs_{18-26}$) представлен призматическими зернами и изометричными выделениями неправильной формы размером до 1 мм. Магнетит, образующий обычно отдельные хорошо ограненные полигональные кристаллы размером 0,1-0,5 мм, часто формирует скопления тесных срастаний многих индивидов и часто ассоциирует с пирротином и апатитом (Рисунок 1, C, F). Кроме постоянной значительной примеси TiO_2 (19-24 %) магнетит содержит Al_2O_3 (1,2-3,3 %), MnO (0,6-1,3 %), MgO (0,2-1,3 %) и Cr_2O_3 до 0,12 %. Редкие мелкие пластинчатые зерна ильменита содержат незначительные примеси MgO (0,9-2 %), MnO (0,6-1,2 %) и Al_2O_3 до 0,5 %.

В породе редко встречаются псевдоморфозы по округлым зернам (оливина?) размером 0,1-0,5 мм, находящихся в виде включений в плагиоклазе или в основной массе. По пироксену развивается амфибол, по составу отвечающий обыкновенной роговой обманке. Были также зафиксированы клиноэнстатит ($Wo_{4,6}En_{64}Fs_{31,4}$) и пижонит ($Wo_{13}En_{56}Fs_{31}$), кальцит, цеолиты и кварц. В основной массе наблюдаются мельчайшие гексагональные призматические кристаллики апатита до 0,1-0,5 мм в длину, содержащего F от 2,6 до 5,6 %. Подобный состав породообразующих и второстепенных минералов характерен докембрийским базитам, образующим протяженные дайковые пояса на Анабарском щите [3,4]. Таким образом, можно предположить, что данный образец долеритов, вероятно, принадлежит этой группе пород.

Основным сульфидным минералом изученного желвака овальной формы размером до 8 мм (Рисунок 1 A) является пирротин, по тонким сетчатым трещинкам которого развиты вторичные минералы. Как показали микрозондовые анализы (см. Таблицу 1), он является моноклинным пирротином Fe_7S_8, что подтверждается рентгенофазовым анализом. На дифрактограммах

некоторые слабые линии могут быть отнесены к халькопириту, пентландиту, пириту, миллериту и ковеллину. Вторым по распространенности сульфидом является халькопирит, образующий тонкие (до 10-30 мкм) каемки вокруг пирротина и проникающие извилистые прожилки (Рисунок 1 B). Кроме крупных округлых нодулей в долеритах наблюдаются и мелкие разрозненные капельки пирротина и халькопирита (Рисунок 1 C-F) размером от первых мкм до 0,1-0,2 мм. Сульфидные капельки часто тяготеют к скоплениям титаномагнетита и апатита, образуя тесные сульфид-апатит-титаномагнетитовые ассоциации. По-видимому, при их слиянии формируются вышеописанные крупные желваки, состоящие в основном из пирротина, окаймленного тонкой оболочкой халькопирита и извилистыми прожилками халькопирита, а также содержащие по периферии многочисленные амебовидные включения Ti-магнетита.

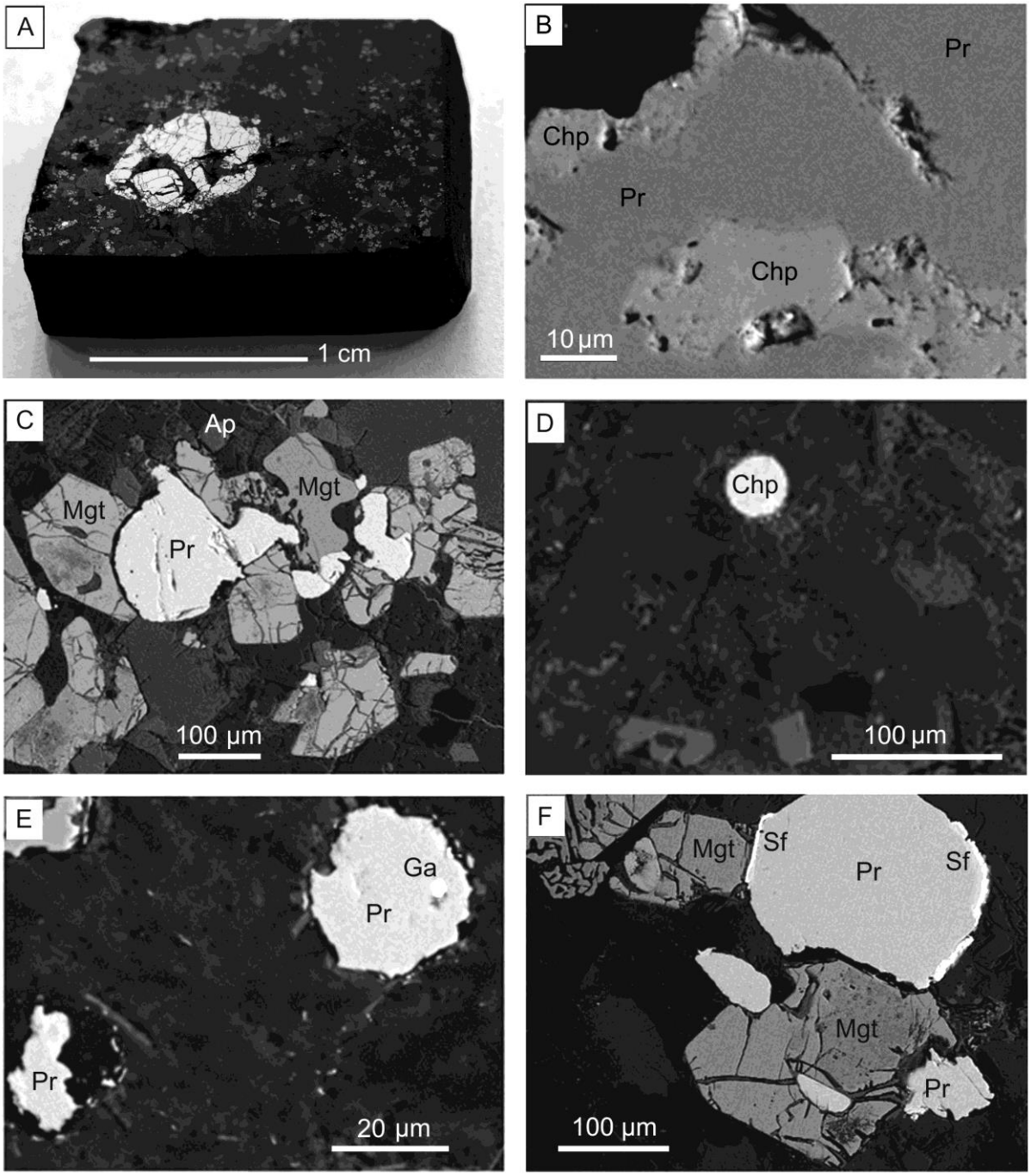


Рисунок 1. Минералы сульфидного желвака (A-B) и мелких выделений апатит-титаномагнетит-сульфидной ассоциации (C-F) в долеритах р. Большая Куонамка.
Pr – пирротин, Chp – халькопирит, Mgt – магнетит, Ap – апатит, Ga – галенит, Sf – сфалерит.

Остальные редкие сульфидные минералы (зигенит – $(Co, Ni, Fe)_3S_4$, герсдорфит NiAsS с высоким содержанием Fe до 6 %, Co до 12 % и Sb до 3 %, галенит, сфалерит и др.) встречены в виде очень мелких включений трудно поддающиеся качественному анализу из-за захвата электронным пучком вмещающей массы пирротина или халькопирита. Например, в пирротине встречаются мелкие (~ 3 мкм) изометричные включения галенита (Рисунок 1 E), а в одном случае вокруг «капельки» пирротина зафиксировано наличие тонкой каемки сфалерита (Рисунок 1 F). Как видно из таблицы 1, в пирротине обнаруживаются заметные примеси Rh до 1,1 % и Pd до 1,2 %, при отсутствии таковой Pt, а в халькопирите отмечена примесь Pt до 0,6 %. Среднее содержание ЭПГ в изученной сульфидной сегрегации достигает ~ 0,1 % (1 кг/т), причем преобладающим ЭПГ, по-видимому, является Pd. Следовательно, можно с уверенностью предположить, что при последующей кристаллизационной дифференциации больших объемов подобных сульфидных расплавов, в них будут появляться самостоятельные минеральные фазы платиновой группы. Факт присутствия заметной примеси ЭПГ в сульфидах свидетельствует о глубинной (мантийной) природе подобных сульфидных ликватов.

Подобная форма и аналогичная ассоциация сульфидных минералов характерна для PGE-Cu-Ni сульфидных месторождений норильского района [1, 2], а также вкрапленный и прожилково-вкрапленный тип медно-никелевой минерализации был ранее описан в Будьурхайской дайке по р. Кенгеде на юго-западе Анабарского щита [3]. Ликвационные «капли», сложенные пирротин-пентландит-халькопирит-борнит-зигенит-кобальтин-пирит-титаномагнетитой ассоциацией, широко распространены в глубоко дифференцированных телах рифейско-вендских пикритовых комплексов Южного Урал [5].

3. Выводы

Проведенные исследования сульфидных нодулей в долеритах, обнаруженных на восточном борту Анабарского щита, указывают на возможное присутствие здесь докембрийских базитов с PGE-Cu-Ni сульфидным оруденением. Округлые выделения сульфидных минералов с ровными краями свидетельствуют об их раннемагматической ликвационной природе и первоначальном пресыщении магмы сульфидами. Подобные минералого-геохимические и структурно-тектурные особенности рудно-магматических систем при благоприятных условиях глубинной дифференциации больших объемов магмы, несущих несмешивающиеся сульфидные ликваты могут привести к формированию богатых PGE-Cu-Ni сульфидных руд.

4. Благодарности

Авторы благодарят коллег, участвовавших в выполнении полевых работ: Андросова А.Р. – начальника и Находкина А.П. – геолога горно-проходческого отряда №1 ГРП «Куонамская», а также ведущих инженеров ИГАБМ Христофорову Н.В. и Васильеву Т.И. за проведение аналитических исследований. Работа выполнена по государственному заданию ИГАБМ СО РАН – проекты НИР № 0381-2019-0003 и 0004.

5. Литература:

[1] Genkin, A.D., Distler, V.V., Gladyshev, G.D et al. Sulfide copper-nickel ores of the Norilsk deposits / Moscow. Nauka. 1981. 234 p. (in Russian).

[2] Distler, V.V., Grokhovskaya, T.L., Evstigneeva, T.L. et al. Petrology of sulfide magmatic ore formation / Moscow. Nauka. 1988. 232 p. (in Russian).

[3] Oleinikov, B.V., Mashchak, M.S., Kolodeznikov, I.I. et al. Petrology and geochemistry of basites intrusions of the Siberian platform / Novosibirsk. Nauka. 1983. 208 p. (in Russian).

[4] Okrugin, A.V., Oleinikov, B.V., Savvinov, V.T., Tomshin, M.D. Late precambrian dyke swarms of the Anabar massif, Siberian Platform / Mafic dykes and emplacement mechanisms. A.A. Balkema. Rotteerdam Brockfield, 1990. pp. 529-534.

[5] Kovalev, S.G., Puchkov V.N., Kovalev, S.S. The first finds of siegenite in picrite and picrito-dolerite complex of the Southern Urals // Doklady Earth Sciences, 2014. 457. No. 3. pp. 308-314.

УДК 553.2 (571.56)

МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА И ВКРАПЛЕННАЯ СУЛЬФИДНАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ ВМЕЩАЮЩИХ ПОРОД ВЬЮНСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ (АДЫЧАНСКИЙ СЕКТОР, ЯНО-КОЛЫМСКАЯ МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКАЯ ЗОНА)

Лена Полуфунтикова[1,2], Валерий Фридовский[2], Ярослав Тарасов[1,2], Максим Кудрин[2]
1 Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, ул. Белинского, 58, г. Якутск, 677000, Россия
2 Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, пр. Ленина, 39, г. Якутск, 677000, Россия

MINERALOGICAL-GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS AND DISSEMINATED SULFIDE MINERALIZATION OF THE HOST ROCKS OF THE VYUNSKOYE ORE FIELD (ADYCHAN SECTOR, YANA-KOLYMA METALLOGENIC ZONE)

Lena Polufuntikova[1,2], Valery Fridovski[2], Yaroslav Tarasov[1,2], Maksim Kudrin[2]
1 M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, 58 Belinsky St., Yakutsk, 677000, Russia
2 Diamond and Precious Metal Geology Institute SB RAS, 39 Lenin Ave., Yakutsk, 677000, Russia

Annotation. The results of studying the distribution of major and trace elements in terrigenous rocks of the Upper Triassic and Middle Jurassic, as well as in distal metasomatites in the territory of the Vyunskoye ore field are presented. The petrochemical features of slightly altered terrigenous rocks, the conditions of their formation and changes in their composition as a result of epigenetic processes are analyzed. Typomorphic impurity elements in pyrites are determined and their distribution variations are described.

1. Введение

В Яно-Колымском металлогеническом поясе известны региональные зоны сульфидизации. Они проявлены как в пределах орогенных золоторудных месторождений (Наталка, Мало-Тарынское, Хангаласс и др.), так и на удалении от них [1-6]. Широкая полоса сульфидизированных пород приурочена к Чаркы-Индигирскому надвигу, отделяющему Кулар-Нерский террейн от Полоусно-Дебинского террейна.

Природа этой зоны сульфидизации и участие сульфидизированных пород в рудообразовании до конца не ясны. Нами зона сульфидизации Чаркы-Индигирского надвига изучена в нижнем течении руч. Бурганджа (правый приток р. Эльганджа) в пределах Вьюнского рудного поля.

Оруденение представлено гидротермальными жилами и прожилками кварцевого, карбонат-кварцевого, хлорит-карбонат-кварцевого состава приуроченными к зонам дробления, дайкам и пластам песчаников. Для вмещающих пород характерная вкрапленная сульфидная минерализация. Содержание сульфидов обычно не превышает 1%, на отдельных локальных участках увеличивается до 10%.

В ходе выполнения работы был проведен комплекс аналитических исследований. Определение породообразующих оксидов проводилось методом «мокрой химии» (аналитик Галенчикова Л.Т., ИГАБМ СО РАН). Атомно-эмиссионный спектральный количественный анализ для установления элементного состава минералов и пород выполнен на приборе iCAP 6300 DuoThermoScientific (аналитик Васильева А.С., СВФУ им. М.К. Аммосова). Химический состав пирита и арсенопирита определялся по стандартной методике рентгеноспектральным методом на микроанализаторе Camebax-Micro (аналитик Христофорова Н.В., ИГАБМ СО РАН).

2. Результаты работ и обсуждение

На исследуемой территории обнажаются породы верхнего триаса и средней юры, для которых характерно чередование пластов песчаников и алевролитов. Накопление терригенного материала

происходило в дистальных частях Верхоянской пассивной континентальной окраины. С послекатагенетическими процессами – региональным погружением пород и локальной динамотермальной активизацией, связано преобразование, как обломочной части, так и цемента пород. В песчаниках развиты структуры рекристаллизационно-грануляционного бластеза и поликристаллической грануляции. Аутигенные минералы участвовали в формировании гидрослюдисто-глинистого и серицит-гидрослюдисто-глинистого цемента пород. Околорудные метасоматиты, сформировавшиеся в результате воздействия метаморфогенно-гидротермальных растворов по песчаникам и алевролитам верхнего триаса, представлены карбонат-сульфидными, серицит-сульфидными и кварц-серицит-сульфидными березитами [7].

Содержания породообразующих элементов и микроэлементов характеризуется широким диапазоном изменений, что является прямым следствием многоэтапного развития территории, начиная от смены редокс-обстановок в период осадконакопления до магматогенно-гидротермальной проработки терригенных толщ. Значения петрохимических модулей указывает, что изученные породы относятся к нормо-железистым (ЖМ = 0,18-0,46) и повышенно-щелочным (НКМ = 0,25-0,49) полимиктовым песчаникам и алевролитам. Положительная корреляция модулей ТМ и ЖМ (r = 0,65), отрицательная – НКМ и ГМ (r = -0,66), а также низкие значения K_2O/Al_2O_3 (0,11-0,22), указывает на то, что породы относятся к «first cycle» образованиям [8]. Расположение фигуративных точек на графике ГМ - НКМ между средними значениями химических составов андезитов и дацитов, свидетельствует о преобладании в источниках сноса материала кислого состава.

Периодические изменения уровня моря, большие скорости захоронения осадка отразились на изменении окислительно-восстановительных условий придонных вод, существовавших в период формирования осадочных толщ. Анализ изменении окислительно-восстановительных условий формирования осадочных толщ был проведен по образцам малоизмененных песчаников и алевролитов с использованием отношение V/(V+Ni), V/Cr и Ni/Co (Рисунок 1).

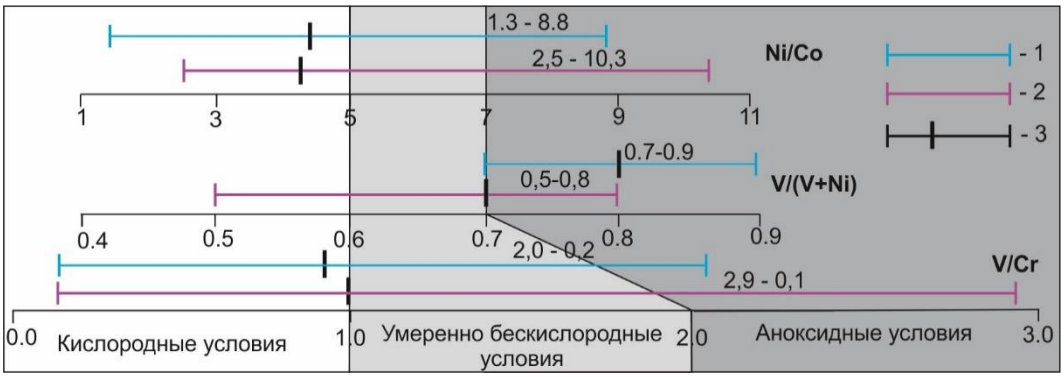


Рисунок 1. Вариации индексов редокс-обстановок:
1 – для юрских отложений; 2 – для верхнетриасовых отложений; 3 – минимум-среднее-максимум. Индексы Ni/Co и V/Cr [9]; V/(V+Ni) [10].

На рисунке 1 видно, что в период формирования осадочных толщ содержание кислорода в придонных водах нестабильно и наблюдаются изменения кислородных условий на дисоксидные и аноксидные. Учитывая тот факт, что поступающий из областей сноса терригенный материал был изначально обогащен рядом рудных элементов, смена редокс-обстановок являлась благоприятным фактором для формирования аутигенной сульфидной минерализации.

Спектральный анализ показал, что малоизмененные терригенные отложения верхнего триаса и средней юры обогащены относительно кларковых содержаний земной коры As, Pb, Mo, Cr, Li Rb и Ta (Рисунок 2 А). Для отложений верхнего триаса фиксируются повышенные содержания Ni и V. Юрские отложения обеднены по сравнению с породами верхнего триаса большинством рудных компонентов, но отличаются повышенными содержаниями Ba, Li и Sr. Наиболее устойчивые связи по данным корреляционного анализа наблюдаются в многокомпонентной геохимической ассоциации: Co-Ni- Zn-V-Sc-Cd. Для юрских отложений также выделяется пара

As-Mo (r = 0,83). Анализ соотношений микроэлементов в околорудных метасоматитах и малоизмененных пород верхнего триаса свидетельствует о выносе большинства рудных элементов из метасоматитов и повышенном содержании в них As, Pb и Cr. (Рисунок 2 Б). Содержания As в околорудных беризитах увеличивается в десятки раз. Большинство корреляционных связей сохраняется, но выделяется 2 геохимические ассоциации: Co-Ni- Zn и V-Sc-Nb-Zr. Таким образом, мы наблюдаем активную миграцию химических элементов как по разрезу, так и в системе порода-метасоматиты, что в свою очередь оказало влияние на состав сульфидов.

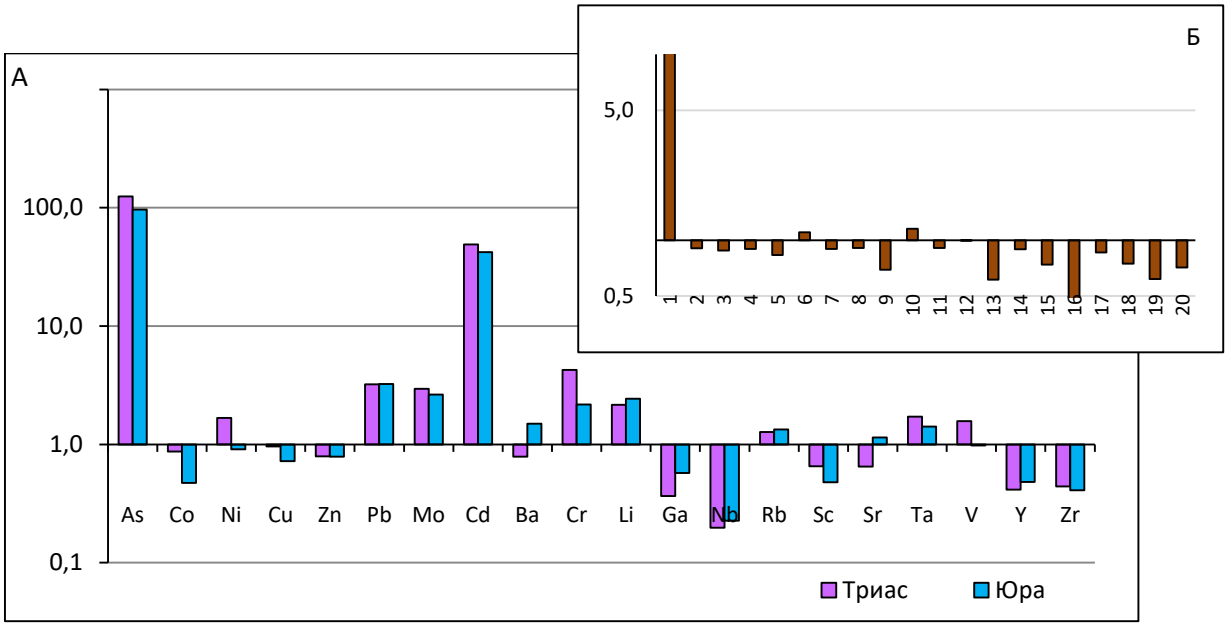


Рисунок 2. Распределение микроэлементов:
А – в малоизмененных вмещающих породах содержания нормализованы к средним значениям для верхней коры [11]; Б – в околорудных метасоматитах. Содержания нормализованы к малоизмененным породам вехнего триаса.

Анализ морфологических особенностей, химического состава и локализации пиритов из терригенных толщ позволил выделить три генерации пирита. Первичный диагенетический пирит (Py1) формирует мелкую, часто послойную вкрапленность, скопления и прожилки. Для него характерны сферические, фрамбоидные формы и пирит-марказитовые стяжения. В виде реликтов Py1 часто наблюдается в центральной части кристаллов более поздних генераций. Для Py2 характерна кубическая форма, размеры от 2-3 мкр до 2-4 мм. В непосредственной близости от рудных зон в ассоциации с ранним арсенопиритом (Apy1) формируется метасоматический пирит (Py3). В Py3 часто наблюдается неоднородность кристаллов (коррозия центральной части) и химическая зональность и секториальность, что связано с прерывистостью формирования кристаллов.

Типоморфными примесями пиритов являются As, Co, Ni, Cu, Sb. Содержание As в дорудных пиритах не превышает 0,2 масс. % (часто встречаются безмышьяковистые пириты), а в метасоматическом Py3 варьирует в пределах 0,30-2,83 % ($C_{ср.}$ = 1,16 %). Суммарное содержание примесей Co, Ni, Cu, Sb в среднем составляет 0,07-0,08 % (Рисунок 3). Повышение содержания какого-либо из этих элементов носит локальный характер и формирует химическую неоднородность отдельных кристаллов. Постоянной примесью в пиритах является Co при наименьших вариациях в содержании. Минимальные содержания Co характерны для краевых зон кристаллов Py3. Примесь Ni изменяется в широких пределах и повышенные содержания отмечаются в Py3 (C_{Ni} = 0,13-0,22 %). Корреляционные связи между Co и Ni носят переменный характер от умеренных (r = 0,43-45) в ранних пиритах, до сильных (r = 0,76) в Py3. В метаморфогенном пирите возрастает доля примеси Sb (max C_{Sb} = 0,06 %).

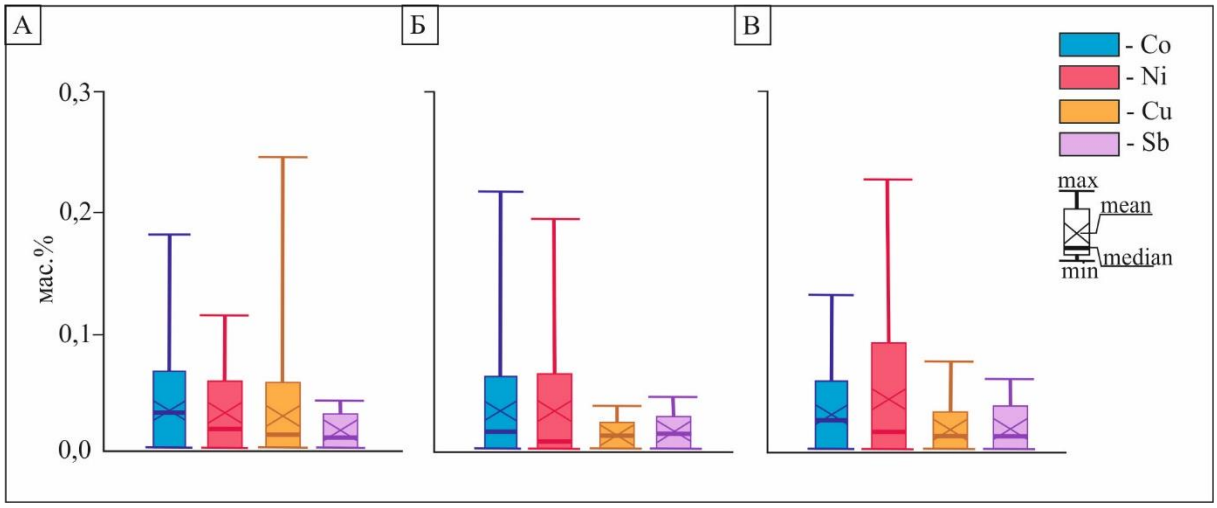


Рисунок 3. Вариации содержаний элементов – примесей в пиритах:
А – из отложений верхнего триаса; Б – из отложений средней юры; В – из околорудных метасоматитов.

3. Выводы

Анализ составов малоизмененных осадочных пород верхнего триаса и средней юры позволил сделать вывод, что изменения кислородных условий на дисоксидные и аноксидные, а также обогащенность терригенного материала рудными элементами способствовали образованию аутигенной сульфидной минерализации на ранних этапах формирования осадочных толщ. Последующее многоэтапное развитие территории сопровождалось активной миграцией химических элементов, их привносом и перераспределением. Главным сульфидным минералом вмещающих пород Вьюнского рудного поля является пирит, который представлен двумя дорудными генерациями и метасоматическим пиритом, для которого характерны повышенная примесь As. Для Py2 и Py3 характерны зональность и секториальность строения.

4. Благодарности

Исследование выполнено по государственному заданию ИГАБМ СО РАН, при частичной поддержке РФФИ (грант № 18-45-140040 р_а).

5. Литература:

[1] Kravtsova R. G., Tauson V. L., Goryachev N. A., Makshakov A.S., Lipko S. V., Arsent'ev K. Y., Sem study of the surface of arsenopyrite and pyrite from the Natalkinskoe deposit. Northeastern Russia // Geochemistry International 2020. vol. 58. № 5. pp.531-538.

[2] Fridovsky V.Y., Gamyanin G.N., Polufuntikova L.I. Structures. mineralogy. and fluid regime of ore formation in the polygenetic Malo-Taryn gold field. Northeast Russia // Russian Journal of Pacific Geology. 2015. vol.9. №4. pp. 274-286.

[3] Gamyanin G.N., Fridovsky V.Y., Viken'eva O.V. Noble-metal mineralization of the Adycha-Taryn metallogenic zone: geochemistry of stable isotopes. fluid regime. and ore formation conditions // Russian Geology and Geophysics. 2018. vol. 59. № 10. pp. 1271-1287.

[4] Kudrin M. V., Fridovsky V.Y., Polufuntikova L.I., Kryuchkova L.Yu. Disseminated gold-sulfide mineralization in metasomatites of the Khangalas deposit. Yana-Kolyma metallogenic belt (Northeast Russia): analysis of the texture. geochemistry. and s isotopic composition of pyrite and arsenopyrite // Minerals. 2021. vol.11. № 4 pp. 403.

[5] Fridovsky V.Y., Polufuntikova L.I., Tarasov Y.A. Mineralogy. geochemistry and localization of regional pyritization zones – constraints from early mesozoic deposition in the Chay–Yureya fault of the Kular-Nera terrane. NE Russia // IOP Conference series: earth and environmental science. 6th World Multidisciplinary Earth Sciences Symposium. 2020. pp. 012016.

[6] Goryachev N.A., Sotskaya O.T., Ignatiev A.V., Velivetskaya T.I., Goryacheva E.M., Semyshev F.I., Berdnikov N.V., Malinovsky M.A., Alshevsky A.V. On Sulfide Mineralization of Large Fault Zones in the Yana-Kolyma Orogenic Belt," The Bulletin of the North-East Scientific Center of FEB RAS. 2020. №1. pp. 11-29.

[7] Polufuntikova L. I., Fridovsky V. Yu., Akimova E. D., Zaitsev A. I. Hydrothermal-metasomatic changes in the host rocks of the Vyunsky ore plya (Kular-Nersky shale belt, North-East of Russia) // Materials of the XI VNPK "Geology and mineral resources of the North-East of Russia" 2019, Yakutsk IPK NEFU. pp. 77-80.

[8] Cox R., Lowe D.R., Cullers R.L. The influence of sediment recycling and basement composition on evolution of mudrock chemistry in the southwestern United States // Geochim. Et Cosmochim. Acta. 1995, vol. 59, pp. 2919-2940.

[9] Jones B., Manning D.A.C. Composition of geochemical indicesused for the interpretation of paleoredox conditions in ancient mudstones//Chem. Geol. 1994, vol. 111, pp. 111–129.

[10] Hatch J.R., Leventhal J.S. Relationship between inferred redox potential of the depositional environment and geochemistry of the Upper Pennsylvanian (Missourian) Stark Shale Member of the Dennis Limestone, Wabaunsee County, Kansas, USA // Chern. Geol. 1992, vol. 99, pp. 65-82.

[11] Taylor, S.R. and McLennan, S.M. Continental crust: composition and evolution. Moscow: Mir, 1988, 384 pp. (translated from English).

УДК 553.411

ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ КОНТРОЛЯ ЗОЛОТО- СУЛЬФИДНО-КВАРЦЕВОГО ОРУДЕНЕНИЯ В ПРЕДЕЛАХ ЗОЛОТОГОРСКОЙ ПЕРСПЕКТИВНОЙ ПЛОЩАДИ

Николай Пуляев
Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, ул. Белинского, 58, г. Якутск, 677000, Россия

GEOLOGICAL FACTORS OF CONTROL OF GOLD-SULFIDE-QUARTZ MINERALIZATION WITHIN THE ZOLOTOGORSKAYA PERSPECTIVE AREA

Nickolay Pulyaev
M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, 58 Belinsky St., Yakutsk, 677000, Russia

Annotation. The article presents the results of the work performed to identify the geological control factors of gold-sulfide-quartz mineralization based on the use of data from prospecting operations at the Zolotogorskaya area, located on the territory of the Chukotka. A description of the obtained is given for the work on the Volny site, which is the most promising of a number of other areas of the area. Within this area, a significant number of the higt-contrast complex geochemical anomaliez have been identifiad most of which have a clear spatial relationship with the ore bodies already discovered. It is established that the main factors controlling gold-sulfide-quartz mineralization are tectonic and geochemical.

1. Введение

Золотогорская перспективная площадь находится на территории Чукотского автономного округа. В результате проведенных поисково-разведочных работ на ней выявлено несколько участков с высококонтрастными геохимическими аномалиями. Наиболее перспективным из них является участок Вольный. Он сложен рассланцованными алевролитами, аргиллитами, песчаниками, андезитами и андезито-базальтами, диоритами, диоритовыми порфиритами, прорванными малыми телами и дайками среднего, реже кислого состава. Залегание пород осложнено системой разрывных нарушений северо-восточного и северо-западного простирания. Зоны тектонических нарушений сопровождаются интенсивным рассланцеванием, дроблением, окварцеванием и сульфидизацией.

2. Основная часть

На участке Вольный уже установлены рудопроявления золота жильного типа в диоритах. Жилы сульфидно-кварцевые, ориентированы в северо-западном направлении и прослеживаются по развалам до 100 м. при мощности от 0,4-0,6 м. до 1-1,5 м. Жильные минералы представлены преимущественно кварцем, реже кальцитом. Кварц кристаллический, катаклазированный с гнездовидной вкрапленностью и тонкими прожилками пирита и арсенопирита, в подчиненном количестве присутствуют галенит, сфалерит, халькопирит редко борнит, блеклая руда, пирротин. Из вторичных минералов отмечены халькозин, ковеллин, гетит. Околожильные изменения проявлены в виде окремнения и сульфидизации вмещающих пород. Содержания золота в жилах колеблются от 0,8 до 5-10 г/т. В пределах участка проведено литохимическое опробование вторичных ореолов рассеяния химических элементов масштаба 1:10000 [1, 2]. При математической обработке аналитических данных (полный статистический анализ и построение моделей геохимических карт) на уч. Вольный выявлено 12 высококонтрастных геохимических аномалий (Таблица 1). Для каждой аномалии определен ранжированный по коэффициентам контрастности ряд ХЭ, геохимическая специализация и сопряженность с уже выявленными рудными телами. Определен формационный тип оруденения каждого тела [2,3].

Таблица 1

Краткая характеристика комплексных геохимических аномалий

№	Ассоциация ХЭ	Геохимическая специализация	Сопряженность с формационным типом оруденения
1	22.8Au→4.1Ag→3.5Pb→3.0Mo→2.4As→1.5Li	золото-серебряная	золото-сульфидно-кварцеввй
2	21.1Au→1.8Mo→1.3Cu	золото-молибденовая	золото-сульфидно-кварцевый
3	4.1Au→ 1.9Ag→1.8As→1.4Pb→1.4Li	золото-серебряная	золото-сульфидно-кварцевый
4	9.2Au→ 2.9Ag→2.6As→2.6Pb→1.6Mo	золото-серебряная	золото-сульфидно-кварцевый
5	7.3Au→ 1.3Ag→1.3Ni→1.3Co→1.3Mn	золото-серебряная	золото-сульфидно-кварцевый
6	9.6Au→ 2.0Ag→1.7Pb→1.3Mo	золото-серебряная	золото-сульфидно-кварцевый
7	4.7Au→1.4Pb→1.4Mo	золото-свинцовая	золото-сульфидно-кварцевый
8	12.4As→5.0Au→2.0Pb→ 1.7Ag	мышьяковистая	золото-сульфидно-кварцевой
9	22.7Au→ 1.4Ag→1.4Pb	золото-серебряная	золото-сульфидно-кварцевый
10	8.0Au→2.0As→1.9Pb→1.6Ag→1.4Mo	золото-мышьяковистая	золото-сульфидно-кварцевый
11	7.0Au → 3.0As→1.5Ni→1.4Pb	золото-мышьяковистая	золото-сульфидно-кварцевый
12	5.5Au→ 3.4As→2.9Pb→2.1Ag→1.6Li→1.5Mo→1.4Sn	золото-мышьяковистая	золото-сульфидно-кварцей

Анализ пространственного расположения высококонтрастных геохимических аномалий уч. Вольный позволил некоторые из них объединить и сделать предварительную оценку на перспективность. Таким образом, вся территория уч. Вольный разделена на 5 частей различной степени перспективности (Таблица 2).

Таблица 2

Перспективные части участка Вольный, выделенные по геохимическим данным.

№ п/п	Название перспективной части	Номера объединенных аномалий	Общая площ. км^2	Прогнозируемый тип оруденения
1	Центральный	3	0,70	Золото-сульфидно-кварцевый
2	Северный	1	0,87	Золото-сульфидно-кварцевый
3	Западный	4	0,56	Золото-сульфидно-кварцевый
4	Южный	6,7,9,10,11,12	1,4	Золото-сульфидно-кварцевый
5	Плоский	2,5,8	0,76	Золото-сульфидно-кварцевый

Интерпретация полученного комплекса данных позволила выявить признаки и критерии поисков [1,5] оруденения золото-сульфидно-кварцевого типа.

Формационные критерии. Продуктивными являются малые интрузии и дайки андезитового, диоритового, риолитового и гранит-порфирового состава, слагающие раннемеловой вольнинский гипабиссальный комплекс. Рудовмещающими служат, как продуктивные интрузии

и дайки вольнинского комплекса, так и вмещающие их верхнеюрско-нижнемеловые терригенные и вулканогенные отложения.

Структурно-тектонические критерии. Рудоносной структурой является Центральная зона смятия северо-восточного простирания. В ее пределах выделяются шесть блоков: Центральный, Скорбутный, Покровский, Крутой, Горный, Ступенчатый. Наиболее перспективными на коренное золотое оруденение являются Центральный и Крутой блоки, на территории которых расположен участок Вольный.

Метасоматические критерии. К разломам приурочены значительные по площади участки и мощные протяженные зоны прокварцованных, карбонатизированных, сульфидизированных (арсенопирит, пирит) пород, которые контролируют размещение рудоносных кварцево-жильных образований.

Геохимические признаки. Золото-сульфидно-кварцевое оруденение сопровождается аномалиями золота с содержаниями до 0,01-1 г/т, а также аномалиями меди, серебра, цинка, свинца, ртути, вольфрама, молибдена, висмута, мышьяка, скандия, никеля, хрома.

Минералогические признаки. На всей Золотогорской площади выявлен обширный шлиховой ореол золота. На территории также открыто много россыпей золота, включая промышленные. В многочисленных пунктах минерализации в кварцевых и сульфидно-кварцевых жилах, прожилково-жильных зонах и штокверках установлены содержания золота до 10-23,4 г/т. Золото ассоциирует с пиритом, арсенопиритом, галенитом, халькопиритом, сфалеритом.

3. Выводы

Детальное изучение степени проявления на территории участка Вольный вышеперечисленных поисковых признаков и критериев показало, что четко выделяются два фактора контроля золото-сульфидно-кварцевого типа. Это геохимический и тектонический. Все 12 высококонтрастных аномалий локализованы в зонах разрывных нарушений и пространственно сопряжены с рудными телами. Основные рудоконтролирующие структуры связаны с разломами северо-восточного простирания. Геохимическая специализация аномалий отражает минеральные ассоциации рудных тел. Для некоторых аномалий не была установлена прямая связь с рудными образованиями, но учитывая выявленные поисковые предпосылки и критерии, можно с высокой вероятностью прогнозировать обнаружение новых рудных объектов с золото-сульфидно-кварцевой минерализацией.

4. Литература:

[1] Abramson G. Ya., Morozov V. I. Features of geochemical, searches of deposits of precious metals of various geological and industrial types. / Theory and practice of geochemical searches. M. Nauka, 1990, pp.154-161.

[2] Geological survey of complex dislocated complexes. / Methodical manual on geological survey of scale 1: 50000. №. 6. L. Nedra, 1986, 227 pp.

[3] Grigoryan, S. V. Primary geochemical halos in prospecting and exploration of ore deposits. M.: Nedra, 1987, pp. 348- 384

УДК 553.411

РЕЗУЛЬТАТЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГЕОХИМИЧЕСКОЙ СПЕЦИАЛИЗАЦИИ СЛОЖНО ДИСЛОЦИРОВАННЫХ ГЛУБОКОМЕТАМОРФИЗОВАННЫХ КОМПЛЕКСОВ

Николай Пуляев
Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, ул. Белинского, 58, г. Якутск, 677000, Россия

RESULTS OF DETERMINATION OF GEOCHEMICAL CHEMICAL ELEM ENTS PECIAL IZ AT I ON OF COMPLEXLY DISLOCATED DEEP METAMORPHOSED COMPLEXES

Nickolay Pulyaev
M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, 58 Belinsky St., Yakutsk, 677000, Russia

Annotation. The paper presents the results of the work on the determination of the geochemical specialization of the complexly dislocated deep metamorphosed complexes composing the Sutamsky block of the second order, which is one of the largest and most promising tectonic formations of the Aldan- Stanovoy Shield. A brief description of the geological structure of the block is given. The identified leading associations of rocks forming deep metamorphosed complexes are listed. The leading associations of ore chemical elements and their belonging to specialized geochemical complexes and geological formations are determined for the underlying rocks of complexes and associated with them by high-contrast lithochemical flows of chemical elements scattering. Based on the obtained data, the geochemical specialization of the complexes was determined and a prospective assessment of the metal content of the Sutamsky block was given.

1. Введение

Объектом для применения методики определения геохимической специализации сложно дислоцированных и глубокометаморфизованных комплексов [1, 2] был выбран Сутамский блок. Он находится в зоне сочленения Алданского и Станового мегаблоков, образующих Алдано-Становой щит (АСЩ), который представляет собой одну из немногих региональных структур широкого развития сложно дислоцированных глубокометаморфизованных комплексов горных пород. Изучение геологического строения, геохимических и металлогенических особенностей блока способствует решению многих геологических задач. Географически блок расположен между реками Гонам и Сутам, берущими начало в северных отрогах Станового хребта в Южной Якутии.

2. Основной раздел

В геологическом строении блока принимают участие архейские и нижнепротерозойские метаморфические, ранне- и позднеархейские, раннепротерозойские, раннерифейские, позднеюрские и раннемеловые интрузивные и юрские терригенные горные породы. Тектоническое строение ы блока понимаются как сочетание ряда антиклинальных и синклинальных структур северо-западного простирания, которые в свою очередь, неоднократно подвергались пликативным и дизьюнктивным деформациям. В пределах блока выявлено 11 петрографических разновидностей горных пород. Геохимическая характеристика пород и мера сходства между ними определены по анализам 3644 проб коренных пород с применением комплекса математических методов. В результате выделено пять устойчивых ассоциаций горных пород.

На АСЩ, по однотипным и устойчивым ассоциациям породы объединяются в формации, которые представляют собой сочетания тоже устойчивых ассоциаций пород и выделяются в

структурно-вещественные комплексы (СВК) [2,3,4]. Эти геологические образования отличаются от смежных с ними значениями вещественных, структурных и петрофизических характеристик слагающих их пород. Нами была принята модель расчленения геологических образований АСЩ на формационные типы, которые, на основе сходства ряда характеристик, объединены в СВК: Курультино-Гонамский, Иенгрский, Тимптоно-Джелтулинский, Олекмо-Становой и Южно-Якутский. Определение геохимической специализации комплексов проводилось по методике, предложенной А.А. Смысловым [5] по значениям кларка концентрации (КлК) ХЭ. При значениях КлК 0,5-1,5 геохимическая специализация комплекса определена как кларковая. При КлК в пределах >1,5 – 2,5 геохимическая специализация комплекса определена как слабо специализированная, а при КлК >2,5 – как специализированная.

Всего по коренным породам определено семь специализированных комплексов (Таблица). Специализация комплексов выявлена по ведущим устойчивым ассоциациям ХЭ. В каждой ассоциации значения коэффициентов корреляции между ХЭ значимы и варьируют в пределах 0,4-0,9. Ранжирование ХЭ сделано по уменьшению коэффициентов корреляции и с учетом структуры взаимосвязи ХЭ в ассоциации, по графикам, отражающим графы корреляционной связи (круговым диаграммам, дендрограммам).

Таблица

Ведущие геохимические рудные ассоциации в коренных породах.

Название геохимического комплекса	Ведущая ассоциация ХЭ (специализация)	Принадлежность к формации
Специализированный литофильный	P, B, Ga, V, Cu, Pb, Co	Биотит-амфибол-гнейсовая, амфиболитовая
Специализированный сидеро-литофильный	P, B, V, Ti, Pb, Ga, Mn, Co	Метаморфизованная габбро-диабазовая
	P, Pb, Cr, Ni, Ga, B, Mn, Cu, V, Ti	Андезит-дацит риолитовая
	P, Cr, V, Ga, Ni, Cu, Pb, Mn, Ti	Песчано-конгломератовая
	V, B, Ga,Cr,Co Ni	Базит-сланцево гранулитовая
Специализированный халько-литофильный	Ga, Ag, Pb, Mo, V	Песчаниковая молассоидная угленосная
	Pb, P, Ga, Ni, Sn Ti, Cr, Mo	Алевролито-песчаниковая молассоидная, угленосная
Слабо специализированный сидеро-литофильный	P, V, B, Cr, Ti, Mn, Ni, Ga	Диорит-гранодиоритовая
	P,Ti	Песчаниковая молассоидная
Слабо специализированный литофильный	Ga, P	Мигматит-гранито-вая
Слабо специализированный	Pb, Ge ,Zn, Mn	Сланцево-гнейсовая, гранулитовая
сидеро-халькоильный	Pb, Ge, Zn, Ga, Ti, Mn, Ni, Cu	Сланцево-эндербитовая
Слабо специализированный халько-сидерофильный	V, Mn, Ti, Ga	Диафториты

Принадлежность комплексов к той или иной геологической формации определена с учетом комплекса статистических характеристик распределения ХЭ в каждой опробованной литолого-петрографической разности пород. Аналогичные расчеты выполнены и по данным опробования литохимических потоков рассеяния ХЭ. Было выделено 5 геохимических комплексов. Для всех выделенных комплексов определены геохимическая специализация и принадлежность их к определенным формациям, установлена пространственная сопряженности потоков рассеяния с коренными породами и по приуроченность к формациям и СВК. Отнесение комплексов к тем

или иным геологическим формациям выполнено с учетом близости элементных составов ведущих ассоциаций. Посходству ведущих ХЭ геологические формации, установленные на территории Сутамского блока, нами объединены в три группы. Первая группа объединяет гнейсово-гранулитовую и глиноземисто-гнейсово-кварцитовую гранулитовую формации Иенгрского СВК. Для коренных пород этой группы формаций отмечаются ведущие ассоциации Mn-Ti-Ni-Ga с КлК >1,5 и Cu-B-Pb с КлК <0,5. Для литохимических потоков рассеяния характерны ассоциации: Mo-Ti-Cr-V с КлК >1,5 и P-Pb-Zn с КлК <1,0. Вторая группа включает гранат-гнейсовую амфиболитовую, биотит-амфибол-гнейсовую амфиболитовую формации Тимптоно-Джелтулинского СВК и метаморфизованную габбро-диабазовую формацию Олекмо-Станового СВК с КлК >1,5. Для коренных пород этой группы формаций отмечается ведущая ассоциация B-Ga-Ti-Pb. Для литохимических потоков рассеяния характерна ассоциация Cr-Mo-V-Ti. В третью группу включены алевролито-песчаниковая молассоидная угленосная, песчаниковая молассоидная угленосная, песчано-конгломератовая молассовая и андезит-дацит-риолитовая формации Южно-Якутского СВК с КлК >1,5. Для коренных пород этой группы формаций отмечается ведущая ассоциация Pb-Ga-V. Для литохимических потоков рассеяния характерна ассоциация Ti-Mo-V.

3. Выводы

Полученные результаты показывают, что исследованная территория характеризуется развитием следующих главенствующих устойчивых геохимических ассоциаций: рассеянных элементов; редкоземельных элементов; элементов группы железа; металлических элементов. Анализ выявленных геохимических ассоциаций позволил нам сделать предположение о наличии на изученной территории новых рудных образований, специализированных на сидерофильную и халькофильную группы химических элементов. Сравнение элементных составов ассоциаций с типоморфными ассоциациями ХЭ уже известных рудных образований на Сутамском блоке и смежных с ним территориях показало их значительное сходство. Этот факт подтверждает эффективность применения геохимических данных для поисков рудных полезных ископаемых на данной территории и позволяет прогнозировать обнаружение новых рудных объектов с аналогичными типами оруденения. Примененная нами методика оценки территории по геохимическим данным может быть рекомендована для применения на других площадях АСЩ, сложенных сложно дислоцированными глубокометаморфизованными комплексами.

4. Литература:

[1] Abramson G. Ya., Morozov V. I. Features of geochemical searches of deposits of precious metals of various geological and industrial types. / Theory and practice of geochemical searches. M. Nauka, 1990, pp. 154-161.

[2] Geological survey of complex dislocated complexes. / Methodical manual on geological survey of scale 1: 50000. № 6 L Nedra 1986, 227 pp.

[3] Grigoryan, S. V. Primary geochemical halos in prospecting and exploration of ore deposits. M.: Nedra. 1987, pp. 348-384.

[4] Grigoryan S. V., Solovov A. P., Kuzin M. F. user manual for the geochemical methods of exploration for mineral deposits M Nedra 1983, pp. 7-27.

[5] The principles and methodology of geochemical studies of the prediction and the search for ore deposits. Methodological recommendations. Ed. Smyslova A. A. and al. L. Nedra. 1980, pp 137-235.

УДК 553.411

ОСОБЕННОСТИ РУДОНОСНОСТИ СЮРАМПИНСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ НА СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ЭЛЬГИНСКОГО РУДНОГО УЗЛА

Екатерина Серкебаева[1], Альмир Алимгузин[2]
1 Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, пр. Ленина, 39, г. Якутск, 677000, Россия
2 ПАО «Селигдар», ул. 26 Пикет, 12, г. Алдан, 678900, Россия

FEATURES OF ORE CONTENT OF THE SYURAMPINSKY ORE FIELD IN THE NORTH-WESTERN PART OF THE ELGINSKY ORE CLUSTER

Ekaterina Serkebaeva[1], Almir Alimguzin[2]
1 Diamond and Precious Metal Geology Institute SB RAS, 39 Lenin Ave., Yakutsk, 677000, Russia
2 Seligdar PAO, 12 26 Piket St, Aldan, 678900, Russia

Annotation. This paper presents updated data on the mineral composition of the Syurampinsky ore field, based on the results of X-ray spectral microprobe anadysis. Silver-containing sulphosalts and sulphoantimonites were determined in the ores of low-sulfide gold-quartz ore occurrences, which implies the identification of gold-silver mineralization.

1. Введение

Геологосъемочные работы на данной площади начались еще в 40-х годах Верхне-Индигирским геологоразведочным управлением Дальстроя. Проведены геологические съемки масштаба 1:100 000 и крупнее, и целенаправленные поисковые работы, в результате которых дано более детальное расчленение триасовых и юрских отложений, выделены основные петрографические типы интрузивных образований и ведущие структурные формы, практически вся территория оказалась покрытой шлиховым опробованием, что привело к локализации фронта поисковых работ и к открытию месторождений и проявлений золота и редких металлов.

В 50-70е годы опубликованы и освещены в научно-производственных отчетах данные, касающиеся вопросов стратиграфии, магматизма, тектоники, металлогении, геоморфологии и гидрогеологии района.

2. Геологическое строение Сюрампинского рудного поля

Сюрампинское рудное поле (площадь 149,5 км^2) расположено на левобережье р. Эльги, в бассейне ее левого притока руч. Сюрампы, сложено породами норийского и карнийского ярусов верхнего триаса, относящихся к Эльгинскому стратиграфическому району.

Вмещающие породы представляют собой переслаивание алевролитов, песчанистых алевролитов, алевритистых песчаников, песчаников с прослоями линз мелкогалечных конгломератов. Отложения четвертичной системы пользуются широким развитием в районе и представлены коллювиально–делювиальными, аллювиальными и флювиаглициональными отложениями.

Магматические образования представлены Талалахским массивом, сложенного биотитовыми и двуслюдяными гранитами колымского комплекса и сериями даек нера-бохапчинского габбро-диоритового (J_3nb) комплекса.

В структурном отношении проектируемая площадь расположена в пределах сводовой части крупной Талалахской антиклинали. Концентрация золоторудных образований в пределах Сюрампинского рудного поля определена пересечением субширотных и северо-западных разрывов с зоной глубинного поперечного разлома, контролирующего Буркатский поперечный ряд интрузивов.

В пределах рудного поля выделено 6 золоторудных проявлений (Тот, Гром, Шарада, Лагерный, Мизер, Боб). В зонах оруденения минерализованные рудные тела с маломощными кварцевыми жилами и линзами подвержены пиритизации, прожилковому окварцеванию и дроблению.

Минеральный состав зон беден и наряду с кварцем и хлоритом, реже карбонатом в незначительных количествах отмечается редкая вкрапленность пирита, галенита, арсенопирита и сфалерита (1-2 %). Содержание золота обычно незначительное и только в единичных случаях достигает промышленных концентраций (проявление Тот). Золото в жилах распределено неравномерно. Содержание его варьирует в довольно широких пределах – от «следов» до 60,6 г/т. Самородное Au макроскопически встречается в виде мелких интерстициальных выделений размером 0,2-1,5 мм, редко до 3 мм (Рисунок 1 А), или нитевидно-вкрапленные (Рисунок 1 Б). Ассоциирует оно обычно с арсенопиритом и галенитом.

Все известные в бассейне р. Сюрампы проявления золота относятся к гидротермальным среднетемпературным образованиям малосульфидной формации, к ее пирит-арсенопиритовому минеральному типу.

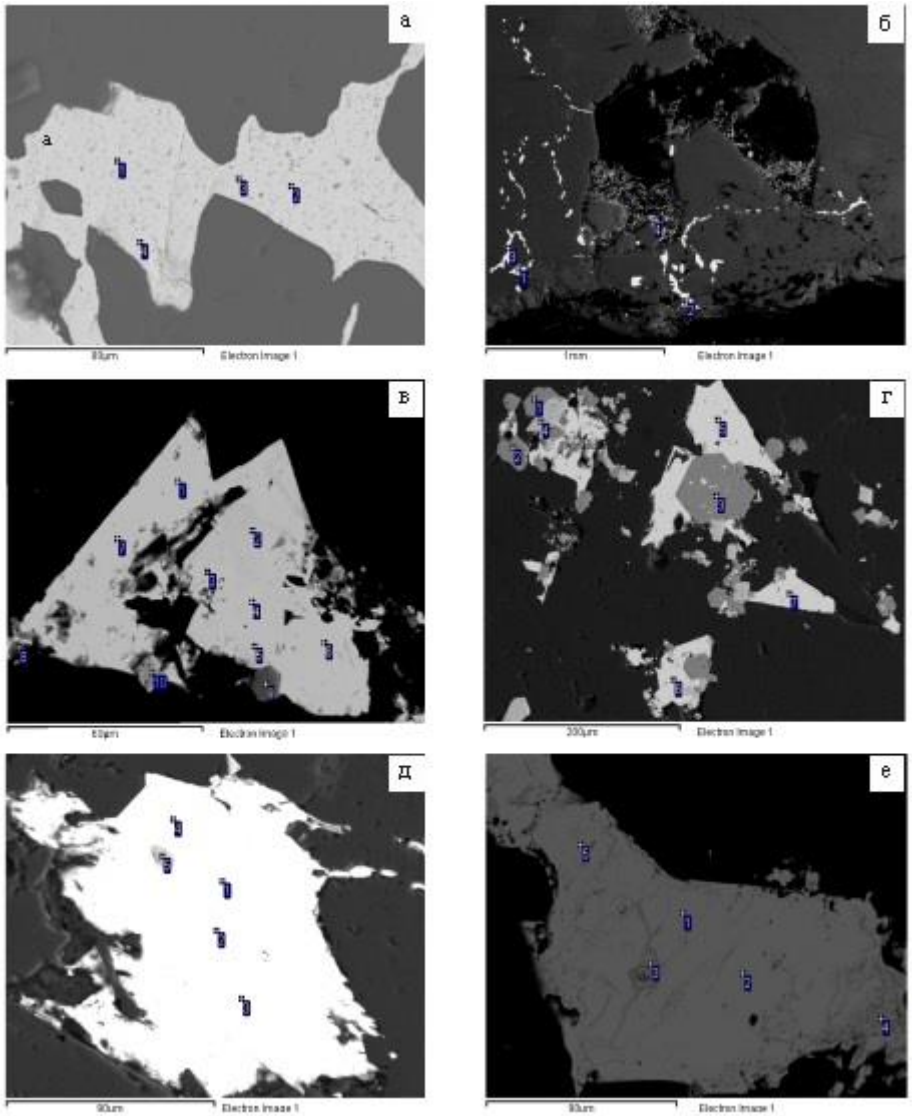


Рисунок 1. Взаимоотношение рудных минералов Сюрампинского рудного поля:
А – зерно самородного золота в кварце; Б – нитевидные выделения самородного золота; В – зерно (1, 3-4, 7-8) в форме усеченной призмы диафорита (серое) с включениями тетраэдрита (2, 5-6) и арсенопирита (10); Г – гексаэдры зерен пирита (1-3), призматическое зерно арсенопирита, призматические зерна тетраэдрите (5-7); Д – джемсонит (белое) с примесью идиоморфного зерна сфалерита (серое); Е – массивное зерно диафорита.

В пределах рудного поля аномалии Au сопровождаются повышенными концентрациями Ag, As, Pb, Zn, Cu, и в меньшей мере Sn, Mo Mn. Для определения химического состава минералов

использовался рентгеноспектральный микрозондовый анализ, по результатам которых определены сульфоантимониты и сереброносные сульфосоли. В рудах такие минералы самостоятельных выделений не образуют, или встречаются весьма редко. Обычно это гнезда сросшихся ассоциирующих минералов. Состав сульфоантимонитов Сюрампинского рудного поля нестехиометричен. Вариации изменений состава свойственны диафориту и джемсониту, например, они обеднены свинцом, но обогащены сурьмой. Джемсонит заполняет межзерновые пустотки в кварце (Рисунок 1 Д), в форме интерстициальных обособлений в ассоциации с арсенопиритом или сфалеритом. Состав приведен в таблице 1, ан. 1-2. В редких случаях отмечается примесь мышьяка в пределах (0,07-0,30) и серебра. Редкий серебросодержащий минерал предположительно диафорит, обогащенный медью, встречается как включения в блеклой руде (Таблица 1, ан. 3-5, Рисунок 1 В).

Таблица 1

Состав сульфосолей и сульфоантимонитов рудопроявлений Сюрампинского рудного поля, масс. %.

Минерал		Pb	Ag	Fe	Cu	Sb	As	Zn	S	Сумма
Джемсонит	1	27,64	4,71	7,45		33,89			20,17	98,16
Джемсонит	4	38,85		2,45		36,50	0,07		20,33	98,19
Диафорит?	4	13,88	14,45	1,81	9,52	36,45			20,45	96,56
Диафорит?	6	20,78	24,53	4,93	18,57	27,63			20,18	95,84
Диафорит	2	20,22	12,83			43,43			20,85	97,33
Блеклая руда	6		16,46	5,04	23,44	28,35		2,85	21,93	98,10
Блеклая руда	3		35,56	5,31	11,79	28,21			21,02	101,90
Блеклая руда	4		36,43	4,29	11,73	29,05			20,05	101,55

Высокосереброносная блеклая руда образует идиоморфные зерна (Рисунок 1 Г, Е) среди гексаэдров пирита, четких кристаллов халькопирита и арсенопирита. По составу, в которых содержание железа преобладает над цинком, близки к блеклым рудам из месторождений Дичек, Сахчан, Альфа золото-серебряной формации Адыча-Тарынской зоны [1]. В составе джемсонита определены примеси Ag до 3,51 и As 1,99, Fe 2,45. А содержание серебра местами увеличивается до 10,89.

3. Выводы

Приведенные данные, выявленные рудные сереброносные минералы, показывают на наложение на раннюю золоторудную минерализацию поздней золото-серебряной формации.

4. Литература:

[1] Gamyanin G.N. Mineralogical-genetic aspects of the gold mineralization of the Verkhoyansk-Kolyma Mesozoids. M.: GEOS, 2001, pp. 222.

УДК 553.98:551.736(571.56-15)

ОСНОВНЫЕ НЕФТЕГАЗОПЕРСПЕКТИВНЫЕ РАЙОНЫ ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

Алексей Сивцев, Заида Иванова, Мария Карпова
Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, ул. Кулаковского, 50, г. Якутск, 677000, Россия

THE MAIN OIL AND GAS PROMISING AREAS OF THE EASTERN PART OF THE SIBERIAN PLATFORM

Alexey Sivtsev, Zaida Ivanova, Maria Karpova
M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, 50 Kulakovskiy St., Yakutsk, 677000, Russia

Annotation. The necessity and possibility of expanding the oil and gas transportation infrastructure to involve small and medium-sized fields in development by prospecting large or giant fields is noted. Analytically considered the main oil and gas promising territories of the eastern part of the Siberian platform: Aldan-Maiskaya, Kempendyaiskaya and Sukhanskaya depressions and the slopes of the Suntarskiy and Yakutsk uplifts. Brief geological characteristics and main indicators of oil and gas potential are given.

1. Введение

В настоящее время основной проблемой многих средних и мелких по запасам месторождений Якутии является низкая (или отрицательная) рентабельность освоения запасов в условиях отсутствия нефтегазотранспортной инфраструктуры.

Целью работы заключается в рассмотрении возможностей расширения нефтегазотранспортной инфраструктуры путем открытия нефтяного или газового месторождения с крупными и уникальными запасами. В этом случае, рентабельность освоения запасов мелких и средних месторождений, попадающих нефтегазотранспортный коридор повысится, а также появится интерес для проведения геологоразведочных работ у недропользователей в перспективных территориях. Таким образом обоснование и выделение перспективных крупных зон нефтегазонакопления представляется весьма актуальной задачей.

На территории Западной Якутии выделяются Лено-Тунгусская и Лено-Вилюйская нефтегазоносные провинции. Лено-Тунгусская провинция сложена терригенно-карбонатными отложениями верхнего протерозоя и галогенно-карбонатными нижнего палеозоя. Наложенная Лено-Вилюйская провинция представлена исключительно терригенными отложениями верхнего палеозоя и мезозоя. Отдельно можно выделить среднепалеозойский комплекс отложений. Этот комплекс отложений выполняет узкие авлакогены, унаследованные от рифейского этапа развития региона.

По ряду общегеологических позиций и промысловых показателей выделяется несколько наиболее перспективных территорий, где еще можно проводить поисковые работы крупных месторождения нефти и газа. Ниже представлены наиболее нефтегазоперспективные территории Якутии

2. Основная часть

Кемпендяйская впадина. Кемпендяйская впадина по поверхности фундамента представляет собой крупную отрицательную асимметричную структуру северо-восточного простирания. По замкнутой изогипсе (6 км) она имеет длину 220 км, ширину — 60-120 км. В наиболее прогнутой части впадины глубина залегания фундамента достигает 10-12 км.

Присутствие мощного (до 2 км) комплекса верхнедевонских соленосных отложений и весьма вероятное присутствие на глубинных этажах нижнекембрийского соленосного комплекса предопределяют уникальность Кемпендяйского геологического района.

О высоких перспективах нефтегазоносности исследуемой территории свидетельствуют результаты глубокого бурения в районе вышеуказанных «Кемпендяйских дислокаций». Так, в 1985 г. при бурении на Атыяхской структуре (скважина № 451) из подсолевых отложений было получено аварийное проявление газа. В интервале глубин 3560-3582 м резко возросла скорость механического бурения, обнаружилось поступления газа в промывочную жидкость (содержание газа в жидкости достигало 30-40 %). Состав газа отличался более высоким содержанием гомологов метана (C_2H_6 - 8,4 %, C_3H_8 - 5,4 %, C_3H_{10} - 2,3 %) по сравнению с газами газонефтяных месторождений НБА. Другими словами, состав газа в этой скважине соответствует составу газа газовой шапки нефтяного месторождения. Пластовое давление, рассчитанное в процессе задавки скважины с целью предотвращения аварийного выброса газа, составляло 50-52 МПа, что более чем на 15 МПа превышает условное гидростатическое давление. Потенциальный дебит для пластового давления 52 МПа по экспериментальной программе специалистами ВНГРЭ был оценен на уровне от 600 тыс. $м^3$ до 1,1 млн $м^3$ /сут [1].

Сунтарское поднятие представляет собой крупный горст, имеющий в плане овальную форму, вытянутую в северо-восточном направлении на 220 км при ширине около 80 км. Юго-восточный и северо-западный склоны погружаются достаточно резко по серии региональных субпродольных разломов. Северо-восточный склон имеет относительно пологое погружение по поверхности фундамента. Здесь, по материалам последних сейсморазведочных работ Росгеологии со стороны Вилюйской синеклизы выклиниваются венд-кембрийский, среднепалеозойский и пермо-триасовый комплексы отложений [2].

Венд-кембрийский комплекс нефтегазоносен в пределах соседних НБА и Предпатомского регионального прогиба. Также повышенная перспективность данного комплекса отложений обуславливается развитием кембрийских отложений куонамской формации с весьма высоким содержанием органического вещества, проходящих широкой полосой восточнее рассматриваемой территории.

Пермо-триасовый комплекс содержит практически все запасы газа, установленные в пределах Вилюйской синеклизы.

Можно отметить, что недалеко, севернее находится Нижнетюкянское газовое месторождение. Притоки получены из нижнеюрских отложений (311,312 – 25,6 тыс. $м^3$/сут; 188,8 тыс. $м^3$/сут). На глубинах порядка 1300 м. По всей видимости, притоки газа, являются вторичными. Основные скопления могут быть связаны с нижезалегающими горизонтами перми и триаса.

Так, Быраканской поисковой скважине №118-4 в интервале залегания пермских отложений были зафиксированы притоки пластовых вод с газом и с пленками нефти (гл .2972-3011 и 3229-3256). Возможно, в этом интервале Быраканская скважина вскрыла зоны водонефтяного или газоводяного контакта крупного месторождения.

Суханская впадина. Суханский бассейн является одним из наименее изученных в геолого-геофизическом отношении регионов Сибирской платформы. По всей видимости из-за трудной доступности. Впадина находится по середине 3-х крупных положительных структур: Анабарской антеклизы, Оленекского и Мунского поднятий. По периферии бассейна известны многочисленные прямые признаки нефтегазоносности в виде крупных скоплений природных битумов и нефтепроявлений в ряде кимберлитовых трубок. Даже есть места, где из стенок шурфа течет жидкая нефть (Кеneликенская нефть). Арчегов В.Б. пишет [3]: «За два часа со дна шурфа были отобраны пробы чистой темной оливково-зеленой нефти (175 мл) и водонефтяной эмульсии (450 мл)».

Основные нефтематеринские комплексы Суханского осадочного бассейна представлены битуминозно-карбонатной хатыспытской, свитой венда (эдиакарий) и высокоуглеродистой карбонатно-кремнистой сланцевой куонамской, свитой нижнего и среднего кембрия.

Куонамская формация распространена в полосе, протягивающейся более чем 2500 км от Игарского района на северо-западе, через современное Прианабарье и бассейн р. Оленек и запад Вилюйской синеклизы до Алданского щита на юго-востоке Сибирской платформы. Ширина полосы формации колеблется от 200 до 620 км.

Самые высокие концентрации ОВ в Куонамской формации связаны с аргиллитовыми разностями пород. Содержание органического углерода (Сорг) в глинистых разностях, обогащенных ОВ, превышает 10 % и может достигать 38 % [4].

Таким образом, на территории Суханской впадины могут быть обнаружены залежи нефти и газа образованные за счет реализации нефтегазоматеринского потенциала высокопродуктивной Куонамской формации.

Склоны Якутского поднятия. Якутское поднятие (ЯП) – крупная положительная тектоническая структура первого порядка, которое представляет собой погребенный под юрскими отложениями субширотный выступ кристаллического фундамента. В региональном тектоническом плане поднятие осложняет северо-восточный склон Алданской антеклизы и располагается в зоне сочленения последнего с Предверхоянским прогибом и Вилюйской синеклизой.

На северном и северо-восточном склонах основные перспективы связываются с пермо-триасовым комплексом отложений. На восточном, юго-восточном и южном склонах основные перспективы нефтегазоносности связаны с древними толщами отложений кембрийского, вендского и возможно, рифейского возраста. Результаты геофизических исследований и глубокого бурения указывают наличие зон выклинивание пермских и триасовых отложений на Северном склоне ЯП. В Намской опорной скважине дебит газа из юрских отложений достигал 1700 $м^3$/сут (1975-1980 и 1956-1964 м).

На северном склоне ЯП было проведено прямое геохимическое опробование по 3 меридиональным профилям. Полученные аномалии качественно и количественно сопоставляются с аномалиями с полученными на Средневилюйском ГКМ. Т.е. величины и морфология кривых, полученных на основе измерения содержания ароматических элементов совпадает с кривыми и величинами реального месторождения [5].

Все эти косвенные и прямые признаки нефтегазоносности и наличие структур выклинивания позволяют высоко оценить перспективы нефтегазоносности Северного склона Якутского поднятия.

Алдано-Майская впадина (АМВ). Осадочный чехол АМВ сложен терригенно-карбонатными образованиями рифей-венд-кембрийского возраста мощностью до 7-8 км. С позиций нафтидонасыщенности разреза АМВ не имеет аналогов среди других зон сочленений платформенной структуры со складчатым поясом по всему периметру Сибирской платформы (Байкало-Патомский складчатый пояс, Таймырская зона, Западно-Верхоянский складчатый пояс). Здесь широко развиты различные нафтидопроявления – от сингенетичной битуминозности до капельножидкой нефти (Лахандинская, приингилийские), вязких и твердых природных битумов.

В колонковой скважине, пробуренной на северо-восточном склоне Ингилийского выступа с целью оценки на металлоносность, в частности искали ниобий, зафиксировано нефтепроявление на глубине 40 м из вендских отложений (устное сообщение С.Ю. Севостьянова, главный геолог в 2015 АО «Якутскгеофизика»), которое можно рассматривать, как прямой признак наличия залежей нефти в более глубокозалегающих горизонтах.

Наличие жидкой нефти и обильных признаков миграционных процессов на уровне верхнерифейских и вендских отложений в эродированных южных частях прогиба и установление нефтепроявлений в ряде гидрогеологических скважин в среднем течении р. Амги позволяет высоко оценить перспективы нефтегазоносности закрытой центральной и западной частях АМВ [6].

3. Выводы

Все представленные территории отличаются слабой геолого-геофизической изученностью и отдалены от действующих продуктопроводов «ВС-ТО» и «Сила Сибири» большими расстояниями. Крупное месторождение нефти и газа, открытое на данных территориях, может стать базовым объектом не только для крупных инфраструктурных проектов нефтегазового направления, но и для других отраслей народного хозяйства.

4. Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 21-510-22001.

5. Литература:

[1] Sivtsev A.I., Alexandrov A. R. Galokinez in tectonic structure of Kempendyai depression // Electronic science magazine 'Oil and gas industry', 2014, no. 5, pp. 54-70. http://ogbus.ru/files/ogbus/issues/5_2014/ogbus_5_2014_p54-70_SivtsevAI_ru.pdf

[2] Sivtsev A. I. Prospects of oil and gas content of the North Eastern slope of the Suntar uplift // Geology and mineral resources of northeastern of Russia. Materials of IX Russian Scientific Conference, 2019, pp. 260-263.

[3] Archegov V.B. Blocking divisibility and natural oil sources at the south of Anabar anteclise as related to development of the oil-and-gas complex of Siberian platform // Petroleum geology. Theory and practice. 2008, vol. 3, no. 4. http://www.ngtp.ru/rub/4/53_2008.pdf

[4] Zueva I. N., Chalaya O. N., Sivtsev A. I. Comparative characteristic of Kyonamsky and Bakken black shale formations // Interexpo Geo-Siberia, 2018, vol. 2, pp. 65-70.

[5] Kalinin A. I., Sivtsev A. I. Prospects of oil and gas content of the north-eastern part of the Aldan anteclise // Oil industry, 2019, no. 6, pp. 22-27.

[6] Safronov A.F., Chalaya O.N., Zueva I.N., Sivtsev A.I. Oil and gas potential of the Aldan-Maya depression //Georesources 2019. vol. 21, no. 1, pp. 64-70.

УДК 553.98:551.736(571.56-15)

ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ ВЕНД-КЕМБРИЙСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ ЗАПАДНОЙ ЯКУТИИ

Алексей Сивцев, Валентин Егоров, Аркадий Яковлев, Дмитрий Яицкий
Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, ул. Кулаковского, 50, г. Якутск, 677000, Россия

MINING AND GEOLOGICAL BASES OF OIL AND GAS POTENTIAL OF THE VENDIAN-CAMBRIAN DEPOSITS OF WESTERN YAKUTIA

Alexey Sivtsev, Valentin Yegorov, Arkadiy Yakovlev, Dmitriy Yaitsky
M. K. Ammosov North-Eastern Federal University, 50 Kulakovskiy St., Yakutsk, 677000, Russia

Annotation. The fundamental problems of oil and gas potential of the Nepsko-Botuobinsk oil and gas region – one of the most promising territories of the Republic of Sakha (Yakutia) - are considered. The idea of the Vendian source of liquid hydrocarbons of the Nepsk-Botuobin anteclise (NBA) is indicated. Alternative points of view on the origin of NBA oils (sub-foundation and top-down genesis) are briefly presented. The conditions for the oil and gas content of the carbonate part of the NBA section are proposed: formation of a fault zone with feathering cracks → circulation of aggressive solutions through them with the formation of secondary fractured-cavernous reservoirs → vertical migration and accumulation of hydrocarbons in the formed secondary reservoir. It is concluded that the abnormally low reservoir pressures (ANPD) in the NBA are caused by the contraction of the hydraulic system resources by the flanks of the Baikal rift system in the conditions of closed subsurface permafrost.

1. Введение

В настоящее время все балансовые запасы нефти и две третьи газовых запасов газа Якутии приурочены к венд-кембрийским отложениям (НБА). Это порядка 650 млн. тонн нефти (извлекаемых) и более 2-х трлн. м^3 природного газа. При этом достигнутая степень освоенности прогнозных ресурсов территории республики составляет в среднем 20 %.

Актуальность обусловлена необходимостью изучения горно-геологических основ нефтегазоносности НБА, что позволит обосновать оптимальные технику и технологию разведки и освоения месторождений. На сегодняшний день можно выделить следующие основные фундаментальные проблемы в НБА, которые определяют продуктивность и особенности разреза:

- источник жидких УВ в вендских терригенных отложениях;
- особенности распределения залежей УВ в карбонатных отложениях венда и кембрия;
- аномально-низкое пластовое давление (АНПД) и относительная охлажденность разреза;
- повышенное содержание азота и гелия в газах.

Попытаемся предложить авторские представления по некоторым выделенным проблемам.

2. Основная часть

Нефтематеринские отложения. Наличие нефтяных залежей в незначительных по толщине терригенных продуктивных горизонтах НБА, залегающих в непосредственной близости от кристаллического фундамента, обусловило постановку вопроса об источнике органического вещества, которое могло обеспечить генерацию и аккумуляцию значительных скоплений нефти. Традиционно считается, что рифейские отложения в авлакогенах (Предпатомский прогиб, Кемпендяйская и Ыгыаттинская впадина) могли сгенерировать необходимое количество жидких углеводородов, которые впоследствии мигрировали в НБА.

Вместе с тем по геохимическим данным установлено [1-3], что рифейская часть разреза претерпела максимальную продуктивность в качестве нефтематеринских отложений в довендское время. Таким образом, сгенерированные этими нефтематеринскими толщинами

залежи нефти и газа не смогли «пережить» тектонические события байкальской стадии складчатости. Большая часть была денудирована вместе с залежами, а остальная часть скоплений рассеяна. По разным данным было денудировано от 1-2 до 3-4 км осадков рифея [4].

С позиций геохимических данных нефтематеринскими отложениями для тех же ботуобинских нефтей НБА могут быть только отложения пострифейского возраста, которые были сосредоточены в пределах Байкало-Патомской складчатой области (в современных границах). Например, тинновская (венд) свита картируемая в пределах современных границ Предпатомского прогиба, и предполагающаяся во всех внутренних участках Байкало-Патомской складчатой области вполне могла служить нефтематеринской толщей [5]. Изученное нефтепроявление в вендских отложениях тинновской свиты по особенностям химического состава и характеру распределения реликтовых УВ можно отнести к одному семейству нафтидов, имеющему общий генетический источник с промышленными залежами УВ Непско-Ботуобинской НГО [5]. Можно допустить, что в зависимости от гипсометрического положения не исключается горизонтальная миграция УВ по направлению к более древним отложениям.

Также значительный нефтегазогенерационный потенциал собственно терригенной базальной толщи венда отмечается в ряде работ [1,2,6].

Надо отметить, существуют и другие точки зрения по нефтематеринским отложениям. Еще в 90-х гг. прошлого века членом-корреспондентом РАН Соколовым Б.А. выдвинута гипотеза о возможной связи месторождений углеводородов Непско-Педедуйского свода, с осадочными образованиями в палеорифтовой системе под перекрывающими ее аллохтонными блоками фундамента, где остается невостребованным крупный углеводородный потенциал [7].

Наличие аномально-низких пластовых давлений в пределах НБА и Вилючанской седловины позволяет некоторым авторам [8], предлагать гипотезу нисходящей миграции. Нефтематеринскими отложениями в данном случае тоже служат карбонатные отложения юряхской свиты с той разницей, что миграция в данном случае идет строго вертикально вниз.

Особенности распределения УВ в карбонатных отложениях венда и кембрия. Вопросы нефтеносности карбонатных коллекторов НБА остаются достаточно дискуссионными. Не решен вопрос достоверного прогнозирования зон и участков улучшенных коллекторов в карбонатных отложениях. Даже на самом разбуренном Талаканском месторождении прогнозирование зон улучшенных коллекторов осинского горизонта окончательно не решено.

Карбонатные породы верхнего докембрия и кембрия востока Сибирской платформы, даже в органогенно-обломочных литотипах, являются бескаркасными, т.е. не обладают первичной проницаемостью.

По нашим представлениям формирование значительных по размерам залежей углеводородов в карбонатных породах верхнего докембрия и кембрия возможно только в случае следующей последовательности процессов: формирование зоны разлома с оперяющими трещинами → циркуляция по ним агрессивных растворов с формированием вторичных трещинно-кавернозных коллекторов → вертикальная миграция и накопление УВ в образованном вторичном коллекторе.

Таким образом, существенные скопления нефти и газа в карбонатных горизонтах можно ожидать только по окраинам отрицательных структур, потому что их границы, как правило, обусловлены разломами. Это - северо-западный склон НБА, приплатформенное крыло Предпатомского прогиба, Вилючанская седловина. В более близком приближении можно ожидать залежи в юряхском горизонте вдоль западной и восточной границ Центрального блока Среднеботуобинского месторождения, по окраинам Таас-Юряхского месторождения и т.д.

Перспективное направление поисков залежей нефти над высокоамплитудными выступами фундамента также укладывается вышеприведенной последовательности процессов. Принято считать, что за счет различия уплотнения терригенных пород непосредственно над высокоамплитудными выступами фундамента и по периферии формируются трещиноватые коллектора в вышезалегающих карбонатных горизонтах способные удерживать при благоприятных условиях УВ.

Аномально низкие пластовые давления и температуры. Термобарические условия пластовых систем можно считать – это проявление современного состояния общей геологической системы.

Т.к. не бывает в природе абсолютно непроницаемых отложений, то в геологическом времени все должно приходит в относительное равновесие. А если мы наблюдаем АНПД или АВПД это, считаем, проявлением активных современных процессов.

Если исходить с этих позиций. В настоящее время тектоническая активность в непосредственной близости от НБА фиксируется в Байкальской рифовой зоне (БРЗ) по повышенной сейсмичности. Так, юго-восточнее, в некоторой удаленности от НБА (примерно в трехстах км) картируется Олекминский фланг БРЗ [10]. При этом, на основе анализа фокальных механизмов землетрясений было установлено, что до среднего течения р. Олекма превалируют растягивающие усилия БРЗ [11].

На наш взгляд, продолжающиеся процессы растяжения земной коры в БРЗ создают очаги разуплотнения земной коры. Эти очаги разуплотнения земной коры могут стягивать ресурсы гидросистемы, прежде всего, по самым проницаемым частям разреза, т.е. по терригенным отложениями венда.

Наблюдаемая картина АНПД реализуется за счет присутствия сплошной зоны ММП, которая эффективно ограничивает поступления поверхностных вод. По имеющимся данным на месторождениях нефти и газа на территории Иркутской области также наблюдается АНПД. Но величины дефицита давлений не такие как в Якутской части НБА. Можно предположить, что это явление обусловлено островным характером распространения ММП в пределах Иркутской части НБА.

Косвенным подтверждением стягивания воды является аномально низкая пластовая температура. Поскольку вода является известным теплоносителем и чуть ли не единственным поставщиком тепла из недр земли при отсутствии вулканизма, то ее низкая активность обуславливает эффект падения давления в системе отопления домов. Как только падает давление охлаждение неизбежно.

Еще одной особенностью залежей в венд-кембрийских отложениях НБА является повышенное содержание гелия и азота в пластовом газе. Особый интерес вызывает наличие повышенного содержания азота до 9-14 % от общего объема газа. Обычно азот является показателем разложения растительных органических осадков и очень часто встречается в гидрогеологических скважинах. Данные особенности практически не изучены.

3. Выводы

Решение обозначенных фундаментальных проблем позволит повысить эффективность геологоразведочных работ за счет уточнения перспектив нефтегазоносности разреза венд-кембрийских отложений. В частности, пространственное установление нефтематеринских отложений для нефтей НБА позволит проследить зоны ее транзита и уточнить зоны аккумуляции. Выяснение особенностей распределения пластовых давлений по разрезу будет использовано при проектировании строительства поисков-разведочных скважин и при выборе техники и технологии вскрытия продуктивных пластов.

Намеченные направления исследований и предварительные результаты могут быть масштабированы и для других перспективных территорий Республики Саха (Якутия), в том числе в арктических.

4. Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 21-510-22001.

5. Литература:

[1] Bazhenova T.K. The problem of oil and gas content of basal horizons of ancient platform basins in the aspect of their catagenetic evolution // Theory and practice, 2008, vol. 3, no. 3. http://www.ngtp.ru/rub/4/30_2008.pdf.

[2] Bazhenova T.K., Dakhnova M.V., Mozhegova S.V. The Upper Proterozoic of the Siberian platform – the main source of oil and gas potential of its Pre-Mesozoic megabasin // Theory and practice, 2011, vol. 6, no. 2. http://www.ngtp.ru/rub/1/17_2011.pdf.
[3] Dakhnova M.V., Bazhenova T.K., Lebedev V.S., Kiselev S.M. Isotope prediction criteria for the phase composition of hydrocarbons in the Riphean and Vendian-Cambrian deposits of the Leno-Tunguska oil and gas province // Geology and Geophysics, 2011, vol. 52, no. 8, pp. 1199-1209.
[4] Tectonics, geodynamics and metallogeny of the Sakha Republic (Yakutia). - Moscow: MAIK "Nauka/Interperiodica". 2001, 571 pp.
[5] Zueva I.N., Chalaya O.N., Lifshits S.Kh., Sivtsev A.I., Mironenko V.Yu. Geochemistry of organic matter of Vendian bitumen-containing deposits of the Nokhtuysky reference section (South-Western region of Yakutia) // Natural Resources of the Arctic and Subarctic, 2009, no. 4, pp. 40-44.
[6] Shemin G.G. Geology and prospects of oil and gas potential of the Vendian and Lower Cambrian Central regions of the Siberian platform (Nepsko-Botuobinskaya, Baykitskaya anteclises and Katanga saddle) // G.G. Shemin. Novosibirsk: SB RAS Publishing House, 2007, 530 pp.
[7] Sokolov B.A. "Underfoundation" oil / In the book. Geodynamics and petroleum potential of sedimentary basins of the USSR. Moscow: VNIGNI, 1994, pp. 213-222.
[8] Kosachuk G.P., Burakova S.V., Butochkina S.I., Melnikova E.V., Budrevich N.V. On the formation of oil deposits (rims) of the Nepsko-Botuobinskaya anteclise deposits // News of gas science, 2013, no. 5 (16), pp. 114-123.
[9] Yakovlev Yu. I., Semashev R. G. Hydrodynamic justification of allocation of water-pressure systems of depression type // Geology of oil and gas, 1982, no. 9, pp. 36-39.
[10] Logachev N.A. History and geodynamics of the Baikal rift // Geology and Geophysics, 2003, vol. 44, no. 5, pp. 391-406.
[11] The Koz'min, B.M., Golenetskii S.I., Nikolaev V.V., et al. Aftershocks of the South Yakut earthquake on April 20, 1989. Yuzhno-Sakhalinsk: IMGiG FEB RAS, 1993, 66 pp.

УДК 553.981/982(571.56-15)

ЭВОЛЮЦИЯ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ О ЛОВУШКАХ НЕФТИ И ГАЗА НА ПРИМЕРЕ СРЕДНЕБОТУОБИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Вячеслав Ситников, Розалия Севостьянова, Капитолина Павлова
Институт проблем нефти и газа ЯНЦ СО РАН, ул. Петровского 2, г. Якутск, 677980, Россия

EVOLUTION OF THE CONCEPTS OF OIL AND GAS TRAPS ON THE EXAMPLE OF THE SREDNEBOTUOBINSKIY FIELD

Vyacheslav Sitnikov, Rosalia Sevostianova, Kapitolina Pavlova
Institute of Oil and Gas Problems YSC SB RAS, 2 Petrovsky St., Yakutsk, 677980, Russia

Annotation. Scientific ideas about oil and gas traps revealed in different years in Western Yakutia in the course of geological exploration, from the period of creation of the oil and gas geophysical service in the republic (1950) to the present, are considered. The evolution of ideas about the structure of oil and gas traps is shown on the example of the Srednebotuobinskiy field, which was carried out in the process of geological exploration due to a more complete account of faults and their role in the structure of traps.

1. Введение

В 30-50 гг. XX века в Якутии в среднем течении реки Лена проводились достаточно крупные по объему многолетние геологоразведочные работы на нефть и газ. Одной из основных причин длительного отсутствия положительных результатов следует считать, проведение этих работ без необходимого сопровождения комплекса геолого-геофизических методов. Долгие годы поисковые буровые работы проводились здесь практически без знания особенностей глубинного строения перспективных территорий и без каких-либо достаточно достоверных представлений о возможных ловушках нефти и газа.

Решению этой проблемы в значительной степени способствовали перевод в 1950 г. из Ленинградской области в Якутию двух сейсморазведочных партий и создание на их основе Якутской комплексной геофизической экспедиции. И уже в 1956 г. в зоне сочленения центрального сектора Предверхоянского прогиба с восточной зоной Вилюйской синеклизы был открыт первое газовое месторождение (Усть-Вилюйское месторождение) в Якутии.

2. Основной раздел

Непско-Ботуобинская антеклиза расположена на юго-западе Республики Саха (Якутия). Издавна здесь выделялась обширная область сочленения Сибирской платформы с Предбайкальским (ныне Предпатомским) прогибом и далее к востоку с Патомской горно-складчатой системой.

По аналогии с Вилюйской НГО при изучении указанных структур в первые годы рассматривался лишь пликативный вариант изучаемых дислокаций, положительной формы – антиклинали, возможные разрывы, как правило, не выделялись и не изучались. Априорно, но с учетом методических требований и указаний, принятых ранее во всероссийской практике геологоразведочных работ на нефть и газ, считалось, что в платформенных условиях, когда углы наклона пластов пород в пределах рассматриваемых ловушек не превышают первых градусов, разрывных нарушений в принципе не может быть никогда. В действительности реальное распределение тектонических напряжений и деформаций в недрах в условиях древних толщ оказалось иным и гораздо более сложным, чем в слабо уплотненных мезозойских отложениях Вилюйской синеклизы.

В начальный период изучения Среднеботуобинского нефтегазоконденсатного месторождения глубоким бурением какие-либо разрывные нарушения на дежурных структурных картах и оперативном подсчетном плане, намеченного ранее по данным сейсморазведки МОВ, отсутствовали. При сугубо пликативном варианте строения залежей, после бурения небольшого количества поисковых скважин был произведен оперативный подсчет запасов газа.

Рассматривались две газовые залежи – в кровле вендского терригенного комплекса (ботуобинский горизонт) и карбонатных отложениях раннего кембрия (осинский горизонт). Суммарные запасы газа категории C_2 по двум залежам Среднеботуобинского месторождения превысили 1 трлн.м^3.

По мере бурения новых скважин эти оценки были уточнены. Запасы газа, оперативно учтенные по осинской залежи в 70-х годах XX столетия, в процессе дальнейшей разведки были исключены из Государственного баланса запасов полезных ископаемых Российской Федерации в связи с исключительно высокой сложностью строения, обусловленного наличием на гипсометрическом уровне залежи крупного магматического тела трапповой формации и многочисленных разрывных тектонических нарушений.

На структурных картах и подсчетных планах Среднеботуобинского месторождения, на уровне ботуобинского продуктивного горизонта, разрывы стали выделять несколько позже, по мере сгущения сети поисково-разведочных скважин. При установлении факта значительного различия в глубинах залегания ботуобинских коллекторов (до 20 м) в соседних скважинах, незначительно удаленных друг от друга, необходимость учета влияния разрывных тектонических нарушений на строение газовой залежи с крупной нефтяной оторочкой стало несомненной неизбежностью. К моменту защиты запасов газа в ГКЗ по ботуобинской залежи Среднеботуобинского НГКМ в 1980 г. они составили по категории C_1 менее 200 млрд.м^3. Было установлено блоковое строение различных частей газовой залежи и подстилающей ее крупной нефтяной оторочки, разделенных многими тектоническими разрывами. Отдельные фрагменты структуры, контролирующей месторождение, особенно на ее восточном склоне, соответствовали понятию «битая тарелка», широко известному в мировой практике работ на нефть и газ (рисунок 1). Интенсивной раздробленности различных интервалов разреза на юго-западе Якутии, наряду с тектоническим фактором, в значительной мере способствовал литолого-стратиграфический состав осадочного чехла. По результатам многолетних работ на нефть и газ на этой территории четко фиксируется многоярусное строение осадочного чехла, состоящего в основном из терригенно-карбонатных отложений венда и чередующихся карбонатных и галогенных толщ кембрия. Мощность солей в разрезе венда достигает 150 м. В кембрийских отложениях она составляет 800 м и более. После крупнейшего стратиграфического перерыва (от ордовика по триас включительно) выше по разрезу залегают песчано-глинистые отложения нижней юры (100-200 м). В районах вблизи р. Лена и далее к юго-востоку, в пределах зоны сочленения Сибирской платформы и Патомской горно-складчатой системы, в низах осадочного разреза присутствуют мощные рифейские отложения, имеющие в основном карбонатный состав и содержащие маломощные терригенные прослои. Последние играют роль базальных горизонтов, залегающих в основании крупных седиментационных циклов. Общая мощность осадочного чехла резко увеличивается в восточном направлении в сторону Патомского нагорья.

До середины 80-х годов преобладали научные представления об унаследованном субпараллельном соотношении структурных планов по всему разрезу, то есть от дневной поверхности до подошвы осадочного чехла включительно. Исходя из таких преставлений, чаще всего выбирался один целевой горизонт, по другим, отражения фиксировались лишь частично. В итоге при разработке модели ловушки, контролирующей прогнозируемое месторождение нефти и (или) газа, и при отсутствии данных бурения и возможности в полной мере использовать их в комплексе с материалами сейсморазведки, анализ их осуществлялся сугубо предварительно и лишь по одному или двум стратиграфическим уровням или интервалам. Другие части разреза оставались неизученными.

Рисунок 1. Эволюция представлений о строении ловушек нефти и газа на Среднеботуобинском нефтегазоконденсатном месторождении

Условные обозначения: 1 – глубокие скважины, пробуренные в разные годы изучения Среднеботуобинского НГКМ; 2 – разрывные тектонические нарушения по состоянию на разные годы изучения; 3 – изогипсы отражающего сейсмического горизонта КВ см. 1975 г.; 4 – границы блоков в строении залежей Среднеботуобинского НГКМ, см.2017 г.

3. Выводы

Приведенные данные по эволюции представлений о ловушках нефти и газа на нефтегазоносных территориях западной Якутии с момента выявления перспективной структуры и в дальнейшем в процессе ее длительного изучения вплоть до открытия месторождения, его детализации и многократного уточнения, в целом свидетельствуют о том, что в геологических условиях древней Сибирской платформы ловушки нефти и газа простого строения почти отсутствуют.

Наиболее сложным строением характеризуются древние отложения (кембрий, венд, рифей). При выявлении потенциальных ловушек нефти и газа в этих отложениях следует ориентироваться в целом на наличие и разработку пликативно-дизъюнктивных моделей.

УДК 550.83.016

ГЛУБИННЫЕ СТРУКТУРЫ И РАЗМЕЩЕНИЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ НА ГРАНИЦЕ АДЫЧА-ЭЛЬГИНСКОЙ И АЛЛАХ-ЮНЬСКОЙ ТЕКТОНИЧЕСКИХ ЗОН ПО РЕГИОНАЛЬНЫМ ГЕОФИЗИЧЕСКИМ ДАННЫМ

Евгений Соловьев[1], Денис Саввин[2], Вадим Кычкин[3]

1 Мирнинский политехнический институт СВФУ им. М.К. Аммосова, ул. Ойунского, 14, г. Мирный, 678174, Россия

2 Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского СО РАН, пр. Ленина, 43, г. Якутск, 677980, Россия

3 Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, ул. Кулаковского, 50, г. Якутск, 677000, Россия

DEPTH STRUCTURES AND DISTRIBUTION OF MINERAL RESOURCES AT THE BORDER OF THE ADYCHA-ELGIN AND ALLAH-YUN TECTONIC ZONES ACCORDING TO REGIONAL GEOPHYSICAL DATA

Evgeny Solovyov[1], Denis Savvin[2], Vadim Kychkin[3]

1 Mirny Polytechnic Institute M.K. Ammosov NEFU, 14 Oynskogo St., Mirny, 678174, Russia

2 Chersky Institute of Mining of the North SB RAS, 43 Lenin Ave., Yakutsk, 677980, Russia

3 M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, 50 Kulakovskiy St., Yakutsk, 677000, Russia

Annotation. Research concerns with geophysical studies of the junction zone of the Adycha-Elgin and Allah-Yun tectonic zones. The specified deep structure of the territory is based on the analysis of the transformed geopotential fields. An assessment of the depths of occurrence of magmatic formations has been carried out. Prospecting signs of gold and tin mineralization have been established.

1. Введение

Исследуемая территория расположена в центральной части Яно-Колымской минерагенической провинции на границе Адыча-Эльгинской (АЭТЗ) и Аллах-Юньской тектонических зон (АЮТЗ). В разрезе верхней части земной коры выделяются четыре структурных этажа: архейский (слагающий кристаллический фундамент), верхнепротерозойско-мезозойский, верхнемезозойский и кайнозойский [1]. Основными разрывными структурами являются региональные Брюнгадинский и Сунтарский разломы. Сунтарский разлом имеет северо-восточную ориентировку, хорошо дешифрируется на космогеологических снимках и прослеживается от района золоторудного месторождения Нежданинское (верховье р. Тыры) в северо-восточном направлении по долине р. Сунтар до устья р. Брюнгаде, где ограничивается к Брюнгадинским разломом запад-северо-западного простирания. Последний отделяет Аллах-Юньскую тектоническую зону от расположенной к северу Адыча-Эльгинской зоны. Полезные ископаемые на изучаемой площади – многочисленные рудопроявления и пункты Au и Sn минерализации.

Целью настоящей работы является уточнение особенностей глубинного строения и выявление закономерностей размещения полезных ископаемых зоны сочленения Адыча-Эльгинской и Аллах-Юньской тектонических зон на основе анализа, обработки и интерпретации геолого-геофизической информации.

2. Методы и методика исследований

В качестве исходных материалов использованы оцифрованные схемы гравитационных аномалий в условном уровне разных масштабов и карты магнитного поля масштаба 1:500 000, геологическая и тектоническая карты масштаба 1:1000 000 [2].

Обработка грави- и магнитного полей проводилась в автоматизированной программе «КОСКАД 3Д». Применены двумерная адаптивная фильтрация и оценка статистических характеристик для разделения полей на составляющие и выделения новых информационных признаков. Расчет эквивалентного распределения источников плотностных масс на глубине осуществлен на основе алгоритма «Оценка параметров 2D гравимагнитных моделей по И.И. Приезжеву» [3]. Для повышения контрастности аномалий, создаваемых неоднородностями геологической среды, рассчитана вторая производная гравитационного потенциала Vzz в геоинформационной системе «Oasis Montaj».

3. Результаты исследований

Структура региональной составляющей гравитационного поля обусловлена особенностями строения кристаллического фундамента, широким развитием магматических образований и разломной тектоники (Рисунок 1 А). Глубина залегания фундамента составляет около 16 км [4].

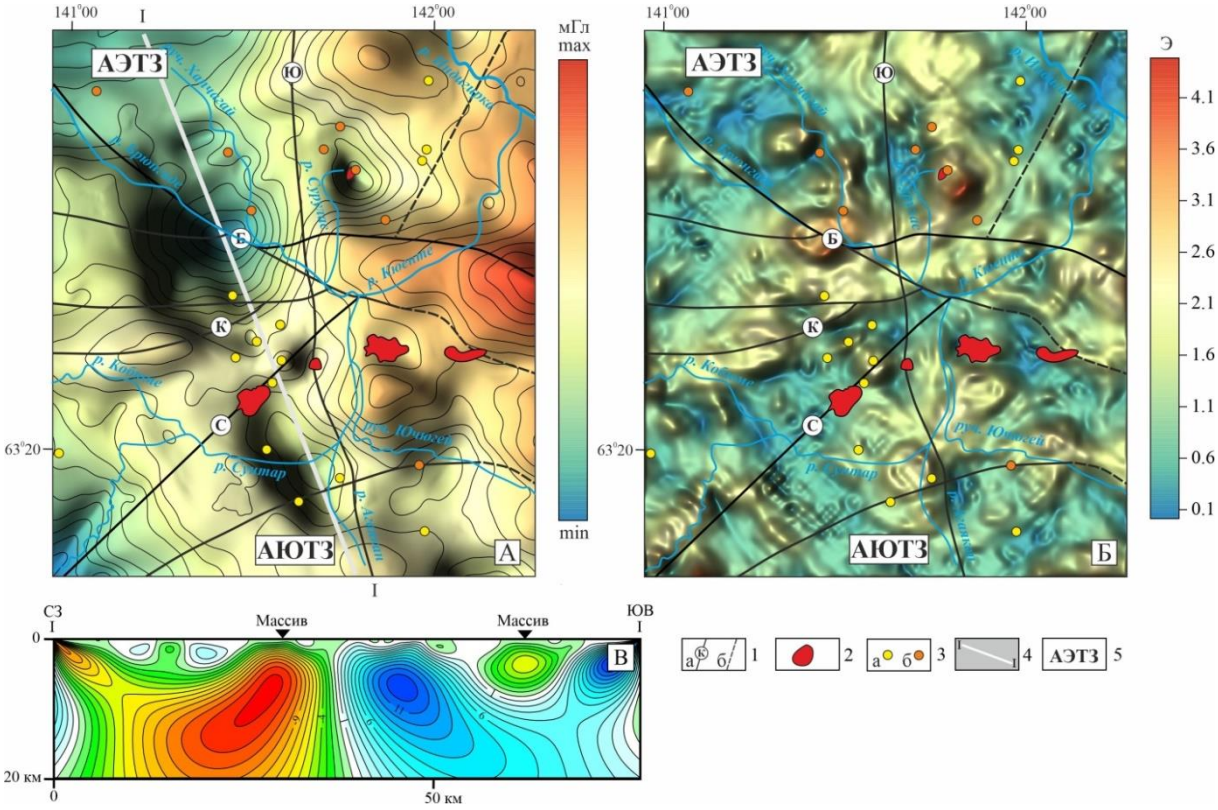


Рисунок 1. Трансформации аномального гравитационного поля
А - региональная компонента, Б - вертикальная производная Vzz, В – распределение плотностных масс

1 – Разломы: а – установленные, Б - Брюнгадинский, К – Кобюминский, Ю – Ючюгей-Юряхский, С – Сунтарский; б – предполагаемые, 2 – магматические образования кислого состава, 3 – рудопроявления: а – золота, б – олова, 4 – положение плотностного разреза, 5 – тектонические зоны: АЭТЗ – Адыча-Эльгинская, АЮТЗ – Аллах-Юньская.

Приподнятые блоки фундамента наблюдаются вдоль долины р. Индигирка, в междуречье Сурулас – Кюенте и в междуречье Кобюме – Сунтар. Установленные поднятия кристаллического вытянуты в северо-западном направлении. В трансформированном поле контрастно выделяются Сунтарский и Ючюгей-Юряхский разломы, по которым кристаллический фундамент погружается к северо-западу. Магматическим телам в геофизических полях соответствуют гравитационные минимумы и положительные магнитные аномалии зон контактового метаморфизма (Рисунок 1, 2). Наиболее крупный глубокозалегающий массив приурочен к Кобюминской зоне в устье руч. Хапчагай. Массив характеризуется отрицательной аномалией

силы тяжести изометричной формы интенсивностью -17 мГл (условный уровень) и площадью около 42,5 км^2. Центр гравитационных масс, рассчитанный методом обратной задачи в автоматизированной системе KOSKAD 3D, расположен на глубине около 10 км (Рисунок 1 В). К востоку от массива, на расстоянии около 19 км на глубине около 3,5 км, расположена близизометричная аномалия сходной природы (7х5 км), интенсивностью -8 мГл (условный уровень).

В междуречье Сунтар-Агаякан-Ючюгей скрытые интрузивные тела формируют кольцевую структуру. Известные гранитоидные штоки являются апикальными частями невскрытых массивов. Центры плотностных масс магматических тел не превышают глубины 2,2 – 3 км.

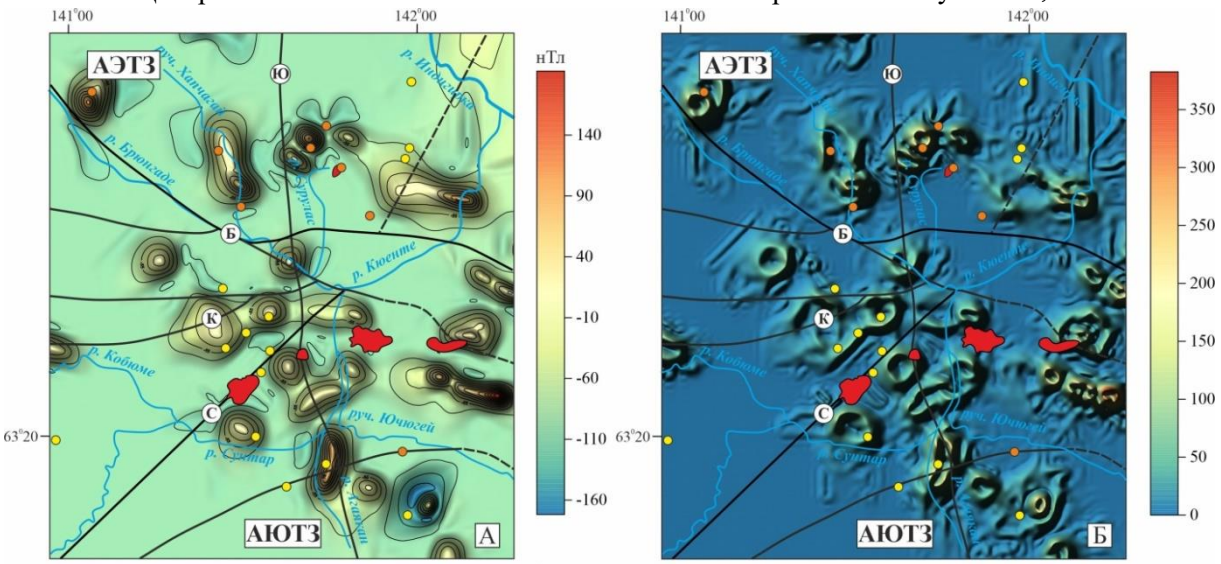


Рисунок 2. Региональная компонента (А) и дисперсия аномального магнитного поля (Б)
Условные обозначения см. рисунок 1

Выделение вертикальной производной гравитационного потенциала позволило установить протяженную тектоническую структуру, ограниченную Кобюминским и Сунтарским разломами. В западном сегменте структура пространственно совпадает с положением Кобюминского грабена и, вероятно, отражает локальный выступ кристаллического фундамента субширотного простирания. Отмечается, что зоны разуплотнения АЭТЗ и АЮТЗ, вызванные внедрением магматических образований разграничены выделенной субширотной структурой.

Анализ размещения полезных ископаемых показал, что рудопроявления золота, преимущественно, тяготеют к Сунтарскому и Ючюгей-Юряхскому разломам. Дополнительным информационным признаком локализации золотого оруденения является их приуроченность к внешним зонам контактового метаморфизма, которые характеризуются повышенными значениями дисперсии аномального магнитного поля (Рисунок 2 Б). Оловянное оруденение АЭТЗ тяготеет к слабоэродированным гранитным массивам, проявленными гравитационными минимумами и положительными локальными магнитными аномалиями зон контактового метаморфизма.

3. Выводы

Проведенные геофизические исследования позволили уточнить глубинное строение рассматриваемой территории. Установлены протяженные выступы фундамента северо-западного и субширотного простираний. Трансформации геофизических полей показали широкое развитие магматических образований, залегающих на глубине от 3 до 10 км и их сложную структуру. Отмечена приуроченность золоторудных проявлений к разрывным структурам, оловорудных – к гранитным массивам.

4. Литература:

[1] Kazakova G.G., Vaskin A.F., Kropachev A.P., Scherbakov O.I., et al., «State geological map of the Russian Federation. Scale 1: 1000000 (third generation). Series Verkhoyano Kolymskaya. Sheet P-54 – Oymyakon. Explanatory note», SPb.: Cartographic factory VSEGEI, 2013, 400 pp. (in Russian).

[2] https://vsegei.ru/ru/info/gisatlas/dvfo/yakutia/grav.jpg. Gravimetric map of the Republic of Sakha (Yakutia).

[3] Petrov A.V., Zinovkin S.V., Osipenkov D.Yu. et al. Computer technology of statistical and spectral-correlation analysis of data KOSKAD 3d // Geoinformatics, 2011. no. 4. pp. 7-13 (in Russian).

[4] Tretyakov F.F. Some structural features of the consolidated crust of the Verkhoyansk fold-and-thrust belt // Otechestvennaya Geologiya, 2017, vol. 5, pp. 116-122 (in Russian).

УДК: 552.086:552.541

ПЕТРОГРАФИЯ И ГЕОХИМИЯ ВЕРХНЕСИЛУРИЙСКИХ КАРБОНАТНЫХ ПОРОД БИЗОНСКОЙ СВИТЫ МОМОНТАЙСКОЙ ПЛОЩАДИ (МАГАДАНСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Владислав Стативко, Глеб Ратьковский
Санкт-Петербургский горный университет, Васильевский остров, 21 линия, 2, г. Санкт-Петербург, 199106, Россия

PETROGRAPHY AND GEOCHEMISTRY OF THE UPPER SILURIAN CARBONATE COMPOSITIONS OF THE BIZONSKAYA SUITE OF THE MOMONTAI STRETCH (MAGADAN REGION)

Vladislav Stativko, Gleb Ratkovskiy
Saint-Petersburg Mining University, 2, 21st Line, Vasilievsky island, St. Petersburg, 199106, Russia

Annotation. In this work were characterized carbonate rocks of the Bizonskaya suite of the Upper Silurian, area "Nachalny" (Magadan region) by litho-petrographically approach. Among carbonates concentrated disseminated sulfide and vein fluorite-calcite mineralization. Three lithological varieties of rocks have been identified: organogenic carbonaceous-argillaceous limestones, metasomatically transformed limestones (zones of contact with dolomites), and dolomites. Using an X-ray fluorescence analyzer and inductively coupled plasma mass spectroscopy, the bulk chemical composition of these rocks was estimated. Increased concentrations of Zn and Pb (10,3 wt. % and 0,1 wt. %, respectively) are found in the dolomite series.

1. Введение

В ходе проведения геологосъемочных работ в 2020 г. на севере Магаданской области, где широко развиты полиметаллические проявления [1], выделен участок «Начальный» (Рисунок 1), в коренных карбонатных породах которого обнаружена вкрапленная сульфидная и жильная флюорит-кальцитовая минерализация. Ранее на этой территории в работах [2] было оконтурено полиметаллическое флюорит-галенитовое проявление «Вечернее», в котором главным рудным минералом является галенит. Однако при изучении этого объекта не было уделено достаточного внимания петрографическому исследованию карбонатных пород и их химическому составу.

Рисунок 1. Обзорная карта-схема места положения участка «Начальный» (Н).

Целью настоящей работы является литолого-петрографическое описание и выявление особенностей химического состава карбонатных пород и сопутствующей сульфидной и жильной минерализации. Для её достижения микроскопически определен минеральный состав пород, проведён многоэлементный анализ содержаний петрогенных (Ca, Si, Fe, K и др.) и примесных (Ba, Zn, Pb, Cu, Ni и др.) элементов.

Изучение материала проводилось с использованием оборудования ЦКП Санкт-Петербургского горного университета и ЦЛ ВСЕГЕИ. Для 28 образцов, отобранных в ходе геологосъемочных работ в 2020 г. по участку «Начальный», были изготовлены микропрепараты (шлифы и аншлифы). Петрографические исследования пород выполнены на поляризационном микроскопе Leica DM 2700P. Геохимические изучения проводились с использованием портативного рентгено-

флуоресцентного анализатора (пистолета) OLYMPUS DELTA (в диапазоне от Mg до U) и с использованием масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (в диапазоне от Li до U).

2. Основной раздел

В пределах флюорит-галенитового рудопроявления «Вечернее» территория представлена осадочными карбонатными породами нижнего девона (нелюдимская свита) и верхнего силура (мирнинская и бизонская свиты) [2]. В восточной части этого объекта расположен участок «Начальный», породы которого относятся к бизонской свите (верхняя подсвита) лудфордского яруса верхнего силура (Рисунок 2).

Разрез вскрытых на участке «Начальный» карбонатных пород сложен в основании мощным горизонтом светло-серых массивных органогенных известняков, в которых сосредоточена вкрапленная сульфидная минерализация. В кровле известняков появляются ожелезнённые прослои (толщиной 4-5 мм), которые образуют полосчатую текстуру. Перекрывают эти породы маломощные бежевато-серые массивные доломиты, с которыми связана жильная флюорит-кальцитовая минерализация, где кристаллы кальцита достигают 5 – 7 см, а флюорита – 1 см. Выше доломитов залегают светло-серые ожелезнённые полосчатые известняки.

Рисунок 2. Обзорная геологическая карта-схема флюорит-галенитового рудопроявления «Вечернее» с оконтуренным участком «Начальный» (Н).

Органогенные известняки обладают тонко-микрозернистой структурой. В породе присутствуют органические остатки цефалопод (0,2 мм, рисунок 3 А) и пелеципод (0,2х0,6 мм, рисунок 3. Б) [3]. Равномерно распределены рудные минералы (0,1 мм) и изометричные обломки зёрен кварца (3-5 % от общей массы; размерами до 0,1 мм, рисунок 3 А, Б, В). Более того, в известняках содержится углеродисто-глинистое вещество (слагая от 25 – 30 % до 50 – 60 % породы) в виде овоидных форм (диаметром до 0,3 мм), в которых сосредоточены обломочные зёрна кварца. Рудные минералы в аншлифах представлены псевдоморфозами лимонита по пириту (Рисунок 3 И). Зерна обладают квадратными и треугольными сечениями и имеют высокий рельеф относительно минералов, слагающих основную массу породы. Большинство зёрен замещены лимонитом, поэтому у них низкая отражательная способность, однако в отдельных срезах наблюдаются реликты кристаллов пирита, обладающих соломенно-жёлтым цветом и высокой отражательной способностью.

Известняки (Рисунок 3 Г, Е), расположенные в зонах контакта с доломитами, имеют полосчатую текстуру (Рисунок 3 Е). Углеродисто-глинистое вещество концентрируется в прослои (до 10 %

от общей массы; толщиной 0,2-0,3 мм). Эти породы пронизаны многочисленными прожилками кальцита (рисунок 3. Г; толщиной от 0,1 до 5 мм, где единичные зерна кальцита достигают 2 мм) и гидроокислов железа (толщиной до 2 мм; вероятно, лимонита – гематит) – гидротермальные изменения пород (метасоматоз). В породах встречаются зёрна карбонатов (0,1 мм) буровато-коричневого цвета (предполагается, анкерит – рисунок 3 Е), которые могут быть образованы в осадочных карбонатных породах в результате метасоматического преобразования пород [4]. В основной массе также содержатся обломки зёрен кварца (до 1 %) и рудные минералы (пирит, замещённый лимонитом), которые приурочены к зонам гидротермального изменения.

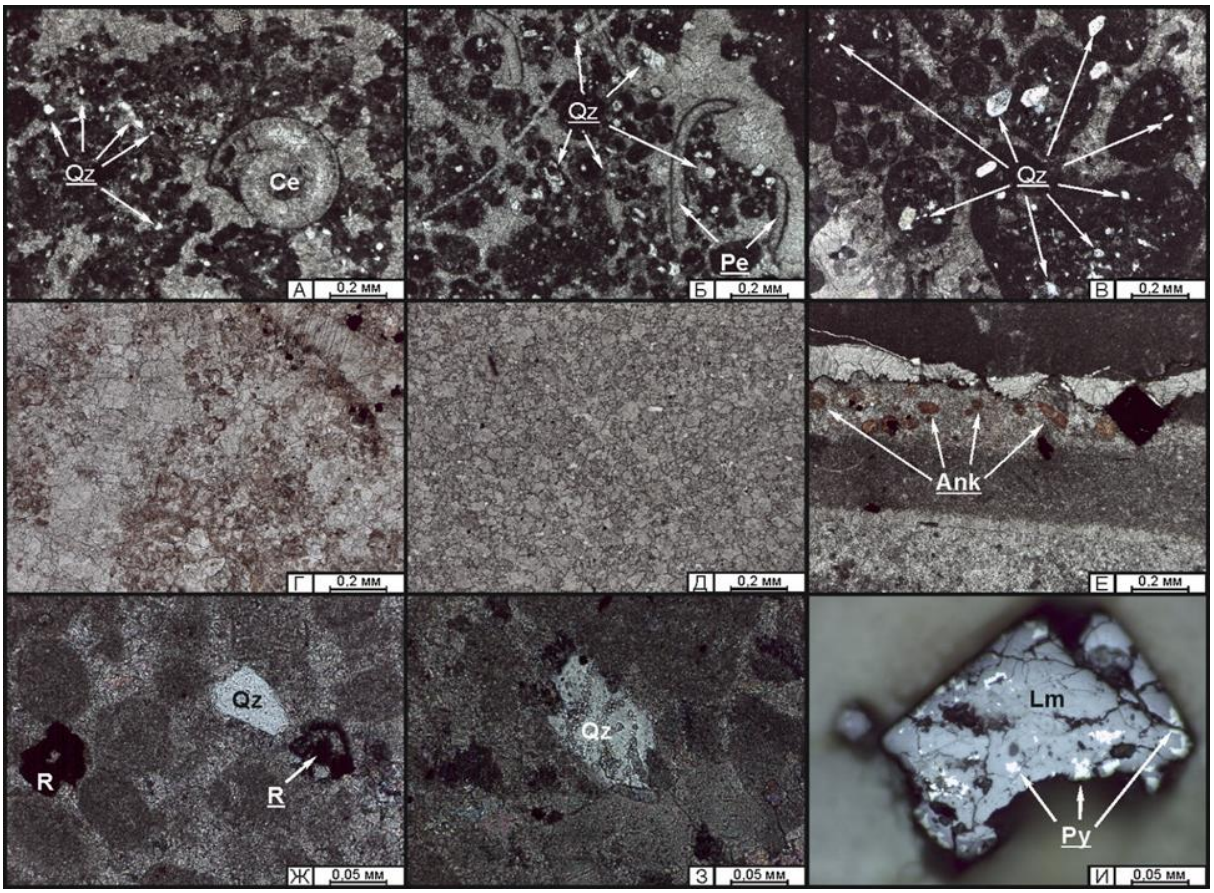


Рисунок 3. Микрофотографии при параллельных николях шлифов карбонатных пород в проходящем свете (А – З) и аншлифа в отражённом свете (И): А, Б, В – органогенный углеродисто-глинистый известняк; Г, Е – метасоматически преобразованный известняк анкеритом (Ank); Д – доломит; Ж – органогенный углеродисто-глинистый известняк с зёрнами рудных минералов (R) и с обломком зерна кварца (Qz); З – изометричное зерно кварца (Qz) в органогенном кварцсодержащем известняке, И – зерно пирита (Py) замещённого лимонитом (Lm); Pe – фрагменты раковин двустворчатых моллюсков; Ce – раковина головоногого моллюска.

Доломиты обладают массивной текстурой и равномерной мелкозернистой структурой (Рисунок 3 Д). Порода сложена зёрнами доломитов (0,05 – 0,1 мм; более 90 %) и кальцита (0,05 – 0,1 мм; 5-7 %). В основной массе равномерно распределены рудные минералы (пирит, замещённый лимонитом; 1 %) и обломки зёрен кварца (до 0,01 мм; 1 % от общей массы).

Данные, полученные в результате геохимических исследований, показывают, что в органогенных кварцсодержащих известняках концентрации Si, Ba и Fe колеблются в пределах 3,1–4,4 масс. %, 0,5–0,6 и 0,2–0,6 масс. %, соответственно. В метасоматически преобразованных известняках содержания этих элементов варьируют от 0,7 до 1 масс. %, от 0,8 до 14,7 и от 0,5 до 3,9 масс. %, соответственно. Более того, в этих породах средние концентрации (г/т) транзитных элементов составляют: Sc – 0,9, Co – 0,8, Ni – 7,9, Cu – 1,4, Zn – 4,1, Pb – 1,9, Se – 0,4, Cd – 0,1;

когда в органогенных кварцсодержащих известняках – ниже предела обнаружения. В доломитах содержания Si, Ba и Fe не превышают 1,8, 0,6 и 0,2 масс. %, однако концентрации Zn и Pb достигают 10,3 и 0,5 масс. % и, в отличие от других пород, содержания Cu и Cd – 3,1 и 5,3 г/т. Содержания Zn, Co и Ni, Cu и Pb непосредственно в флюорит-кальцитовой жиле составляют 5,73 масс. %, 2,5 и 14,4, 4,9 и 15,3 г/т.

В результате метасоматического преобразования карбонатных пород в систему могли быть привнесены транзитные элементы (Fe, Ba, Sc, Ni, Cu, Zn, Pb, Se, Cd, Co). По причине плохой совместимости Ba с системами, содержащими большое количество Ca, могут быть образованы собственные сульфаты бария (барит). [5]. Часть атомов Fe может входит в структуру карбонатов, изоморфно замещая двухвалентный катион (образуя анкерит), а часть, в результате взаимодействия с S и O, образует сульфиды и гидроксиды железа (пирит и лимонит). Малые элементы, главным образом, являются элементами-примесями в сульфидах. К примеру, в структуру пирита могут входить Co, Ni, Cu, в структуру галенита – Ni и Cu, в сфалерит – Cd и Sc. Селен (Se) способен изоморфно занимать позицию S благодаря близости ионных радиусов.

3. Заключение

В совокупности проведённых исследований, описаны карбонатные породы верхнего силура бизонской свиты, отобранные с участка «Начальный», которые были разделены на три группы: органогенные углеродисто-глинистые известняки, метасоматически преобразованные известняки (зон контакта с доломитами), доломиты. Известнякам первой группы характерно наличие обломочного кварца (до 5 % от породы) в углеродисто-глинистых овоидах, слагающих до 60% общей массы. Известняки второй группы пронизаны многочисленными прожилками лимонита и кальцита. Они обладают повышенными содержаниями г/т элементов Ni – 7,9 и Cu – 1,4, Zn – 4,1 и Pb – 1,9. При этом в породах, где максимальные концентрации Fe варьируют 3,1 – 3,9 масс. %, содержится анкерит. В равномернозернистых доломитах сосредоточены наибольшие концентрации Zn – 10,3 масс. % и Pb – 0,1 масс. %. С этими породами сопряжена жильная флюорит-кальцитовая минерализация (Zn – 5,73 масс. %, Pb – 15,3 г/т) – цинк преобладает над свинцом.

4. Благодарности

Авторы работы выражают благодарность ведущему геологу ФГБУ ВСЕГЕИ Рязанову К.П. за предоставление результатов масс-спектрометрии с индуктивно-связной плазмой.

5. Литература:

[1] Shpikerman V.I. Polymetallic mineralization of the Omulev uplift (North-East of the USSR). Vladivostok, 1987, 164 pp.

[2] Sotnikov A.V., Shpikermap V.I., Petukhov V.V., Sterlina K.B. Report on the group geological survey, geological survey on the scale of 1:50,000, the search for gold, silver and polymetallic deposits in the basin of the Taskan and Urultun rivers for 1979-1983. (Vecherninsky detachment). Sheets: P-55-9-B, G-a, b; P-55-10-A, B, C, D; P-55-B, G-B, g; P-55-22-B; P-55-23-A, B. (in 3 volumes), p. Yagodnoye, 1983 (No. 2184 Magadangeologiya).

[3] Micropaleontology/Alekseev, A.S., Barskov I.S., Golubev, S.N., Gorbachik T.N., Maslakova, N. and Nazarov, B.B., Petrushevskaya, M. G. M.: Publishing house of Moscow University, 1995, 256 pp.

[4] Couperin, M.T. Temperature limitations metasomatism Bakal siderite deposits on the geochemical data [Text]/ M. T. Couperin// Bulletin of the Mining University - Saint Petersburg, 2017, vol. 16, no. 2, pp. 167-178.

[5] Interpretation of geochemical data / E. V. Sklyarov, D. P. Gladkochub, T. V. Don-skaya, et al. Moscow: Intermet Engineering, 2001, 289 pp.

УДК 553.411.071, 553.08, 549.322, 54.021

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ МЕТАСОМАТИЧЕСКОГО ПИРИТА ЫЛЭНСКОГО ЗОЛОТОРУДНОГО ПОЛЯ (ЦЕНТРАЛЬНАЯ ЧАСТЬ ИНЪЯЛИ-ДЕБИНСКОЙ МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКОЙ ЗОНЫ)

Ярослав Тарасов[1,2], Валерий Фридовский[1], Лена Полуфунтикова[1,2], Максим Кудрин[1]
1 Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, пр. Ленина, 39, г. Якутск, 677000, Россия
2 Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, ул. Белинского, 58, г. Якутск, 677000, Россия

GEOCHEMICAL FEATURES OF METASOMATIC PYRITE OF THE YLEN GOLD ORE FIELD (CENTRAL PART OF THE IN'YALI-DEBIN METALLOGENIC ZONE)

Yaroslav Tarasov[1], Valery Fridovski[1], Lena Polufuntikova[1,2], Maxim Kudrin[1]
1 Diamond and Precious Metal Geology Institute SB RAS, 39 Lenin Ave., Yakutsk, 677000, Russia
2 M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, 58 Belinsky St., Yakutsk, 677000, Russia

Annotation. The results of studying the pyrite mineralization of the Ylen gold ore field, the central part of the In'yali-Debin metallogenic zone of the Yana-Kolyma metallogenic belt are presented. In the Middle Jurassic terrigenous rocks, near-ore metasomatites and ore zones, four generations of pyrite have been identified and described (diagenetic - Py1, metamorphic - Py2, metasomatic - Py3, and vein - Py4). Pyrites contain inclusions of minerals captured during its growth (rutile, monazite and zircon) and superimposed at late stages (native gold, chalcopyrite, galena, sphalerite, arsenopyrite and tetrahedrite). According to the data of X-ray spectral analysis, trace impurities of As, Co, Ni, Cu, Sb were found in pyrites. It was found that in Py1 and Py2 the amount of impurities and their distribution in crystals are close to stoichiometric. In Py3, there are contrasting variations in the content of trace impurities (As, Co, Ni, Cu, Sb). For Py4, the typochemical impurity element is As.

1. Введение

Ылэнское золоторудное поле расположено в центральной части Инъяли-Дебинской металлогенической зоны Верхне-Индигирского сектора Яно-Колымского металлогенического пояса. Вмещающими породами являются терригенные отложения мередуйской свиты средней юры. Магматические породы представлены позднеюрскими дайками кислого и среднего составов. Структурная позиция рудного поля определяется положением в осевой части Инъяли-Дебинского мегасинклинория, представленного здесь Инъяльской синклиналью СЗ простирания с углами падения крыльев от 45 до 70° и пологим погружением шарнира к ЮВ (6-12°). Основным рудоконтролирующим разрывным нарушением является Бургандинский разлом СЗ простирания. К его осевой части и ветвям приурочены золото-малосульфидно-кварцевые проявления Чистый, Соколиное, Труд, Прямой и Укромный. Рудные тела – минерализованные зоны дробления мощностью от 0,2 до 2,0 м, протяженностью до 800 м с крутым падением на СВ (до 75°). Они сопровождаются жильно-прожилковым окварцеванием и вкрапленной сульфидной минерализацией. Вкрапленная минерализация на орогенных золоторудных месторождениях региона представлена метасоматическими пиритом и арсенопиритом [1,3,4]. Метасоматический пирит проявлен как в дистальной, так и в проксимальной части рудных зон и по этой причине изучение его минералого-геохимических характеристик позволяет правильно определять рудный потенциал месторождений, особенно на ранних стадиях изучения.

Качественный химический и минеральный состав образцов изучен на электронном сканирующем микроскопе JEOL JSM-6480LV с энергетическим дисперсионным спектрометром Energy 350 Oxford (20 кВ, 1 нА, диаметр пучка 1 мкм) (аналитик Христофорова Н.В., ИГАБМ СО РАН). Химический состав пирита определялся по стандартной методике рентгеноспектральным

методом на микроанализаторе Camebax-Micro (аналитик Христофорова Н.В., ИГАБМ СО РАН). Содержания Au и Ag определялись методом атомно-абсорбционной спектрометрии с электротермической атомизацией на спектрометре iCE 3500 производства компании ThermoScientific (аналитики Санникова А.Е., Нарышкина Е.Л., Михайлов Е.И., ИГАБМ СО РАН). Пределы обнаружения элементов составляют от 0,0001 мкг/мл и выше.

2. Результаты и обсуждение

В терригенных толщах, околорудных метасоматитах и жилах проявлений Ылэнского рудного поля главным рудным минералом является пирит. Установлено четыре генерации пирита (Рисунок 1): диагенетический (Py1), метаморфический (Py2), метасоматический (Py3) и жильный (Py4). Диагенетический пирит (Py1) образовался при седиментации и последующем диагенезе, представлен сферическими агрегатами (фрамбоидами) размерами от 5 до 50 мкм (Рисунок 1 А, Б). В аргиллитах встречаются, единичные зерна фрамбоидов (Рисунок 1 А), в песчаниках и алевролитах они образуют скопления (Рисунок 1 Б). Фрамбоиды сложены индивидуальными равновеликими микрокристаллами кубического пирита размером 1-2 мкм. Матрикс фрамбоидов состоит из кремнезема. Py2 представлен кубическими кристаллами размером 2-10 мм и образует рассеянную вкрапленность, часто совместно с Py1. Формирование Py2 связано с перекристаллизацией и перераспределением вещества при региональных и дислокационно-метаморфических преобразованиях пород. В Py2 наблюдаются микровключения рутила, монацита и циркона, которые захвачены из вмещающих пород в процессе роста кристаллов, что раннее отмечалось [2] в верхнетриасовых отложениях Ольчан-Нерской металлогенической зоны (Рисунок 1 В). В околорудном пространстве широко развита пирит (Py3) – арсенопиритовая (Apy1) ассоциация. Py3 наблюдается в виде отдельных кристаллов размером до 5 мм (Рисунок 1 Г) и прожилков мощностью от 1 до 5 мм. По трещинам и дефектам Py3 кристаллизуются минералы золото-полисульфидной (самородное золото пробностью от 880 до 970 ‰, галенит, халькопирит и сфалерит) и наложенной сульфосольной ассоциации (тетраэдрит) (Рисунок 1 Д). Жильный гидротермальный пирит (Py4) встречается в ассоциации с арсенопиритом (Apy2) (Рисунок 1 Е) и кристаллизуются в виде вкрапленников размером до 3 мм в жильном кварце.

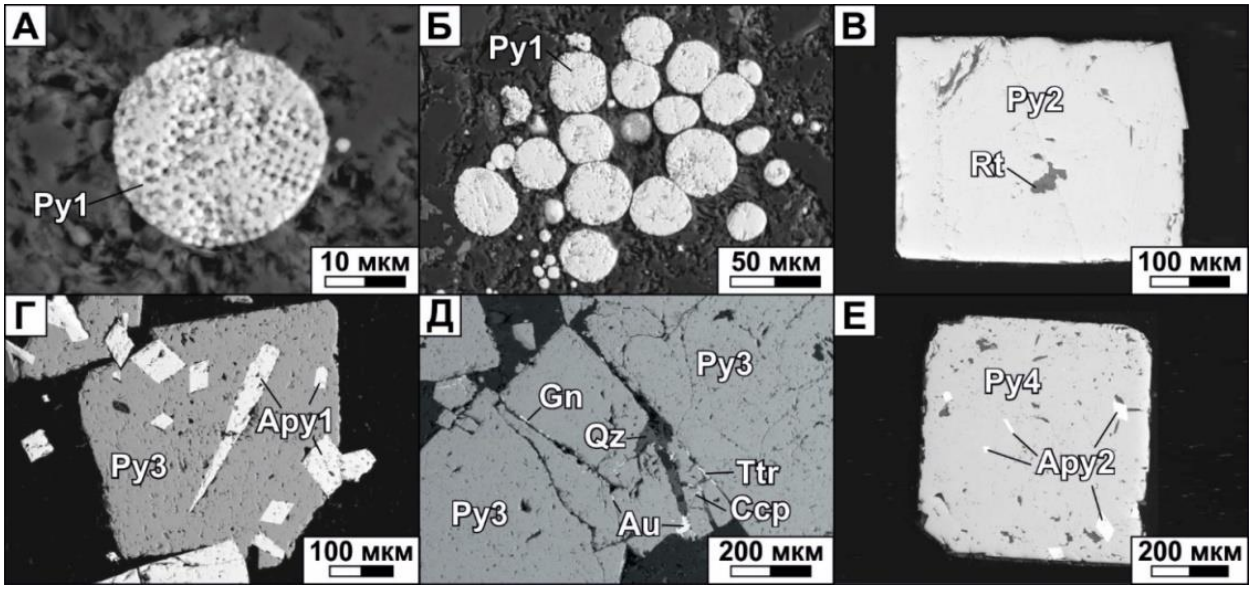


Рисунок 1. Генерации пирита Ылэнского золоторудного поля.

А-Б – диагенетический фрамбоидальный Py1: А – зерно фрамбоидального Py1 в аргиллите, Б – скопления фрамбоидального Py1 в алевропесчанике; В – метаморфический Py2 с рутилом; Г-Д – метасоматический пирит Py3: Д – метасоматический Py3 в ассоциации с ромбическими и удлиненно-призматическими зернами Apy1, Д – катаклазированный Py3 с включениями золота, галенита, халькопирита и тетраэдрита; Е – жильный Py4 с Apy2. Сокращения названий минералов по [5].

По данным рентгеноспектрального анализа установлено, что во всех генерациях пирита присутствуют примеси As, Co, Ni, Cu и Sb. Для Py1 и Py2 характерен состав близкий к стехиометрическому ($Fe_{0,96-1,01}S_{2,00}$) и общее содержание примесей 0,11-0,57 масс. %, при достаточно равномерном распределении между элементами. В жильном Py4 основным примесным элементом является As (C_{As} = 0,51-1,82 масс. %), остальные элементы содержатся в малых количествах (0,02-0,05 масс. %). Химический состав Py3 отличается наибольшими вариациями и изменчивостью даже в объеме отдельных кристаллов (Рисунок 2).

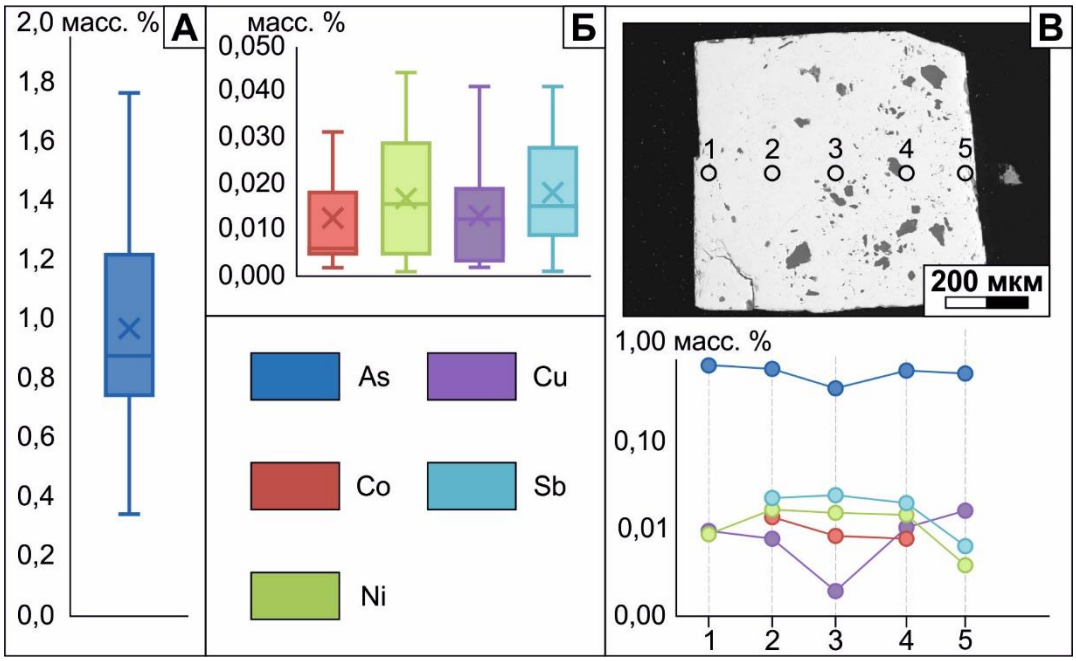


Рисунок 2. Вариации химического состава Py3.
А – изменения содержания примеси As; Б – изменения содержаний примеси Co, Ni, Cu, Sb; В – изменения в содержании примесей по профилю в одном кристалле. Нижняя граница линии показывает минимальное, верхняя – максимальное, крестик – среднее значение. Границы «прямоугольника» – первый и третий квартили, а линия в середине «прямоугольника» – медиана.

Для Py3 общее содержание примесей изменяется от 0,35 до 1,77 %. Концентрация примеси As колеблется от 0,34 до 1,76 масс. % (в среднем 1,01 масс. %) и в 35 % проанализированных зерен он является единственной микропримесью. Содержания Co, Ni, Cu и Sb (масс. %) следующие: Co – 0,002-0,052, Ni – 0,001-0,044, Cu – 0,002-0,041, Sb – 0,001-0,043. Формула метасоматического пирита: $Fe_{0,93-1,04}S_{1,97-2,00}As_{0,01-0,03}$. Распределение отдельных элементов носит зональный или секториальный характер. Для Co и Ni наблюдаются повышенные содержания в центре кристаллов, для As характерно повышение концентраций по периферии. Это отражает длительность формирования метасоматического пирита и начале его кристаллизации на дорудном этапе развития. Атомно-абсорбционным методом анализа в Py3 установлены содержания золота (от 0,282 до 21,576 г/т, в среднем 7,205 г/т, n=14) и серебра (от 0,049 до 1,533 г/т, в среднем 0,644 г/т, n=14).

3. Выводы

В пределах Ылэнского золоторудного поля установлено четыре генерации пирита: дорудные – диагенетический Py1, метаморфогенный Py2 и рудные – метасоматический Py3, жильный Py4. По данным спектрального анализа, типоморфными примесями во всех генерациях пирита являются As, Co, Ni и Sb. Наиболее контрастные вариации в содержании микропримесей характерны для метасоматического пирита Py3.

4. Благодарности

Авторы благодарят сотрудников Верхне-Индигирского обособленного подразделения АО «Якутскгеология» за помощь в организации полевых работ и аналитиков ИГАБМ СО РАН за качественную и оперативную работу. Исследование выполнено по государственному заданию ИГАБМ СО РАН, при частичной поддержке РФФИ (грант № 18-45-140040 р_а).

5. Литература:

[1] Akimov G.Yu., Krylova T.L., Sidorov A.A., Kryuchkov A.V. The Taryn vein-disseminated ore deposit: a new type of gold mineralization in the Verkhne-Indigirka region, Yakutia // Doklady Earth Sciences, 2004, vol. 397 (6), pp. 737-742, (in Russian).

[2] Fridovsky, V.Yu., Polufuntikova, Tarasov, Ya. A. Mineralogy, Geochemistry and Localization of Regional Pyritization Zones – Constraints from Early Mesozoic Deposition in the Chay-Yureya Fault of the Kular-Nera Terrane, NE Russia // 6th World Multidisciplinary Earth Sciences Symposium, 2020, vol. 609, pp. 1-11.

[3] Goryachev N.A., Sotskaya O.T., Ignatyev A.V., Velivetskaya T.I., Goryacheva E.M., Semyshev F.I., Erdnikov N.V., Malinovsky M.A., Al'shevsky A.V. On sulfide mineralization of large fault zones in the Yana-Kolyma orogenic belt // Bulletin of the North-East Scientific Center, Russia Academy of Sciences Far East Branch, 2020, vol. 1, pp. 11-29.

[4] Kudrin M.V., Polufuntikova L.I., Fridovsky V.Yu., Aristov V.V., Tarasov Ya. A. Geochemistry and the form of «invisible» gold in pyrite from metasomatites of the Khangalas deposit, North-East of Russia // Arctic and Subarctic Natural Resources, 2020, vol. 25 (3), pp. 7-14.

[5] Whitney D.L., Evans B.W. Abbreviations for names of rock-forming minerals // American Mineralogist, 2010, vol. 95, pp. 185-187.

УДК 553.411.071; 550.93; 553.065; 551.76

ПЕРВЫЕ ДАННЫЕ RE–OS ИЗОТОПНОЙ ГЕОХРОНОЛОГИИ ОРОГЕННЫХ ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ВЕРХОЯНО-КОЛЫМСКОЙ МИНЕРАГЕНИЧЕСКОЙ ПРОВИНЦИИ (СЕВЕРО-ВОСТОК РОССИИ)

Валерий Фридовский[1], Роберт Крымский[2], Максим Кудрин[1]
1 Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, пр. Ленина, 39, г. Якутск, 677000, Россия
Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского, Средний пр., 74, г. Санкт-Петербург, 199106, Россия

THE FIRST DATA OF RE–OS ISOTOPE GEOCHRONOLOGY AT THE OROGENIC GOLD DEPOSITS, VERKHOYANSK-KOLYMA MINERAGENIC PROVINCE, NORTHEAST RUSSIA

Valery Fridovsky[1], Robert Krymsky[2], Maksim Kudrin[1]
1 Diamond and Precious Metal Geology Institute SB RAS, 39 Lenin Ave., Yakutsk, 677000, Russia
2 A.P. Karpinsky Russian Geological Research Institute, 74 Sredny Ave., Saint-Petersburg, 199106, Russia

Annotation. The results of studies of the Re–Os isotope systems of the Malo-Tarynskoe, Bazovskoe, Khangalas and the Dvoynoe gold deposits located in the central part of the Yana-Kolyma metallogenic belt, Verkhoyansk-Kolyma mineragenic province have been discussed. The data obtained indicate that the of orogenic gold deposit formation in the central part of the Yana-Kolyma metallogenic belt supposedly coincided with the events of the Late Jurassic–early Early Cretaceous orogenic events on the eastern continental margin of the Siberian craton. Various sources of ore-forming substances have been identified. The osmium initial isotopic ratio in gold $^{187}Os/^{188}Os$ = 0,2210–0,4275 is typical for the ore-forming material from the fertile mantle reservoir, and for chalcopyrite (3,1904) – from the crust.

1. Введение

Определение возраста и выяснение природы источника рудных компонентов является критическим в установлении взаимоотношений между золотой минерализацией и тектоно-магматическими событиями в Верхояно-Колымской минерагенической провинции. Одним из решений является изучение изотопных Re–Os систем минералов (пирит, арсенопирит, халькопирит, молибденит и золото) [1,7,9,10[7] для определения возраста и вклада разноглубинных резервуаров в рудообразующий процесс. Нами проведены исследования Re–Os изотопной системы золота Мало-Тарынского, Хангаласского, Базовского и халькопирита Двойного золоторудных месторождений, расположенных в Верхне-Индигирском секторе Яно-Колымского металлогенического пояса [3,4,5[7]. Их характеристики типичны для орогенного типа золоторудных месторождений [6]. Концентрации рения и осмия определялись методом изотопного разбавления в Центре изотопных исследований Всероссийского геологического института (ФГБУ «ВСГЕИ», С. Петербург).

2. Результаты работ и обсуждение

Концентрация Re в золоте из орогенных золоторудных месторождений Верхне-Индигирского сектора Яно-Колымского металлогенического пояса изменяется от 0,168 до 6,997 ppb и Os – от 0,068 до 1,443 ppb (Таблица 1). Содержание Re и Os в золоте изученных месторождений выше, чем в среднем в континентальной коре **Ошибка! Источник ссылки не найден.**. В халькопирите из месторождения Двойное содержание Re и Os 0,1522 и 0,499 ppb, соответственно, и близки к средним в континентальной коре **Ошибка! Источник ссылки не найден.**.

Таблица 1

Результаты Re-Os изотопного анализа самородного золота и халькопирита из месторождений Индигирского сектора Яно-Колымского металлогенического пояса

Номер образца/фракции	Навеска, г	Re, мг/т	Os, мг/т	$^{187}Re/^{188}Os$	±2σ, %	$^{187}Os/^{188}Os$	±2σ, абс.	$(^{187}Os/^{188}Os)_i$
Мало-Тарынское, самородное золото								
МТ-Б-9-16 (1)	0,0137	1,007	0,811	5,931	1,80	0,2618	0,0012	0,2472
МТ-Б-9-16 (2+4)*	0,0115	3,366	1,046	15,029	0,58	0,2854	0,0017	0,2471
МТ-Б-9-16 (3)	0,1658	6,997	0,360	73,282	1,74	0,4275	0,0027	0,2478
Хангалас, самородное золото								
ХГ-45-14 (1)	0,0380	0,916	0,205	21,395	0,09	0,2701	0,0026	0,2212
ХГ-45-14 (2)	0,0187	1,862	0,354	24,883	0,13	0,2906	0,0022	0,2338
ХГ-45-14 (3)	0,0289	0,439	0,731	2,878	0,66	0,2210	0,0011	0,2144
ХГ-45-14 (4)	0,0123	0,702	1,443	2,329	0,37	0,2265	0,0013	0,2212
Базовское, самородное золото								
БЗ-93-15 (1)	0,0253	0,461	0,170	12,737	1,50	0,3816	0,0020	0,3504
БЗ-93-15 (2)	0,0220	6,406	0,211	146,09	0,15	0,5431	0,0023	0,1849
БЗ-93-15 (3)	0,0729	0,168	0,068	11,694	2,29	0,3788	0,0041	0,3502
БЗ-93-15 (4)	0,0692	1,147	0,146	37,509	0,51	0,2765	0,0023	0,1845
Двойное, халькопирит								
ДВ-28-18	0,1522	0,499	0,0348	96,142	0,29	3,1904	0,0229	

Примечания: навески проб взяты с использованием единичных золотин или их части; ±2σ,% – погрешность определения изотопного отношения (внутренняя), в относительных единицах; ±2σ, абс. – погрешность определения изотопного отношения (внутренняя), в абсолютных единицах; * – навески при построении изохроны объединены с усреднением изотопного состава суммарной точки; $(^{187}Os/^{188}Os)_i$ – начальное отношение изотопов осмия на предполагаемое время формирования золота месторождений Мало-Тарынское и Базовское – 147 млн. лет назад, Хангалас – 137 млн. лет назад.

Отношение $^{187}Re/^{188}Os$ в золоте изменяется от 2,329 до 146,09. Наибольшие средние значения $^{187}Re/^{188}Os$ отношения характерны для золота из месторождения Базовское (52,0075), тогда как для золота из месторождений Мало-Тарынское – 31,4142 и Хангалас –12,8712 значен. В халькопирите из рудопроявления Двойное отношение $^{187}Re/^{188}Os$ достигает 96,142.

Величины начального изотопного отношения $^{187}Os/^{188}Os$ в золоте изменяются от 0,2210 до 0,5431. Для образцов золота месторождения Хангалас получены наиболее однородные величины $^{187}Os/^{188}Os$ = 0,2210–0,2906, менее гомогенные значения наблюдаются для золота месторождения Мало-Тарынское $^{187}Os/^{188}Os$ = 0,2618–0,4275 и Базовское $^{187}Os/^{188}Os$ = 0,2765–0,5431. Значения $^{187}Os/^{188}Os$ в золоте изученных месторождений превышают 0,20, что выше характерных для мантии (0,1290; [8]), но заметно ниже, чем в земной коре (>1,0; [2]). Установленная величина начального изотопного отношения $^{187}Os/^{188}Os$ в халькопирите (3,1904) характерна для коровых рудообразующих систем. Полученные результаты отражают смешанный мантийно-коровой источник золота и рудообразующих металлов орогенных золоторудных месторождений Индигирского сектора Яно-Колымского металлогенического пояса.

На Re–Os изохронной диаграмме образцы золота из Мало-Тарынского месторождения формируют линейный тренд, соответствующий времени их формирования (147,8±3,8 млн. лет) и исходному отношению $^{187}Os/^{188}Os$ = 0,2475±0,0012 (СКВО = 1,5). Re–Os изотопные системы четырех образцов рудного золота из месторождения Хангалас характеризуются неоднородностью. Отмечается положительный тренд зависимости между $^{187}Re/^{188}Os$ и $^{187}Os/^{188}Os$, который может свидетельствовать о времени формирования изотопной системы 137,1±7,6 млн. лет назад при начальном изотопном отношении $^{187}Os/^{188}Os$ = 0,2212±0,0014. Для образцов золота из месторождения Базовское при начальном изотопном отношении $^{187}Os/^{188}Os$= 0,1844±0,0032 оценка возраста будет равна 147,2±1,8 млн лет и близка возрасту образцов золота Мало-Тарынского месторождения.

3. Выводы

Полученные данные позволяют сопоставить формирования орогенных золоторудных месторождений Индигирского сектора Яно-Колымского металлогенического пояса с позднеюрскими-раннемеловыми орогенными событиями на восточной континентальной окраине Сибирского кратона. Начальные отношения изотопов осмия ($^{187}Os/^{188}Os)_i$ в интервале 0,1844-0,2475 изученных образцов и фракций золота Мало-Тарынского, Хангаласского и Базовского месторождений указывают на существенную долю нерадиогенной компоненты, которая обычно ассоциирует с мантийными источниками. Установленная величина начального изотопного отношения $^{187}Os/^{188}Os$ в халькопирите (3,1904) характерна для коровых рудообразующих систем. Результаты Re–Os датирования являются пилотными, но их высокая информативность свидетельствует о необходимости дальнейших исследований Re–Os изотопных систем золоторудных месторождений Верхояно-Колымской минерагенической провинции.

4. Благодарности

Исследование выполнено по плану НИР ИГАБМ СО РАН, при частичной поддержке РФФИ (грант № 18-45-140040 р_а).

5. Литература:

[1] Bushmin S.A., Belyatsky B.V., Krymsky R.Sh., Glebovitsky V.A., Buiko A.K., Savva E.V., Sergeev S.A. Isochron Re–Os age of gold from Mayskoe gold–quartz vein deposit (Northern Karelia, Baltic Shield) // Dokl. Acad. Sci., 2013, vol. 448, no. 1, pp. 76–79 (in Russian).

[2] Esser B.K., Turekian K.K. The osmium isotopic composition of the continental crust. Geoch. and Cosmoch. Acta, 1993, vol. 57, no. 13, pp. 3093–3104.

[3] Fridovsky V.Yu., Kudrin M.V., Polufuntikova L.I. Multi-stage deformation of the Khangalas ore cluster (Verkhoyansk–Kolyma folded region, northeast Russia): ore-controlling reverse thrust faults and post-mineral strike-slip faults // Minerals, 2018, vol.8, no.7, pp. 270.

[4] Fridovsky V.Yu., Kudrin M.V., Polufuntikova L.I., Goryachev N.A. Ore-controlling thrust faults at the Bazovskoe gold-ore deposit (Eastern Yakutia) // Dokl. Acad. Sci., 2017, vol. 474, no. 2, pp. 617–619.

[5] Fridovsky V.Yu., Gamyanin G.N., Polufuntikova L.I. The structure, mineralogy, and fluid regime of ore formation in the polygenic Malo-Taryn gold field, northeast Russia. Russ. J. Geol. Pac. Ocean., 2015, vol.9, no. 4, pp. 274–286.

[6] Goldfarb R.J., Groves D.I. Orogenic gold: common or evolving fluid and metal sources through time. Lithos, 2015, vol. 233, pp. 2–26.

[7] Kirk J., Ruiz J., Chesley J., Walshe J., England G. A major archean, gold- and crust-forming event in the Kaapvaal Craton, South Africa // Science, 2002, vol. 297, pp. 1856–1858.

[8] Meisel Th., Walker R.J., Morgan J.W. The osmium isotopic composition of the Earth's primitive upper mantle // Nature, 1996, vol. 383, pp. 517–520.

[9] Morelli R., Creaser R.A., Seltmann R., Stuart F.M., Selby D., Graupner T. Age and source constraints for the giant Muruntau gold deposit, Uzbekistan, from coupled Re–Os–He isotopes in Arsenopyrite. // Geol., 2007, vol. 35, no.9, pp. 795–798.

[10] Yakubchuk A., Stein H., Wilde A. Results of pilot Re–Os dating of sulfides from the Sukhoi Log and Olympiada orogenic gold deposits, Russia // Ore Geology Reviews, 2014, vol. 59, pp. 21–28.

УДК 552.321

U-Pb ВОЗРАСТ И ПРИРОДА ГРАНИТОИДОВ МАЛЫХ ИНТРУЗИЙ ЯНО-КОЛЫМСКОГО МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКОГО ПОЯСА: РОЛЬ КИСЛОГО МАГМАТИЗМА В ЛОКАЛИЗАЦИИ ЗОЛОТОГО ОРУДЕНЕНИЯ

Валерий Фридовский[1], Антонина Верниковская[1,2,3], Кюнней Яковлева[1]
1 Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, пр. Ленина, 39, г. Якутск, 677000, Россия
2 Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, пр. Академика Коптюга, 3, г. Новосибирск, 630090, Россия
3 Новосибирский государственный университет, ул. Пирогова, 1, г. Новосибирск, 630090, Россия

U-Pb AGE AND ORIGIN OF SMALL INTRUSION GRANITOIDS OF THE YANA-KOLYMA METALLOGENIC BELT: ROLE OF ACIDIC MAGMATISM IN THE EMPLACEMENT OF GOLD MINERALIZATION

Valery Fridovsky[1], Antonina Vernikovskaya[1,2,3], Kyunnei Yakovleva[1]
1 Diamond and Precious Metal Geology Institute SB RAS, 39 Lenin Ave., Yakutsk, 677000, Russia
2 Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 3 Akademika Koptyuga Ave., Novosibirsk, 630090, Russia
3 Department of Mineralogy and Geochemistry, Novosibirsk State University, 1 Pirogova St., Novosibirsk, 630090, Russia

Annotation. The formation of granitoids from the Bukechen and Samyr small intrusions in the central part of the Verkhoyan-Kolyma fold belt probably took place on the final stage of formation of the Siberian paleocontinent active continental margin in the Early Cretaceous following the Late Jurassic dike magmatism of the Nera-Bokhapcha complex. U-Pb age estimates for zircons from these granitoids are 144.5±0.91 Ma and 142.8±1.1 Ma (SHRIMP II method). Both the small intrusion granitoids and various rocks in dikes (from basic to acidic varieties) could have formed from a mantle material of mixed OIB and E-MORB types with participation of a subduction or crustal component. The latter is indicated by the old ages (Mesoproterozoic, Paleoproterozoic, Ordovician and Devonian) of zircon cores in the studied granitoids. The emplacement of the Early Cretaceous small intrusion granitoids obviously facilitated the final processes of migration and localization of gold in tectonic dislocation zones that took place after the input of this ore component by mafic magmas into the host terrigenous sedimentary rocks on the eastern margin of the Siberian paleocontinent.

1. Введение

Установление возраста и геодинамической обстановки образования кислых пород из комплексов малых интрузий (массивов) необходимо для понимания эволюции вмещающих их тектонических структур и природы ассоциирующего с ними оруденения. Одним из благоприятных регионов для решения подобных задач является западная часть Верхояно-Колымской складчатой области **(**ВКСО), относящаяся к коллизионной структуре северо-восточного обрамления Сибирского кратона [1,2,3]. В этой части ВКСО распространены малые массивы гранитоидов, нередко ассоциирующие с дайками от основного до кислого состава нерабохапчинского комплекса [4,5,6,7]. Эти магматические тела образуют полосу проявлений шириной до 75 км, сопряженных в пространстве с золотым оруденением Яно-Колымского металлогенического пояса (ЯКМП). Последний вытянут с северо-запада на юго-восток на 1000 км вдоль пограничных структур Сибирского кратона и Колымо-Омолонского супертеррейна. Массивы прорывают слабометаморфизованные терригенные отложения мезозойского возраста (T_3-J_1) Кулар-Нерского террейна и Верхоянского складчато-надвигового пояса, представляющих

фрагменты пассивной континентальной окраины Сибирского кратона. Магматические проявления приурочены к разломам СВ простирания, поперечных к простиранию основных тектонических элементов региона. Основываясь на тектонических особенностях локализации эти интрузии были объединены в “Поперечные магматические ряды гранитоидов и даек”, распространенных в разных секторах ЯКМП [7]. Их возраст базируется на Rb–Sr изохронных оценках для даек из Мало-Тарынского месторождения - 162±4 млн. лет (субщелочные базальты – шошониты) [8] и Тинь-Юрюетинского месторождения – 151±3 и ~ 146 млн. лет (андезибазальты, гранит-порфиры) [9], а также вероятно для гранодиоритов Курдатского массива (из с-з части Мало-Тарынского рудного поля) ~ 145 млн. лет [10]. Наиболее молодые оценки хорошо согласуются с U–Pb геохронологическими данными по цирконам из даек кислого и среднего состава месторождения Вьюн и рудопроявления Шумный - 151±1,5 млн. лет (гранодиорит), 147±1,3 млн. лет (дацит) и 145,5±1,4 млн. лет (трахиандезит) [11]. Формирование разнообразных магматических пород нера-бохапчинского дайкового комплекса происходило в позднеюрское время до и синхронно с образованием гранитоидов Главного пояса [12], в обстановке активной континентальной окраины [11,13]. Тогда как природа и возраст ассоциирующих с дайками этого комплекса гранитоидов малых массивов, площадь которых варьирует от 0,8 до первых десятков км^2 [7], являются предметом острых дискуссий до настоящего времени. Решению этих вопросов были посвящены комплексные петрографо-геохимические и U–Pb геохронологические исследования гранитоидов двух массивов – Букесченского и Самырского (площадь не более 7,6 км^2) западной части ВКСО.

2. Основная часть

Силикатный анализ гранитоидов Букесченского и Самырского массивов проведен в ИГАБМ СО РАН (г. Якутск). Определение содержаний трэйс элементов в породах выполнено с помощью масс-спектрометров – квадрупольного Agilent7500ce (Япония) и высокого разрешения Element2 (Германия) в лабораториях ИГХ СО РАН (г. Иркутск). U-Pb датирование цирконов проведено на прецизионном вторично-ионном микрозонде высокого разрешения SHRIMP-II, в Центре изотопных исследований ВСЕГЕИ (Санкт-Петербург), по стандартной методике, неоднократно опубликованной, к примеру, в [11].

Букесченский гранодиоритовый массив (7,4 км^2) приурочен к структуре Вьюнского рудного поля. Тектоническое строение этого фрагмента ЯКМП определяется продольными СЗ чешуйчато-надвиговыми структурами Чакры-Индигирского надвига и поперечными СВ разломами. Чаркы-Индигирский надвиг проявлен зоной интенсивного смятия и дробления пород, тектоническим меланжем мощностью несколько десятков метров. Наложенные складки характеризуются крутыми углами погружения шарниров к СВ, В и ЮВ. Крутопадающие разрывные нарушения СЗ простирания выражены зонами дробления и приразломного смятия пород мощностью до первых десятков метров. Здесь широко проявлены разломы Букесчен-Эльгенджинской системы СВ простирания. К ним приурочены дайковые образования нера-бохапчинского комплекса и малые массивы гранитоидов, одним из которых является Букесченский массив. Гранитоиды Букесченского массива имеют среднезернистую и гипидиоморфнозернистую структуры. Основными минералами являются плагиоклаз, калиевый полевой шпат, кварц и биотит. Акцессорные и рудные минералы – апатит, циркон и магнетит. Вторичные изменения – соссюритизация, серицитизация и пелитизация.

U-Pb геохронологические исследования проводились для 12 зерен цирконов из гранодиорита Букесченского массива. Цирконы представлены идиоморфными длиннопризматическими зернами с включениями, а также небольшим количеством их обломков. Цирконы на CL-снимках имеют зональное строение. Конкордантный возраст для 11 зерен, их периферийных частей составляет 144,5±0,91 млн. лет (СКВО 0,34, вероятность 0,56), с содержанием U=322-826, Th=93-336, Th/U=0,21-0,42. Для центральных (более древних) частей зерен получены следующие возрастные значения (^{207}Pb/^{206}Pb): 2804±15 млн. лет, 1448±33 млн. лет, 462±34 млн. лет и 411±23 с содержаниями U от 104 до 1067 г/т, Th от 27 до 334 г/т. Величина Th/U отношения в пределах 0,27-0,76.

Самырский гранитоидный массив (округлая форма, площадь 7,6 км^2) прорывает терригенно-карбонатные породы на границе Верхоянского складчато-надвигового пояса и Кулар-Нерского террейна. Этот массив находится в с-з части Мало-Тарынского золоторудного поля, где к оперяющим структурам Адыча-Тарынского разлома приурочены породы базанит-тефрит-трахибазальтовой дайковой ассоциации. Гранитоиды Самырского массива имеют крупнозернистую и гипидиоморфнозернистую структуру. Основными минералами являются плагиоклаз, калиевый полевой шпат, кварц, биотит и роговая обманка. Акцессорные минералы – апатит и циркон, рудные – магнетит. Центральные части плагиоклаза замещены соссюритом.

U-Pb геохронологические исследования проводились для 9 зерен цирконов из гранита Самырского массива. Цирконы представлены бесцветными и прозрачными идиоморфными длиннопризматическими зернами с включениями, а также их обломками. Цирконы на CL-снимках имеют зональное строение. В единичных зернах наблюдаются черные высокоурановые каймы. По результатам U-Pb датирования 12 точек из периферийных частей зерен установлен конкордантный возраст 142,8±1,1 млн. лет (СКВО 0,029, вероятность конкордантности 0,87), с содержанием U = 68-4004, Th=24-684 и Th/U=0,16-0,43. В одной точке установлен возраст 155,3±1,3 млн. лет, с содержанием U=3192, Th = 684 и Th/U=0,22. В этом случае значение U-Pb датировки, скорее всего, оказывается переоцененным за счет матричного эффекта, вызванного повышенным содержанием U [14]. Из центральных частей зерен получены две древние возрастные дискордантные оценки возраста ($^{207}Pb/^{206}Pb$) – 1705±14 с содержанием U = 280, Th = 79 и Th/U = 0,29 и 1832±5,3 млн. лет с содержанием U = 981, Th = 1091 и Th/U = 1,15).

Гранитоиды Букесченского и Самырского массива имеют близкие петрохимические характеристики (содержание SiO_2 варьирует от 68,14 до 69,02 масс. %): невысокие значения суммы Na_2O+K_2O – от 6,32 до 6,39, повышенные Na_2O/K_2O - от 1,34 до 1,67. Эти породы слабопералюминиевые (A/CNK меняются от 1,05 до 1,17) и, согласно классификации (Frost et al, 2001), относятся к магнезиальным интрузивным породам известковой и известково-щелочной магматических серий. Гранитоиды имеют небольшие отрицательные аномалии Eu (Eu/Eu*= 0,84-0,85), умеренное значение $(La/Yb)_N$ = 5,5-6,8. Эти кислые интрузивные породы демонстрируют подобие распределений трэйс элементов на РЗЭ и мультиэлементных диаграммах для даек разнообразного состава из золоторудных объектов ЯКМП - Мало-Тарынского (базаниты, тефриты, трахибазальты), Тинь-Юрюетинского (габбро, трахидолериты, риодациты), Вьюн и Шумного (базальты, трахибазальты, андезибазальты, трахиандезибазальты, андезиты, трахиандезиты, диорит-порфиры, монцодиориты, дациты, риодациты, плагиориодациты и гранодиорит-порфиры) и гранит-порфиров Эргеляхского массива. В отличие от этих магматических пород гранитоиды исследуемых двух массивов имеют слегка более низкую аномалию Eu (Eu/Eu*= 0,84-0,85) и большую отрицательную аномалию Sr. Все рассматриваемые магматические породы, как дайки, так и малые интрузии гранитоидов характеризуются выраженными Ta-Nb аномалиями, а также повышенными концентрациями большинства крупноионных литофильных элементов. Как в образцах из даек, так и малых интрузий гранитоидов ЯКМП концентрации большинства высокозарядных элементов близки к промежуточным между OIB и E-MORB. Обогащение пород Th и ЛРЗЭ относительно Nb могло происходить за счет вклада субдукционной компоненты, либо контаминации коровым материалом. В пользу последнего указывают древние значения возраста (палеопротерозойские, мезопротерозойские, ордовикские и девонские) из ядер цирконов в исследуемых гранитоидах.

3. Выводы

Формирование гранитоидов Букесченского и Самырского малых массивов, находящихся в центральной части ВКСО, вероятно происходило на заключительном этапе формирования активной континентальной окраины Сибирского кратона в раннем мелу. U-Pb оценки возраста цирконов из гранитоидов этих массивов составляют 144,5±0,91 и 142,8±1,1 млн. лет. Внедрение кислых интрузивных пород, относимых к известковой и известково-щелочной магматическим сериям, происходило вслед за позднеюрским дайковым магматизмом нера-бохапчинского комплекса, характеризующимся разнообразием состава (от основного до кислого), и имеющим

широкое распространение в ЯКМП [11,13]. Рассматриваемые магматические породы, как дайки, так и малые интрузии гранитоидов, могли образоваться из смешанного мантийного материала OIB- и E-MORB-типа с участием субдукционной или коровой компонент. В пользу последней указывают древние значения возраста (мезопротерозойские, палеопротерозойские, ордовикские и девонские) из ядер цирконов в исследуемых гранитоидах. Внедрение раннемеловых гранитоидов малых интрузий могло способствовать финальным процессам миграции и локализации золота в зонах тектонических нарушений, вслед за привносом этого рудного компонента мафитовыми магмами во вмещающие их терригенные толщи восточной окраины Сибирского кратона.

4. Благодарности

Исследование выполнено по плану НИР ИГАБМ СО РАН, при частичной поддержке РНФ (грант №20-05-00360) и РФФИ (гранты № 18-45-140040 р_а, №20-05-00360).

5. Литература:

[1] Tectonic map of the Yakut ASSR and adjacent territories. Scale 1:1500000 // Resp. ed. Mokshantsev K. B. Moscow: GUGK. 1976, 6 pp. (In Russian).

[2] Parfenov, L.M.; Kuzmin, M.I. (Eds.) Tectonics, Geodynamics and Metallogeny of the Territory of the Republic of Sakha (Yakutia); Nauka/Interperiodika: Moscow, Russia, 2001, 571pp. (In Russian).

[3] Gamyanin, G.N.; Fridovsky, V.Y.; Vikent'eva, O.V. Noble-metal mineralization of the Adycha-Taryn metallogenic zone: Geochemistry of stable isotopes. fluid regime. and ore formation conditions.Rus. Geol. Geophys. 2018, no. 59, pp. 1271–1287.

[4] Indolev, L.N. Dikes of Eastern Yakutia Ore Regions; Nauka: Moscow, Russia, 1979; 189pp. (In Russian).

[5] Volkov, A.V.; Egorov, V.N.; Prokof'ev, V.Y.; Sidorov, A.A.; Goryachev, N.A.; Biryukov, A.V. Gold deposits in dikes of the Yana-Kolyma belt. Geol. Ore Dep. 2008, no. 50, pp. 275–298. (In Russian).

[6] Protopopov, R.I.; Trushelev, A.M.; Protopopov, G.K.; Fedorova, S.S.; Sherbakov, O.I.; Kutygin, R.V.; Zharikova, L.P.; Budnikov, I.V.; Smetannikova, L.I.; Yuganova, L.A.; et al. State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1:1,000,000 (Third Generation). Series Verkhoyansk-Kolyma, Sheet Q-53—Verkhoyansk. Explanatory Note; VSEGEI Cartographic Factory: Saint Petersburg, Russia, 2016, 415 pp. (In Russian).

[7] Protopopov, R.I., Trushelev, A.M., Kuznetsov, Y.V. State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1:1000000 (Third Generation). Series Verkhoyansk-Kolyma, Sheet Q-54—Ust-Nera. Explanatory Note. VSEGEI Cartographic Factory: Saint Petersburg, Russia, 2019, 845 pp. (In Russian).

[8] Zaitcev, A.I.; Fridovsky, V.Y.; Yakovleva, K.Y.; Kudrin, M.V.; Vernikovskaya, A.E. Composition and age of the basitic dikes of the Nastenka site of the Malo–Tarynskoe orogenic gold deposit (Verkhoyansk–Kolyma folded region. Northeast Russia). In Proceedings of the 19th International Multidisciplinary Scientific GeoConference-SGEM, Varna, Bulgaria, 30 June–6 July 2019; Bulgarian Acad. Sci.: Varna, Bulgaria, 2019, vol. 19, pp. 99–108.

[9] Zaitcev, A.I.; Fridovsky, V.Y.; Kudrin, M.V. Rb-Sr systematics of igneous rocks in the western part of the Olchan-Nersk metallogenic zone (Eastern Yakutia) // Otech. Geol., 2016, no. 6, pp. 43-51 (In Russian).

[10] Zaitsev A. I., Fridovsky V. Yu., Kudrin M. V. Intensive formation parameters and mineragenic potential of granitoids of the Kurdat and Samyr massifs, Tas-Kystabyt magmatic belt of the Verkhoyansk-Kolyma fold region // Otech. Geology, 2017, no. 5, pp. 80-89. (In Russian).

[11] Fridovsky, V.Yu., Yakovleva, K.Yu., Vernikovskaya A.E., Vernikovsky V.A., Matushkin N.Yu., Kadilnikov P.I., Rodionov N.V. Geodynamic emplacement setting of Late Jurassic dikes of the Yana-Kolyma gold belt, NE folded framing of the Siberian Craton: geochemical, petrologic, and U-Pb zircon data // Miner., 2020, vol. 10, no. 11, pp. 1000.

[12] Akinin, V.V.; Prokopiev, A.V.; Toro, J.; Miller, E.L.; Wooden, J.; Goryachev, N.A.; Alshevsky, A.V.; Bakharev, A.G.; Trunilina, V.A. U-Pb SHRIMP ages of granitoides from the main batholith belt (North East Asia). Dokl. Earth Sci. 2009, 426, 605–610. (In Russian).
[13] Fridovsky, V.Yu.; Yakovleva, K.Yu.; Vernikovskaya, A.E.; Academician Vernikovsky, V.A.; Rodionov, N.V.; Lokhov, K.I. Late Jurassic (151-147 Ma) Dike Magmatism of the Northeastern Margin of the Siberian Craton // Doklady RAN Nauki o Zemle, 2020a, 491. no.1, pp. 12-16.
[14] Williams, I.S.; Hergt, J.M. U-Pb dating of Tasmanian dolerites; a cautionary tale of SHRIMP analysis of high-U zircon. In Beyond 2000, New Frontiers in Isotope Geoscience (Incorporating ACOG 4): bstracts and Proceedings, Lorne, Australia, 30 January–4 February 2000; Woodhead, J.D., Hergt, J.M., Noble, W.P., Eds.; University of Melbourne: Melbourne, Australia, 2000; pp. 185–188.

УДК 547.02:552.578(571.56-15)

АДАМАНТАНОВЫЕ УГЛЕВОДОРОДЫ В НАФТИДАХ ЗАПАДНОЙ ЯКУТИИ

Ольга Чалая, Сара Лифшиц, Ираида Зуева, Юлия Глязнецова
Институт проблем нефти и газа ЯНЦ СО РАН, ул. Петровского 2, г. Якутск, 677980, Россия

ADAMANTANE HYDROCARBONS IN NAFTIDES OF WESTERN YAKUTIA

Olga Chalaya, Sara Lifshits, Iraida Zueva, Yuliya Glyaznetsova,
Institute of Oil and Gas Problems YSC SB RAS, 2 Petrovsky St., Yakutsk, 677980, Russia

Annotation. The results of study on content, composition and character of adamantane hydrocarbons distribution are consider in this paper. There were analyzed naphthides of the different genetic types from the deposits in Western Yakutia: the oils and condensates from the Vendian-Cambrian sediments generated by planktonic algal organic matter of marine facies (I genotype), and the Mesozoic oils and condensates generated by continental terrigenous organic matter (II genotype). Adamantane hydrocarbons of the composition from $C_{10}H_{16}$ to $C_{14}H_{24}$ were detected in the studied samples of naphthides. The results showed that adamantane hydrocarbons within each genetic type characterized by a similar composition and distribution. At the same time there were some differences detected in the naphthides of different genotypes. The naphthides of I genotype differ from naphthides II genotype a lower content of adamantanes and its methyl - and dimethyl derivatives of hydrocarbons, a high content of tri - and tetramethyl-adamantanes, lower values of the relations C_{11}/C_{13} and C_{12}/C_{13} as values ethyladamantanes index. The obtained data on the composition of adamantane hydrocarbons can use as the additional geochemical criterion for determination the genesis of naphthides.

1. Введение

УВ каркасного строения - адамантаны- отсутствуют в природной биомассе [1,2,3] и образуются в результате термического и каталитического крекинга высокомолекулярных насыщенных углеводородов, а также смол и асфальтенов в нефтях как аквагенного, так терригенного генезиса [4]. Эти углеводороды имеют значение при выяснении геохимических особенностей процессов формирования состава конденсатов, легких и сильно преобразованных нефтей в отсутствии высокомолекулярных биомаркеров [1,2]. Они играют важную роль для решения вопросов генезиса и химической эволюции нафтидов, для генетической типизации высокозрелых нефтяных систем [5]. Единственным природным источником адамантана и его гомологов являются нефти и конденсаты, но содержание этих углеводородов в них очень низкое (сотые, тысячные и десятитысячные доли процента). С другой стороны, адамантановые углеводороды представляют определённый промышленный интерес как сырье для получения ценных продуктов в различных отраслях промышленности. Целью данной работы явилось сравнительное изучение содержания, состава и характера распределения адамантановых углеводородов в различных генетических типах нафтидов Западной Якутии. Состав адамантановых углеводородов определялся методом хромато-масс-спектрометрии на приборе Agilent 6890, имеющем интерфейс с высокоэффективным масс-селективным детектором Agilent 5973N. Сканирование по фрагментарным ионам m/z 135, 136, 149, 163, 177, 188 дает характерную картину распределения адамантана и его метилпроизводных. Идентификация соединений осуществлялась сравнением полученных индивидуальных масс-спектров с уже имеющимися спектрами в библиотеке системы, а также с опубликованными данными.

2. Результаты

Материалом исследований послужили нефти и конденсаты из венд-кембрийских отложений, генерированные планктонно-водорослевым ОВ морских фаций (I генотип), и мезозойские нефти и конденсаты, генерированные смешанным сапропелево-гумусовым органическим веществом

континентальных фаций (II генотип). Во всех изученных нафтидах установлено присутствие адамантановых углеводородов от $C_{10}H_{16}$ до $C_{14}H_{24}$. В нефтях и конденсате I генотипа, относящихся по химической классификации к алкановым флюидам, содержание этих углеводородов низкое и не превышает 0,04 %. В конденсатах II генотипа более нафтенового состава по сравнению с нафтидами I генотипа, адамантановые углеводороды составляют 0,08 %. Количественное содержание адамантановых углеводородов в нефтях и конденсатах находится в прямой зависимости от их химической природы [1-3]. Установлена близость группового состава и распределения адамантанов C_{10}-C_{14} в нефтях и конденсатах внутри каждого генетического типа (Таблица 1).

Таблица 1

Распределение и соотношения адамантановых УВ в нафтидах различных генотипов.

Наименование	I генотип		II генотип	
Тип флюида	Нефти	Конденсат	Нефть	Конденсат
Содержание, % на ∑адамантанов: Адамантан	2,5-3,1	3,1	7,37	5,91
Метиладамантаны	15,7-20,5	22,0	29,96	34,04
Диметиладамантаны	34,4-37,0	36,70	40,55	38,30
Триметиладамантаны	28,6-32,1	28,2	16,59	18,96
Тетраметиладамантаны	12,5-13,4	10,0	5,53	3,79
C_{11}/C_{13}	0,49-0,72	0,78	1,81	1,57
C_{12}/C_{13}	1,15-1,20	1,30	2,44	2,32
1МА/(1-+2-МА), %	76,90-78,40	84,23	70,76	69,09
ЭАИ=1ЭА/(1Э-+2-ЭА), %	41,06-54,49	57,03	37,45	29,39
1,3ДМА/(1,3-+1,2-+1,4ДМА), %	38,24-41,66	52,37	34,34	37,13
1,3,5-ТМА/(1,3,5-+1,3,6+1,3,4ТМА), %	24,79-25,01	37,90	22,17	20,71
цис-1,4ДМА/транс-1,4ДМА	1,00-1,16	1,31	1,14	1,12
цис-1,3,4-ТМА/транс-1,3,4-ТМА	1,07-1,08	1,20	1,00	1,11

В нефтях и конденсате I генотипа в составе адамантановых углеводородов преобладают диметилзамещенные адамантаны и ниже доля метил- и триметиладамантанов. Содержание адаманатана не превышает 3 % в расчете на фракцию адамантанов. Отношение адамантанов C_{12}/C_{13} выше, чем соотношение C_{11}/C_{13}. Следует отметить, что конденсаты и нефти данного генотипа несколько отличаются по количественному содержанию отдельных гомологов адамантана. Относительные концентрации более устойчивых изомеров метиладамантанов состава C_{11}-C_{13} в нефтях и конденсатах I генотипа далеки от равновесных и уменьшаются с увеличением молекулярной массы. Так, в нефтях отношение 1-МА/(1-+2-МА) составляет 76,9-78,4 %, 1,3-ДМА/(1,3-+1,2-+1,4-ДМА) – 38,2-41,6 %, 1,3,5-ТМА/(1,3,5-+1,3,6-+1,3,4-ТМА) – 24,8-25,0 %. В конденсате эти отношения ближе к равновесным и составляют соответственно 84,2, 52,4%, 37,9 % (Таблица 1). Известно, что относительные концентрации более устойчивых изомеров адамантанов C_{11}-C_{13} в равновесии составляют 92,5-98 %. Среди диметил- и триметиладамантанов цис-изомеры преобладают над транс-изомерами, что наиболее ярко выражено в составе конденсата по сравнению с нефтями (Таблица 1). Это может зависеть от условий и механизма образования этих структур из протоадамантановых УВ. Однотипный состав и характер распределения адамантановых углеводородов установлены также в нефтях и конденсатах II генотипа (Таблица 1). По количественному содержанию метилзамещенные адамантаны составляют ряд: диметиладамантаны ─ метиладамантаны ─ триметиладамантаны ─ тетраметиладамантаны. Количество адамантана не более 7,4 %. Отношение C_{12}/C_{13} выше, чем соотношение C_{11}/C_{13} (Таблица 1). Относительные концентрации более устойчивых изомеров метиладамантанов состава C_{11}-C_{13} также, как и в нафтидах I генотипа, далеки от равновесных и

уменьшаются с увеличением молекулярной массы (Таблица 1). Вместе с тем были установлены определённые различия в распределении адамантановых углеводородов в составе нафтидов разного генезиса. Нафтиды I генотипа отличаются от нафтидов II генотипа меньшим содержанием адамантана, его метил- и диметилппроизводных, большим содержанием три- и тетраметиладамантанов, более низкими значениями отношений C_{11}/C_{13} и C_{12}/C_{13}. В них выше относительные концентрации более устойчивых изомеров метиладамантанов состава C_{11}-C_{13} и выше этиладамантановый индекс (Таблица 1).

3. Выводы

В результате проведенных исследований уствновлено, что адамантановые углеводороды внутри каждого генетического типа нафтидов характеризуются близким составом и характером распределения. Нафтиды разных генетических типов различаются количественным содержанием адамантана и его гомологов, значениями отношений C_{11}/C_{13}, C_{12}/C_{13} и значениями этиладамантанового индекса. Полученные данные по составу адамантановых углеводородов могут служить дополнительными геохимическими критериями при определении генезиса нафтидов.

4. Благодарности

Работа выполнена по Программе ФНИ № АААА-А21-121011490054-0.

5. Литература:

[1] Bagriy E.I. Adamantans: Receiving, properties, application. M.: Science, 1989, 264 pp. (in Russian).
[2] Petrov Al.A. Oil hydrocarbons. Moscow: Nauka, 1984, 263 pp. (in Russian).
[3] Peters K.E., Walters C.C., Moldovan J.M. The biomarker guides. New York. Cambridge University Press. 2007, vol. 1, 471 pp., vol.2. 684 pp.
[4] Gordadze G.N. Geochemistry of hydrocarbons of the frame structure (review) // Neftehimia, 2008, vol. 48, no. 4, pp. 243-255 (in Russian).
[5] Gordadze G.N., Giruoc M.V., Koshelev V.N. Organic Geochemisty of Hydrocarbons. 2012. M.: RSU of oil and gas by I.M. Gubkina. Book 1. 392 pp. (in Russian)

УДК 553.98 (041): 551.762.3 (571.5-11)

ОЦЕНКА УГЛЕВОДОРОДНОГО ПОТЕНЦИАЛА СРЕДНЕПАЛЕОЗОЙСКИХ-МЕЗОЗОЙСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ О. КОТЕЛЬНЫЙ И ИНДИГИРО-ЗЫРЯНСКОГО ПРОГИБА

Ольга Чалая, Сара Лифшиц, Ираида Зуева, Юлия Глязнецова
Институт проблем нефти и газа ЯНЦ СО РАН, ул. Петровского 2, г. Якутск, 677980, Россия

ESTIMATION OF HYDROCARBON POTENTIAL OF THE MIDDLE PALEOZOIC-MESOZOIC DEPOSITS OF THE KOTELNY ISLAND AND THE INDIGIRO-ZYRYANSKY BASIN

Iraida Zueva, Olga Chalaya, Yuliya Glyaznetsova, Sara Lifshits
Institute of Oil and Gas Problems YSC SB RAS, 2 Petrovsky St., Yakutsk, 677980, Russia

Annotation. The paper presents the results of the geochemical study of the oil source properties of rocks and gives a differentiated assessment of the oil and gas generation potential of sedimentary strata in the section of the Middle Paleozoic-Mesozoic deposits on the shelf of the East Siberian Sea and the territory of the northeast of the Siberian platform. Analysis of the obtained data on geochemistry of organic matter showed the presence of two potentially oil and gas bearing complexes - the upper, associated with the Mesozoic, and the lower - with the Paleozoic deposits. In the Mesozoic complex of the Indigiro-Zyryansk basin, the Lower Cretaceous deposits with a predominance of terragenous organic matter were gas produced with the highest potential in the sub-carboniferous strata of the Buorkemyuskaya suite. As regards the Middle Paleozoic complex, the Lower Devonian bituminous strata of the Nelichenskaya suite of the Selennyakh uplift and the Shlyupochnaya suite of the Kotelny Island with aquagenic organic matter possessed the high oil-generating potential and belonged to the category of oil source.

1. Введение

С целью оценки углеводородного потенциала среднепалеозойских-мезозойских отложений Восточной Якутии и шельфа Восточно-Сибирского моря были изучены нефтематеринские свойства пород на молекулярном уровне, включая методы ИК-Фурье и хромато-масс-спектрометрии. На основе систематизации и анализа новых результатов и литературных данных по геохимии органического вещества [1-3] предполагалось выделить в изученном разрезе нефтегазоматеринские толщи, обогащенные органическим веществом с высоким генерационным потенциалом.

2. Результаты

Девонские отложения. По геохимическим критериям в среднепалеозойском потенциально нефтегазоносном комплексе на Селенняхском поднятии к категории нефтематеринских наиболее близки образования нижнего девона и прежде всего неличенская свита с высоким содержанием органического во вмещающих породах - $C_{орг}$ до 9,95 % и высоким выходом хлороформенных битумоидов (ХБ) до 0,463 %. Особенности состава и распределения биомаркеров и присутствие ванадил- и никельпорфириновых комплексов указывают на аквагенный характер исходного органического вещества (кероген типа II), его высокую степень зрелости (CPI = 1) и способность генерировать большое количество преимущественно жидких углеводородов. Результаты по геохимии органического вещества пород из отложений нижнего и среднего девона о. Котельный также показали на присутствие в разрезе потенциально нефтематеринских толщ с высоким содержанием аквагенного органического вещества. Прежде всего это относится к отложениям шлюпочной свиты с самым высоким содержанием $C_{орг}$, большим выходом ХБ и высоким содержанием углеводородов в составе синбитумоидов [4]. По комплексу битуминологических

параметров, в том числе и по особенностям состава реликтовых углеводородов (рисунок 1), изученные битуминозные толщи неличенской и шлюпочной свит очень близки и относятся к типичным доманикоидным образованиям с высоким нефтематеринским потенциалом.

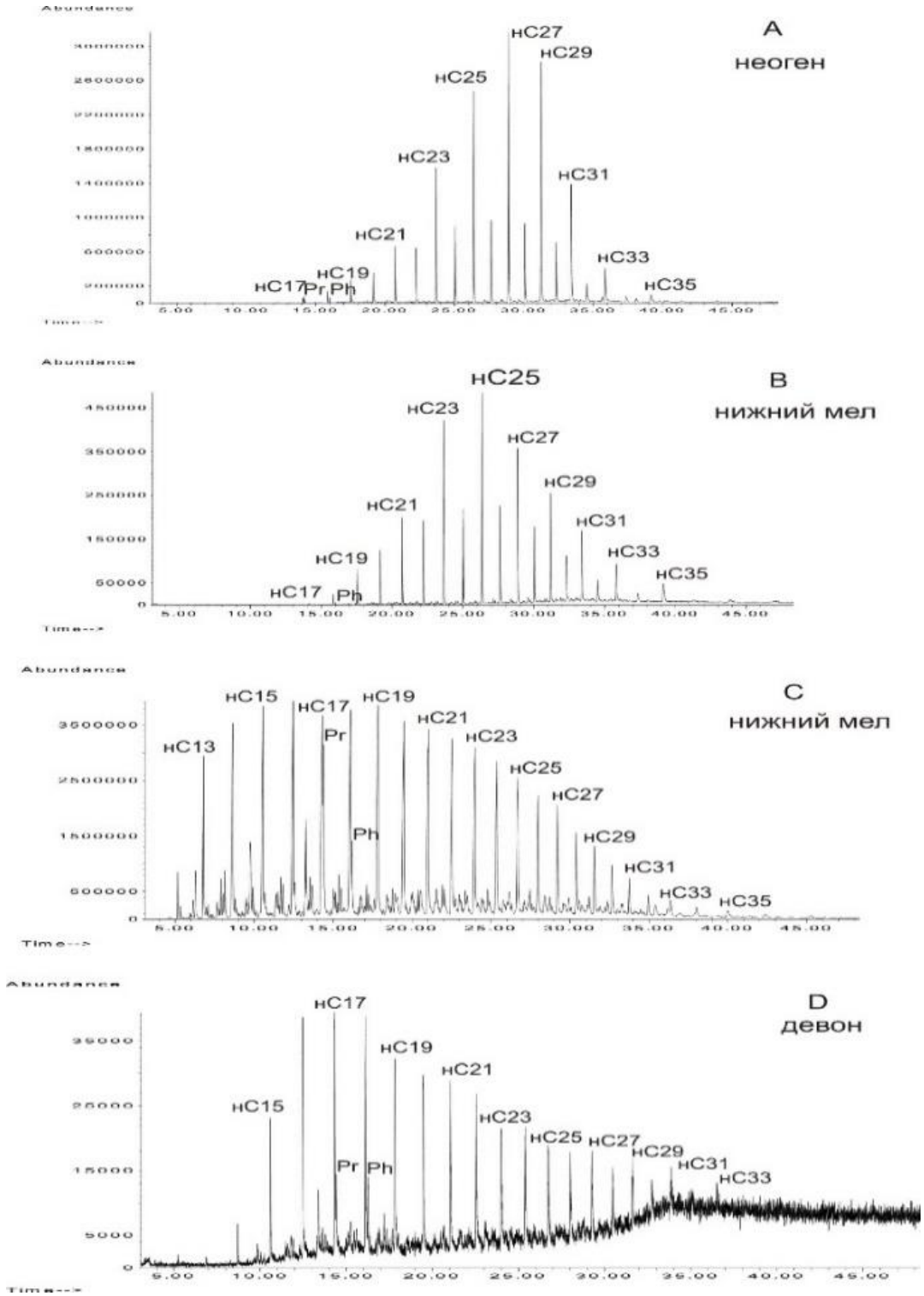


Рисунок 1. Хроматомасс-фрагменограммы (m/z57) насыщенных УВ ОВ пород по разрезу среднепалеозойских-мезозойских отложений в Индигиро-Зырянском прогибе (A, B, C), и на о. Котельный (D)

Авторы [2], исходя из особенностей условий формирования отложений, способствующих накоплению больших масс аквагенного органического вещества, высокого содержания $C_{орг}$ и большого выхода ХБ, достаточно высокой степени катагенетической зрелости органического

вещества, сделали вывод о высоком нефтегенерационном потенциале глинисто-карбонатных толщ бысах-каргинской свиты нижнего девона.

Меловые отложения. В Индигиро-Зырянском прогибе нижнемеловые отложения с преобладанием террагенного органического вещества относятся к газогенерирующим с наиболее высоким потенциалом в субугленосных толщах буоркемюсской свиты. В составе ископаемого вещества при преобладающей роли террагенного органического вещества (кероген III) было установлено существенное присутствие водорослевого материала (кероген II), что повышает нефтегенерационный потенциал пород наряду с высоким газогенерационным потенциалом, присущим террагенному органическому веществу. Учитывая пребывание нижнемеловых отложений в условиях главной фазы нефтеобразования и главной зоне газообразования, можно предположить здесь генерацию наряду с газообразными и жидких углеводородов, а следовательно формирование нефтяных оторочек в газоконденсатных залежах. Вместе с тем способность углистого вещества генерировать углеводороды нефтяного ряда также повышает нефтегенерационный потенциал субугленосных меловых отложений.

3. Выводы

Обобщены полученные результаты и литературные данные геохимического изучения нефтематеринских свойств пород в широком стратиграфическом диапазоне отложений от среднего палеозоя до мезозоя с учётом современных достижений органической геохимии.

Выполненные исследования по геохимии органического вещества свидетельствуют о сходстве условий формирования нефтегазоносности территорий шельфа морей Лаптевых и Восточно-Сибирского и континентальной части востока Сибирской платформы. Следовательно, это позволяет подойти к оценке нефтегазогенерационного потенциала одноимённых отложений на шельфе по результатам более изученной континентальной части рассматриваемой территории.

Результаты могут быть использованы при прогнозе нефте- и газоносности на шельфе моря Лаптевых и Восточно-Сибирского моря и прилегающей континентальной части востока Сибирской платформы.

4. Благодарности

Работа выполнена по Программе ФНИ № АААА-А21-121011490054-0

5. Литература:

[1] Ivanov V.V., Grevtsov A.V., Shcherban O.V. Sedikakhites of sedimentary basins of Northeast Asia. M. Science. 1988, 168 pp. (in Russian).

[2] Kosko M.K. East Siberian Sea // Geological structure and patterns of distribution of minerals. T.9. Seas of the Soviet Arctic. L.: Nedra, 1984, pp. 60-66 (in Russian).

[3] Kashirtsev V.A. Geology and organic geochemistry of sedimentary basins in Eastern Siberia. Novosibirsk: INGG SO RAN, 2015, pp.219-231 (in Russian).

[4] Zueva I.N., Chalaya O.N., Glyaznetsova Ju. S., Lifshits S.H., Prokopiev A.V., Ershova V.B., Vasiliev D.A., Khudoley A.K. Geochemical features of bitumen shows in the Lower-Middle Devonian deposits of the Northern-Western part of Kotelny Island (Novosibirsk Island Archipelago) // Georesoures. 2019, no. 3, vol. 21, pp.31-38. https://doi.org/10.18599/grs.2019.3.31-38

ГЕОЛОГИЯ И МИНЕРАЛОГИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ АЛМАЗА

УДК 550.4+553.81

ЦИРКОНЫ ИЗ АЛМАЗНЫХ РОССЫПЕЙ АНАБАРСКОГО РАЙОНА: U-PB ВОЗРАСТ И ПОИСКОВОЕ ЗНАЧЕНИЕ

Алексей Агашев[1], Роман Желонкин[2], Василий Червяковский[3], Алексей Земнухов[2], Мария Червяковская[3], Илья Серов[4], Николай Похиленко[1]
1 Институт геологии и минералогии имени В.С. Соболева СО РАН, пр. Академика Коптюга, 3, г. Новосибирск, 630090, Россия
2 ООО «Алмазы Анабара», ул. Кирова, 18, г. Якутск, 677000, Россия
3 Институт геологии и геохимии УрО РАН, ул. Академика Вонсовского, 15, г. Екатеринбург, 620016, Россия
4 АК «АЛРОСА» (ПАО), ул. Ленина, 6, г. Мирный, 678174, Россия

ZIRCONS FROM DIAMOND PLACERS OF THE ANABAR REGION: U-PB AGE AND PROSPECTING VALUE

Aleksey Agashev[1], Roman Zhelonkin[2], Vasiliy Chervyakovsky[3], Aleksey Zemnukhov[2], Maria Chervyakovskaya[3], Ilya Serov[4], Nikolay Pokhilenko[1]
1 V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy, SB RAS, 3 Acad. Koptyuga Ave., Novosibirsk, 630090, Russia
2 Almazy Anabara AO, Kirova str., 18, Yakutsk, 677000, Sakha Republic, Russia
3 Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry UB RAS, 15 Acad. Vonsovskogo St., Yekaterinburg, 620016, Russia
4 ALROSA Co Ltd., 6 Lenina St., Mirny, 678174, Russia

Annotation. In the North of Yakutia, many placers with high diamond contents are known, but the primary sources of these diamonds are still unknown. In this work, we studied the geochemistry and U-Pb dating of zircon samples from diamond placers in the Anabar region in order to determine the possible age of the primary sources of diamonds and the ways of their migration in the placers. Triassic zircons prevail in the Ebelyakh and Khara-Maas placers, and Jurassic zircons prevail in the Morgogor and Talakhtakh placers. There is a positive correlation between the contents of Triassic zircons and diamonds of V-VII varieties in placers. This suggests that the sources of diamonds of V-VII varieties eroded simultaneously with Triassic kimberlites. These were either primary sources or pre-Triassic secondary collectors. During the erosion of Jurassic kimberlites, the sources of diamonds of V-VII varieties were either not eroded at all, or in limited quantities.

1. Введение

На Арктических территориях Якутии (Севера Сибирской платформы) известно много россыпей с высокими содержаниями алмазов. На многих из них ведется промышленная добыча, но коренные источники этих алмазов до сих пор неизвестны, поэтому в настоящее время остро стоит проблема коренной алмазоносности Якутской Арктики, которая представляет собой как фундаментальный, так и практический интерес. Датировка цирконов, ассоциированных с аллювиальными алмазами, в свою очередь, позволяет определить возраст первичного источника алмазов россыпей, что может быть использовано при поисковых работах на коренные источники алмазов. Циркон, в отличие от других индикаторных минералов кимберлитов (ИМК) имеет высокую абразивную устойчивость и может транспортироваться вместе с алмазами на большие

расстояния. Это качество циркона позволяет использовать его в качестве трассера при реконструкции путей миграции алмазов от первоисточников в современные россыпи.

Кимберлитовый магматизм на Сибирской платформе представлен четырьмя этапами, соответствующими силурийскому, девонскому, триасовому и юрскому возрастам [1,2]. Все промышленно-значимые кимберлиты имеют девонский возраст и расположены на юге Якутской алмазоносной провинции (ЯАП). Уровень алмазоносности кимберлитовых тел северо-востока Сибирской платформы крайне низкий, и они не могут быть основными поставщиками алмазов в древние и современные россыпи.

В настоящей работе выполнено исследование особенностей геохимии и U-Pb-датирование цирконов из алмазных россыпей Приенабарья, рек Эбелях, Моргогор, Талахтах и Хара-Маас с целью определения возможного возраста коренных источников алмазов и путей их миграции в россыпи. Для датирования отбирались только крупные цирконы кимберлитовой морфологии размером крупнее 1 мм, извлеченных попутно при добыче алмазов из этих россыпей. Анализ содержания микроэлементов и измерение Pb/U-изотопных отношений выполнено на квадрупольном масс-спектрометре NexION 300S с индуктивно связанной плазмой и приставкой для лазерной абляции проб NWR 213; аналитическая процедура и алгоритм расчета возраста изложены в [3]. Во время аналитического цикла измеренные значения возраста для стандартов циркона 91500 и Plesovice составляли 1064±7 (N = 11) и 338±2 млн. лет (N = 13), соответственно.

2. Результаты и дискуссия

Россыпь р. Эбелях. При датировании выборки из 95 цирконов россыпи среднего течения р. Эбелях получены следующие результаты. Большая часть цирконов (62 зерна, или 65,3 % от выборки) имеют триасовый возраст в интервале 202-251 млн. лет с пиком на 228 млн. лет. Юрский возраст в интервале 146-193 млн. лет имеют 31 циркон или 32,6 % от выборки. Два цирконов имеют пермский возраст 258-261 млн. лет.

Россыпь р. Хара-Маас. Из 93х продатированных зерен цирконов 50 имеют триасовый возраст в интервале 208-246 млн. лет, что составляет 53,8 % от выборки. Юрской возраст в интервале 146-197 млн. лет имеют 33 зерна ли 35,5 % от выборки. Также присутствуют единичные зерна мелового, пермского и карбонового возрастов.

Россыпь р. Моргогор. Триасовый возраст в интервале 202-248 млн. лет имеют 30 цирконов из 101 (30,3 % от выборки). Преобладают цирконы юрского возраста в интервале 145-196 млн лет (67 зерен, 67,7 %). Присутствую по 2 зерна мелового и пермского возрастов.

Россыпь р. Талахтах. В данной россыпи резко преобладают цирконы юрского возраста в интервале 145-188 млн. лет, 80 зерен из 96 что составляет 83,3 % от выборки. Только 7 зерен имеют триасовый возраст в интервале 201-238 млн. лет. Присутствует 9 зерен мелового возраста в интервале 132-143 млн. лет.

Цирконы триасового возраста из россыпей Анабарского района имеют низкие концентрации U, Th и тяжелых редкоземельных элементов (РЗЭ), положительные Ce аномалии, а также слабые или отсутствующие Eu аномалии, что позволяет однозначно отнести их к кимберлитовым (мантийным) цирконам мегакристной ассоциации [4,5]. Примерно половина цирконов юрского возраста также имеют типичные кимберлитовые геохимические характеристики. Другая часть выборки характеризуется повышенными содержаниями тяжелых РЗЭ, U и Th и Ta, а также высокими Th/U отношениями, что может свидетельствовать о карбонатитовой природе этих цирконов. Впрочем, содержания этих элементов находятся на верхней границе кимберлитовых цирконов [4] и в пределах, задокументированных для кимберлитов Сибири [5,6]. По цирконам из юрских кимберлитов Приенабарья практически нет данных, но несколько анализов цирконов из трубки Горелая, Биригиндинского поля имеют содержания тяжелых РЗЭ, U и Th даже выше, чем в цирконах из россыпей.

Ближайшие к россыпям кимберлитовые поля – Ары–Мастахское, Староречeнское, Орто-Ыаргынское и Эбеляхское юрского возраста. Поля триасового возраста расположены значительно южнее, вдоль долины р. Малая Куонамка и в левобережье р. Эбелях. Преобладающий источник поступления цирконов в район рек Эбелях и Хара-Маас – это

кимберлитовые поля триасового возраста, расположенные на восточном склоне Анабарского щита значительно южнее. В современные россыпи цирконы, скорее всего, поступали из коллектора триасового возраста, который сохранился в виде реликтов гравелитов содержащих алмазы. Датирование небольшой выборки цирконов из этих гравелитов [7], указывает на их триасовый возраст. Источником большинства цирконов россыпей Моргогор и Талахтах являются кимберлитовые поля юрского возраста, расположенные западнее р. Анабар, причем для россыпи Талахтах это могут быть непосредственно кимберлиты Ары-Мастахского поля, расположенного поблизости.

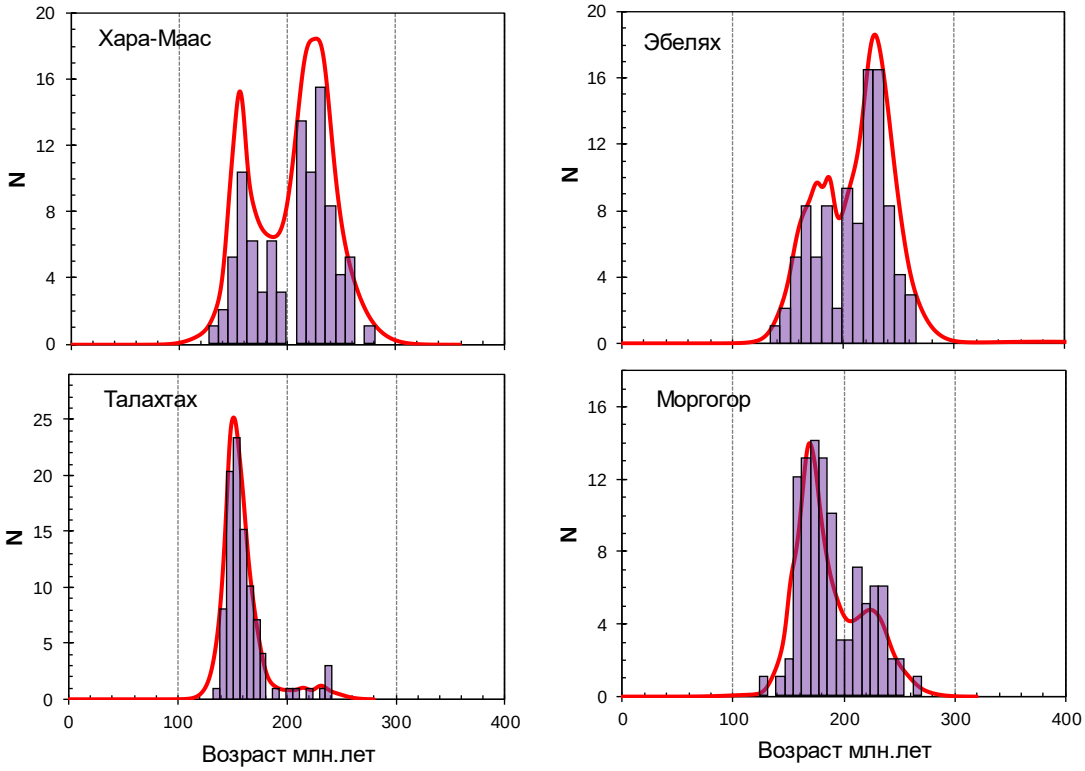


Рисунок 1. Распределение значений U/Pb-возраста цирконов из алмазных россыпей Анабарского алмазоносного района.

В изученных россыпях (Рисунок 2) наблюдается положительная корреляция между содержаниями цирконов триасового возраста и алмазов V-VII разновидности. Содержания алмазов V-VII разновидности в россыпях оценены согласно [8]. Однако, в россыпи Эбелях содержания алмазов V-VII сильно варьируют от 20 % в верховьях, что сопоставимо с оценкой для россыпи Моргогор, до 40 % в нижнем течении. Наибольшие концентрации которых наблюдаются в правых притоках среднего-нижнего течения р. Эбелях с максимумом на ручье Ырыас–Юрях (57 %). К сожалению, оценки содержаний типов алмазов по россыпи Эбелях для добычи при которой попутно извлекались цирконы не проводилась, поэтому содержание алмазов V-VII разновидности в россыпи Эбелях принято, как 40 %. Учитывая высокое содержание цирконов триасового возраста в пробе, это минимальная оценка, т.к возможен вклад правых притоков. Наблюдаемая корреляция позволяет предположить, что источники алмазов V-VII разновидности эродировали одновременно с кимберлитами триасового возраста. Это были либо коренные источники, либо до-триасовые вторичные коллектора. Если предполагать, что коренные источники этих алмазов имеют палеозойский возраст, то в этом случае в триасовое время эродировал уже древний вторичный коллектор, при формировании которого произошла дифференциация циркона от алмаза. В противном случае, при непосредственном размыве коренных источников, цирконы палеозойского возраста присутствовали бы в современных россыпях наряду с алмазами. Во время эрозии кимберлитов юрского возраста источники алмазов V-VII разновидности либо не размывались совсем, либо в ограниченных объемах.

3. Выводы

Таким образом, датировки цирконов из алмазных россыпей соответствуют возрастам внедрения кимберлитов севера ЯАП. Некоторое количество алмазов россыпей возможно происходят, как и цирконы из известных в районе кимберлитов, но количество и прежде всего, качество алмазов в россыпях свидетельствуют о наличии в регионе неизвестных коренных источников алмазов. Полученные U-Pb-датировки помогают воссоздать историю, характер и последовательность проявления кимберлитового магматизма, тектонических процессов и путей миграции кимберлитового материала и алмазов на Сибирском кратоне, в рамках Якутской кимберлитовой провинции. В свою очередь это диктует объективную необходимость более детального и масштабного изучения цирконов из аллювия рек, вторичных коллекторов и алмазоносных россыпей всей территории Сибирского кратона.

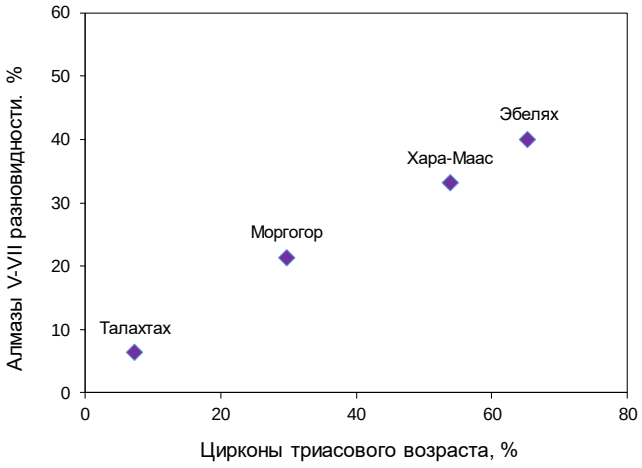


Рисунок 2. Диаграмма содержаний цирконов триасового возраста в % от выборки и алмазов V-VII разновидности в % от общего числа алмазов в алмазных россыпях Анабарского района.

4. Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 18-05-70064 и базового проекта ИГМ СО РАН; аналитические работы выполнены в ЦКП УрО РАН «Геоаналитик» в рамках темы №АААА-А18-118053090045-8 государственного задания ИГГ УрО РАН.

5. Литература:

[1] Davis, G.L., Sobolev, N.V., Khar'Kiv, A.D. New data on the age of Yakutian kimberlites obtained by the uranium-lead on zircons // Dokl. Akad. Nauk SSSR, 1980, 254, 175-180.

[2] Agashev A. M., Orihashi Y., Pokhilenko N. P. et al. Age of Mirny Field Kimberlites (Siberia) and application of Rutile and Titanite for U–Pb dating of kimberlite emplacement by LA-ICP-MS // Geochemical Journal, 2016, vol. 50, pp. 431-438.

[3] Zaitceva, M. V., Pupyshev, A.A., Shchapova, J. V., Votyakov, S.L. Dating of zircons using NexION 300S quadrupole mass spectrometer with inductively coupled plasma and NWR 213 attachment for laser ablation // Anal. i Kontrol, 2016, vol. 20, pp. 294–306.

[4] Belousova, E.A. et al. Igneous zircon: Trace element composition as an indicator of source rock type // Contrib. Mineral. Petrol., 2002, vol. 143, pp. 602–622.

[5] Agashev A.M., Chervyakovskaya M.V., Serov I.V. et al. Source rejuvenation vs. re-heating: Constraints on Siberian kimberlite origin from U\Pb and Lu\Hf isotope compositions and geochemistry of mantle zircons // Lithos, 2020, vol. 364–365. 105508.

[6] Sun, J., Tappe, S., Kostrovitsky, S.I., Liu, C., Yu, S., Wu, F. Mantle sources of kimberlites through time: a U-Pb and Lu-Hf isotope study of zircon megacrysts from the Siberian diamond fields // Chem. Geol, 2018, vol. 479, pp. 228–240.

[7] Grakhanov S.A., Zinchuk N.N., and Sobolev, N.V. Age of the predicted primary sources of diamonds in the northeast of the Siberian platform // Dokl. Earth Sci. 2015, 465 (2), 1297–1302.

[8] Grakhanov S.A. et al., Diamond Placer Deposits in Russia (Geo, Novosibirsk, 2007).

УДК 549 221

ОСОБЕННОСТИ АЛМАЗОВ ИЗ РЕКИ УСУНКУ С МЕХАНИЧЕСКИМ ИЗНОСОМ

Татьяна Антонова, Алла Липашова, Богдан Помазанский
НИГП АК «АЛРОСА» (ПАО), Чернышевское шоссе 16, г. Мирный, 678175, Россия

FEATURES DIAMONDS FROM THE RIVER UCUNCU WITH MECHANICAL WEAR

Tatyana Antonova, Alla Lipashova, Bogdan Pomazansky
NIGP ALROSA PJSC, 16 Chernyshevskoe Hwy., Mirny, 678175, Russia

Annotation. Mechanical wear is present on 5 % of the crystals of the Usunku river and has a different degree of abrasion. Rounded diamonds of the I, V, and VII varieties were subjected to abrasion. Overall, for the worn diamond R. Ucuncu typical local scuffing of edges and vertices in the smooth surface of the crystal. The degree of wear does not depend on the safety and habit of the crystals. There are no signs of dissolution or etching processes imposed on the abrasion. The characterized surfaces are formed exclusively by mechanical influences. The presence of traces of mechanical wear on the diamonds indicates their repeated stay in coastal and marine conditions.

1. Введение

Были изучены алмазы из р.Усунку на предмет изучения поверхности механического износа алмазов. Для исследования механического износа алмазов использовался электронный микроскоп высокого разрешения серии TESCAN MIRA 3 LMU (TESCAN, Чехия), оснащенного автоэмиссионным катодом Шоттки (позволяющий получить высокую яркость для получения изображений высокого разрешения, высокой контрастности, с низким уровнем шумов), специальным In-Beam детектором в качестве опции для получения изображений высокого разрешения, особенно при низких ускоряющих напряжениях. Для проведения исследований поверхность алмаза напылялась тонким углеродным слоем толщиной 5–15 нм. Анализ проводился при ускоряющем напряжении 20–10 кВ. Все исследования выполнены на оборудовании НИГП АК «АЛРОСА» (ПАО).

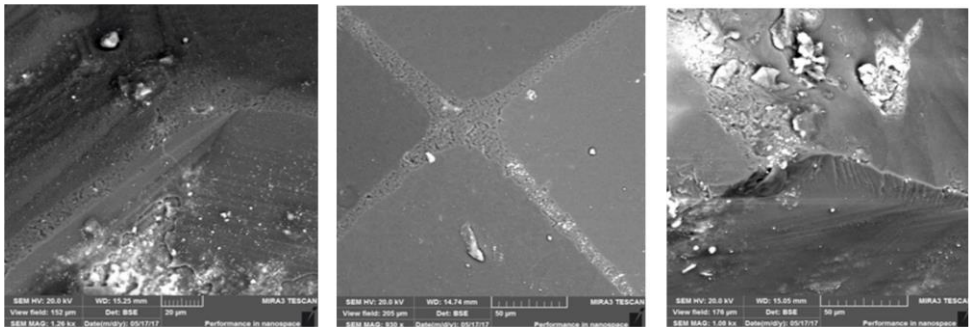
2. Основные результаты

В коллекции (419 шт.) присутствуют кристаллы I, II, V, VII разновидностей по Ю. Л. Орлову. Среди алмазов I разновидности установлены октаэдры, переходные формы ряда октаэдр – ромбододекаэдр, ромбододекаэдры, додекаэдроиды, куборомбодоекаэдроиды, кубы и янусы. Алмазы других габитусов и разновидностей встречаются в пределах 5 %. Алмазы имеют хорошую сохранность, более половины из них целые или незначительно поврежденные кристаллы. При этом отмечается повышенная (20 %) доля обломков. На поврежденных кристаллах чаще наблюдаются аллювиальные и протомагматические сколы. Около половины изученных алмазов трещиноваты. Более половины коллекции высокоазотные (более 800 at.ppm) кристаллы.

В геологических коллекциях из россыпей признаки износа истирания чаще отмечены на алмазах в классах -4+2 и -2+1 мм или их содержание повышается с увеличением крупности кристаллов. Больше подвержены износу истирания алмазы V-VII разновидностей, реже II разновидности, октаэдры, переходные формы ряда октаэдр-ромбододекаэдр, ламинарные ромбододекаэдры и округлые алмазы, обычно доминируют алмазы со слабой и средней над сильной степенью истирания.

Механический износ присутствует на 5 % кристаллах р. Усунку и имеет различную степень истирания. Истиранию подвергались кристаллы I (переходные формы), V и VII разновидностей. В изученной коллекции чаще изношены алмазы классов -4+2 и-2+1 мм. Износ истирания слабой

степен представлен в виде незначительно расширенных, затертых ребер с сетью мелких поверхностных трещин, и вершин кристаллов, тогда как основная поверхность алмаза сохраняет свой первичный характер граней, при отсутствии наложенных процессов растворения (Рисунок 1 А, Б) [1]. На некоторых алмазах (Рисунок 1 В) виден механический износ ребра, переходящий в незначительно расширенный край грани алмаза, переходящей в скол. Износ с сильной степенью истирания нередко проявлен на значительной части поверхности алмазов. При этом ребра алмазов заметно расширены, вершины – сглажены.



А Б В

Рисунок 1. Механический износ слабой степени истирания на алмазе из р. Усунку: А) Кр. 404 износ при увеличении ×1,26 kx; Б) Кр. 435 износ при увеличении ×930; В) Кр. 421 износ при увеличении ×1,08 kx.

При большом увеличении на ребре изношенного кристалла видны многочисленные мелкие различной формы и локализации трещины, глубокие проникающие в алмаз впадины. Области выколок формируют своеобразные «пористые» участки кристалла (Рисунок 1 Б), что характерно для всех степеней износа. В целом, для изношенных алмазов р. Усунку характерно локальное истирание ребер и вершин при гладкой поверхности кристалла.

Необходимо отметить полное отсутствие признаков наложенных на истирание процессов растворения, травления. Характеризуемые поверхности сформированы исключительно механическими воздействиями.

Присутствие следов механического износа на алмазах свидетельствует об их неоднократном пребывании в прибрежно-морских условиях. В современных условиях кристаллы с износом истирания встречены в прибрежно-морских россыпях вдоль западного побережья Африки [2]. Считается, что сильно изношенные алмазы является как индикатором условий накопления, так и показателем «древности» алмазов. Такие алмазы нередко также встречаются в областях, где их источниками являются образования фанерозойского и более древнего возраста. [3,4].

3. Выводы

Таким образом, на алмазах механическому истиранию чаще подвергаются выступающие места поверхности, граней, вершины и ребра кристаллов, тогда как «теневые» участки поверхности алмаза сохраняют свой первичный характер. На поверхности истирания многочисленные мелкие различной формы и локализации трещинки, глубокие проникающие в алмаз впадины, области выколок формируют своеобразные «пористые» участки кристалла алмаза. Независимо от расположения россыпи установлено отсутствие признаков наложенных на истирание процессов растворения.

4. Литература:

[1] Lipashova A. N., Antonova, T. A., Pomazansky B. S. Mechanical wear on diamonds from rivers bills, large Kuonamka, mean, Young and Ucuncu // proc. V All-Russian scientific and practical conference " Efficiency of geological development. Work on diamonds: forecast-resource, methodological and innovative-technological directions of its improvement". -2018, Mirny, pp. 285–288 (in Russian).

[2] Shmakov I. I. Geologicheskaya evolyutsiya diamondiferous marine placers of the coast of South-West Africa // Geologiya i razvedka, 2008-No. 3, pp. 43-48 (in Russian).
[3] Zinchuk N. N., Koptil V. I. Typomorphism of diamonds of the Siberian platform. M. Nedra. 2003, 603 pp.
[4] Metelkina M. P., Prokopchuk V. I., Sukhodolskaya O. V., etc. Precambrian diamond-bearing provinces of the world. M., Nedra, 1976, 134 pp.

УДК 551.72:549.211:552.48:552.321.6:551

НОВАЯ ПАРАДИГМА АЛМАЗОНОСНОСТИ СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

Валентин Афанасьев, Николай Похиленко
Институт геологии и минералогии имени В.С. Соболева СО РАН, пр. Академика Коптюга, 3, г. Новосибирск, 630090, Россия

THE DIAMOND POTENTIAL OF THE SIBERIAN CRATON: A NEW PARADIGM

Valentin Afanasiev, Nickolai Pokhilenko
V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy, SB RAS, 3 Acad. Koptyuga Ave., Novosibirsk, 630090, Russia

Annotation. The diamond potential of the Siberian craton has been interpreted in the context of a new paradigm, which stems from four basic postulates. 1. The history of diamond formation in the craton included a Precambrian stage that produced primary deposits of different ages, probably from non-kimberlitic sources. 2. Search of the primary deposits has poor prospects, for several reasons: their types and indicators remain unknown; the erosion cutout may be quite large; the rocks may be strongly altered; Precambrian rocks are exposed and open to exploration within very limited areas. 3. Economic amounts of Precambrian diamonds may exist only in placers. 4. Primary diamond deposits can be expected from Middle Paleozoic kimberlites. We suggest a set of mineralogical criteria for their exploration, which allow timing kimberlites from signatures in placer minerals. Thus, mineralogical indicators in placers can guide to the source Middle Paleozoic kimberlites.

1. Введение

Парадигма, как модель научной деятельности, призвана объединить на непротиворечивой основе всю имеющуюся информацию о предмете. В отношении алмазоносности Сибирской платформы парадигма формировалась на протяжении десятилетий, с момента открытия первых кимберлитовых тел в 50-е годы прошлого столетия, по мере накопления знаний о кимберлитах, об алмазах из кимберлитов и россыпей. Основные положения, выработанные за это время для Сибирской платформы, следующие: 1 – алмазы кристаллизуются в мантии и выносятся на поверхность кимберлитами; 2 – три эпохи кимберлитового магматизма: среднепалеозойская (D_3), триасовая (T_1), юрско-меловая (J_3-Cr_1), из которых промышленно алмазоносна среднепалеозойская, триасовая убого алмазоносна, юрско-меловая практически не алмазоносна; 3 – алмазоносные кимберлиты соответствуют минералогическим критериям алмазоносности, разработанным Н.В. Соболевым; 4 – алмазы в россыпях происходят из фанерозойских кимберлитов. Открытия крупных кимберлитовых месторождений алмазов утвердили эту парадигму как истинную для Сибирской платформы, на ее основе организуются поисковые работы на коренные месторождения алмазов до настоящего времени.

Но постепенно накопились данные, которые не вписывались в данную парадигму. Развитие поисковых работ на алмазы привели в 60-е годы прошлого века к открытию на северо-востоке Сибирской платформы богатейших россыпей. В ходе поисковых работ было открыто более 700 кимберлитовых тел, но подавляющее большинство из них оказались юрско-меловыми не алмазоносными. Коренные источники россыпей не были найдены, поиски ведутся до настоящего времени, но безуспешно. Неудачи поисков заставили тщательно изучать алмазы из россыпей. Выяснено, что не все россыпные алмазы соответствуют кимберлитам, а некоторые вовсе отсутствуют в них. В частности, в россыпях северо-востока платформы присутствуют группы алмазов, либо полностью отсутствующие в известных кимберлитовых телах (алмазы V-VII разновидности по классификации Ю.Л. Орлова), либо присутствующие в несопоставимо меньших пропорциях (округлые додекаэдроиды, кубоиды II разновидности). Молчаливо было принято, что экзотические алмазы происходят из еще не найденных кимберлитовых тел, в

соответствии с действующей парадигмой. Но, как отмечено выше, такие кимберлиты до сих пор не найдены и не видно перспектив их обнаружения.

Такое положение дел заставило работать над развитием представлений об алмазоносности Сибирской платформы. Детальные исследования экзотических групп алмазов, отличающихся от кимберлитовых, дали основание предположить их происхождение из неизвестных типов коренных источников докембрийского возраста. Это предположение позволило по-иному взглянуть на россыпную алмазоносность Сибирской платформы. Фактически это означает создание новой парадигмы алмазоносности.

Необходимо отметить, что предположение о существовании докембрийской эпохи алмазоносности было сформулировано ранее, но не нашло развития. На наш взгляд, без учета докембрийской алмазоносности невозможно понять ни алмазоносность Сибирской платформы в целом, ни ее россыпную алмазоносность в частности.

2. Результаты исследований

Разновидности алмазов по типам коренных источников. Изучение алмазов из кимберлитов в сравнении с алмазами из россыпей Сибирской платформы позволило нам разработать новый подход к характеристике алмазов из россыпей на основе предположения о происхождении этих алмазов из коренных источников разных типов. Лишь для алмазов кимберлитового типа и импактных алмазов («якутитов») коренные источники известны, остальные выделены по специфичности комплексов их типоморфных особенностей, по особенностям пространственного распределения данных алмазов, по их нетипичности для кимберлитовых источников, а также по отсутствию связи выделенных типов алмазов в россыпях с индикаторными минералами кимберлитов.

В целом нами выделены пять типов россыпных алмазов, связанных с разными типами коренных источников: 1 – кимберлитовый тип алмазов, связанный с фанерозойскими кимберлитами; 2 – округлые додекаэдроиды из неизвестного (предположительно лампроитового) типа источников докембрийского возраста; 3 – желто-оранжевые кубоиды II разновидности по классификации Ю.Л. Орлова из неизвестного типа источников докембрийского возраста, эндемичные для северо-востока Сибирской платформы; 4 – алмазы V-VII разновидности из неизвестного типа источников докембрийского возраста, эндемичные для северо-востока Сибирской платформы; 5 – «якутиты» - продукты дальнего закратерного выброса Попигайской астроблемы (Рисунок 1).

Из пяти выделенных типов алмазов только для кимберлитовых и «якутитов» известен тип коренного источника, для второго, третьего и четвертого источники неизвестны. Картирование алмазоносности Сибирской платформы показало различия в локализации этих типов алмазов, что дополнительно свидетельствует об их индивидуальности по типам коренных источников. Кроме того, экзотические типы алмазов обладают «признаками древности», свидетельствующими о происхождении алмазов из источников докембрийского возраста. В первую очередь это повышенный механический износ, недостижимый в условиях фанерозойского седиментогенеза.

3. Выводы

Результаты выполненных работ позволяют сделать следующие выводы, которые можно представить как новую парадигму алмазоносности Сибирской платформы.

1. Для Сибирской платформы ***выделена докембрийская эпоха алмазоносности*** с коренными источниками алмазов разного возраста и, вероятно, не кимберлитового типа, с алмазами разных типов при доминировании субдукционных алмазов.

2. Поиск ***коренных источников докембрийского возраста мало перспективен*** из-за неизвестности типов и индикационных характеристик этих источников, возможно большой величины эрозионного среза, возможной сильной измененности пород, к тому же поиски возможны лишь на ограниченных площадях, где докембрийские породы обнажены на дневной поверхности. ***За алмазами докембрийской эпохи следует оставить только перспективы россыпной алмазоносности.***

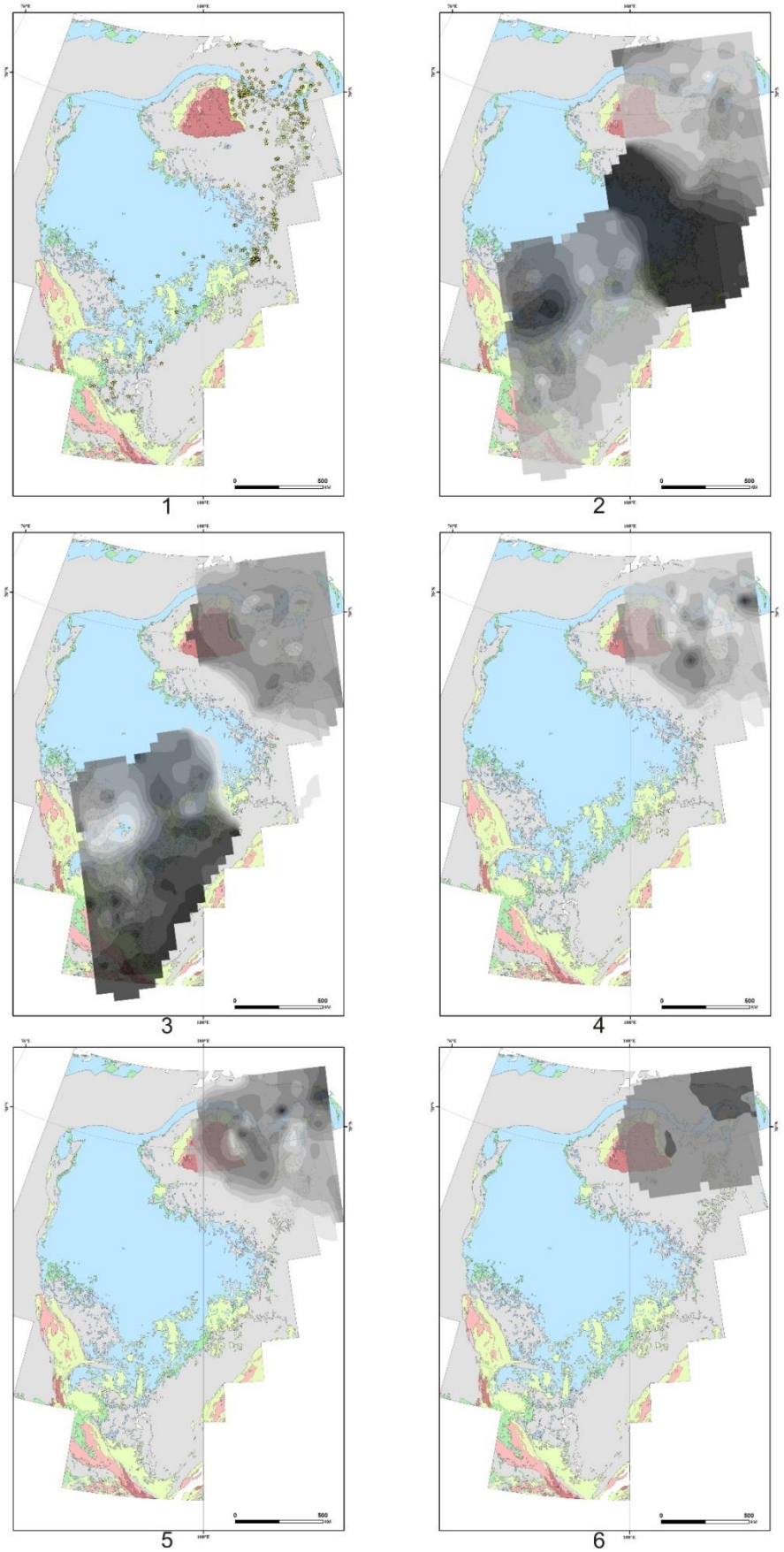


Рисунок 1. Распределение алмазов выделенных типов по территории Сибирской платформы.
1– распределение кимберлитов и россыпей, из которых изучены алмазы; 2 - распределение алмазов кимберлитового типа; 3 – распределение округлых додекаэдроидов; 4 – распределение кубоидов II разновидности; 5 – распределение алмазов V-VII разновидности; 6 – распределение «якутитов».

3. ***Реальные перспективы коренной алмазоносности Сибирской платформы связаны с кимберлитами среднепалеозойского возраста,*** признаки которых, помимо центральной части платформы, имеются на других площадях; для поиска этих кимберлитов выделен комплекс минералогических признаков определения возраста кимберлитов по их индикаторам в россыпях, позволяющий обнаруживать индикаторы среднепалеозойских кимберлитов и локализовывать местоположение этих кимберлитов.

4. Благодарности

Работа выполнена в рамках базового проекта ИГМ СО РАН и при поддержке гранта РФФИ «Арктика» 18-05-70063.

УДК 549.552.4552.5

ШРИЛАНКИТ ВО ВКЛЮЧЕНИЯХ В ГРАНАТАХ ИЗ ЭКЛОГИТОПОДОБНЫХ КСЕНОЛИТОВ ТРУБКИ ЮБИЛЕЙНАЯ – НОВЫЕ ДАННЫЕ

Анастасия Биллер, Олег Олейников
Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, пр. Ленина, 39, г. Якутск, 677000, Россия

SRILANKITE INCLUSIONS IN GARNET FROM YUBILEINAYA PIPE ECLOGITIC XENOLITS– NEW DATA

Anastasiya Biller, Oleg Oleynikov
Diamond and Precious Metal Geology Institute SB RAS, 39 Lenin Ave., Yakutsk, 677000, Russia

Annotation. The results of the study of rare titanium oxide and zirconium – srilankite from garnet in eclogitic xenoliths from the Yubilenaya pipe are presented. Srilankite forms small inclusions in pyrope-almandine garnet and associates with rutile, ilmenite, quartz and apatite. The discovery of srilankite in the xenoliths of eclogites confirms its origin under high PT conditions

1. Введение

В предшествующих работах авторов [1] шриланкит был описан во включениях в альмандиновых гранатах из алмазоносных туффитов Булкурской антиклинали (северо-восток Сибирской платформы). В связи с тем, что до сих пор нет единого мнения о природе коренного источника материала туффитов, была сделана попытка установить аналогичные включения в гранатах из кимберлитовых тел Якутской кимберлитовой провинции. Объектом данного исследования послужили гранаты из эклогитоподобных пород трубки Юбилейная.

2. Полученные результаты

Изучено 369 зерен гранатов из эклогитоподобных пород тр. Юбилейная. Гранаты характеризуются весьма постоянным пироп-альмандиновым составом (Таблица 1).
На тройной диаграмме по [2] Ca-Mg-Fe они попадают в поле биминеральных эклогитов (Рисунок 1), изученные гранаты характеризуются стабильной примесью Na_2O (0,08-0,32 масс. %).

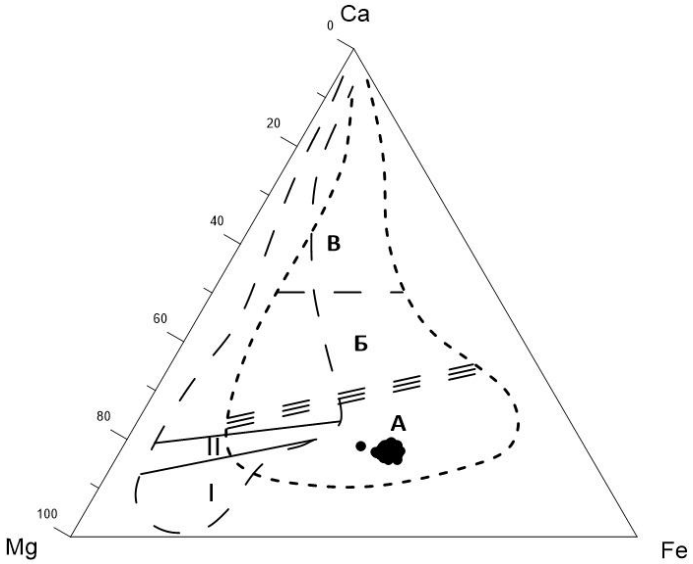


Рисунок 1. Гранаты с включениями из эклогитоподобных пород трубки Юбилейная на парагенетической дискриминационной диаграмме Mg-Ca-Fe по [2]

Таблица 1

Состав эклогитовых гранатов с включениями из тр. Юбилейная

	FeO	MnO	Cr_2O_3	SiO_2	Na_2O	MgO	Al_2O_3	CaO	TiO_2	Сумма
1	22,94	0,443	0,049	39,41	0,094	9,2	21,16	6,2	0,132	99,63
2	22,74	0,462	0,017	39,12	0,085	9,18	20,77	6,38	0,109	98,86
3	23,26	0,502	0,026	39,42	0,023	9,22	21,01	6,15	0,079	99,7
4	23,05	0,466	0,034	39,53	0,175	9,44	21,28	5,95	0,129	100,05
5	23,68	0,478	0,041	39,19	0,112	8,7	20,95	6,77	0,067	99,98
6	22,61	0,445	0,02	39,47	0,072	9,52	21,31	6,35	0,038	99,84
7	22,92	0,478	0,041	39,28	0,038	9,4	21,01	6,36	0,085	99,6
8	22,8	0,504	0,048	39,58	0,103	9,44	21,04	6,41	0,135	100,06
9	23,01	0,452	0,046	39,34	0,063	9,32	21,28	6,2	0,137	99,84
10	22,73	0,45	0,039	39,26	0,32	9,45	20,76	6,22	0,149	99,37

Морфология и состав включений:

Включения в гранате имеют весьма разнообразную форму и ориентировку в кристалле-хозяине, размер их обычно составляет 2-20 мкм, реже встречаются относительно крупные включения до 50 мкм. Присутствуют удлиненные, призматические, округлые, каплевидные включения. Некоторые из них ориентированы в структуре граната, другие располагаются хаотично, не приурочены к какой-либо части зерна и не привязаны к трещинам или сколам.

Среди выведенных на поверхность и проанализированных включений установлены следующие минералы: рутил, кварц, ильменит, шриланкит, апатит, минералы группы кричтонита. Эти минералы встречаются как в виде самостоятельных включений, так и образуют полиминеральные сростки, или несут следы замещения друг друга (рутил-ильменит, рисунок 2 В).

Рутил представлен, в основном, игольчатыми или призматическими включениями, в некоторых случаях содержит примесь ZrO_2. Иногда неправильной формы, со структурами замещения ильменитом. ***Ильменит*** встречается в виде прямоугольных и ромбовидных включений, с примесью MgO и ZrO_2. ***Кварц*** образует ромбовидные, прямоугольные, со следами огранки включения, в большинстве случаев в сростках с рутилом, по составу беспримесный SiO_2. ***Апатит*** округлой формы, относительно крупных размеров (до 50 мкм), отмечен как в виде самостоятельных включений, так и в сростках с кварцем, рутилом и шриланкитом, из примесей отмечен F. Ассоциация представленных минералов аналогична таковым из изученных ранее включений в альмандиновых гранатах Булкура [1].

Шриланкит в гранате чаще всего ассоциирует с включениями рутила, образуя вростки или срастания по краям рутиловых игл. Реже отмечен в полиминеральных включениях совместно с ильменитом, кварцем, апатитом. Практически всегда выделения шриланкита находятся на краю вмещающих его зерен рутила или ильменита, либо на границе между фазами в полиминерльных включениях (Рисунок 2). Однозначно определить, как образуется шриланкит, на данном этапе затруднительно. Форма и взаимоотношения некоторых зерен шриланкита с другими минералами (Рисунок 2 В) предполагает, вероятно, замещение рутила или ильменита. Шриланкит имеет однородный состав, лишь в нескольких включениях отмечена примесь Ta_2O_5 (1,9 %) и FeO (до 2,8 %).

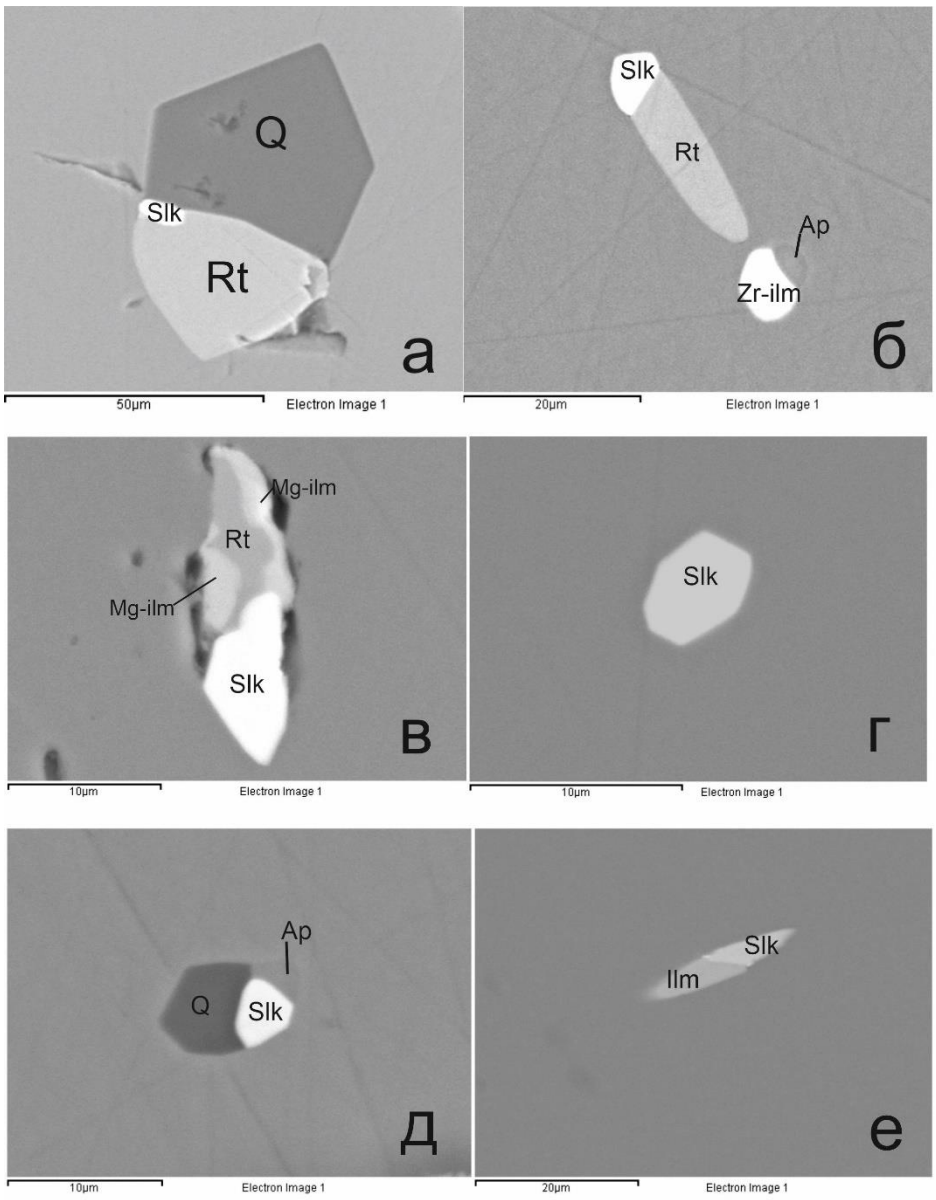


Рисунок 2. Включения в эклогитовых гранатах трубки Юбилейная: А) – рутил +кварц+шриланкит; Б) рутил+шриланкит, апатит+Zr-содержащий ильменит; В) Mg-ильменит+ рутил+шриланкит; Г) шриланкит; Д) кварц+шриланкит+апатит; Е) ильменит+шриланкит.

3. Выводы

Обзор мировой литературы по шриланкиту показал, что данный минерал характерен для включений в гранате, рутиле или ильмените и ассоциируется с глубинными породами основного-ультраосновного ряда. Описан в россыпях драгоценных камней в Шри-Ланке [3], ультраосновной диатреме Гарнет-Ридж [4], серпентинизированных перидотитах СОХ [5], основных гранулитах Западной Норвегии [6], гранатитах и горнблендитах Южного Урала [7], лампрофировой трубки Ягодка, Алданский щит, Якутия [8]. Предполагаются различные параметры его образования: от гидротерамальных, до выскотемпературных. Синтезирован в присутствии воды в гидротермальных условиях [4] и при высоких температурах и давлениях (Т 1440 °С и Р 28 кбар) [9]. Посчитанные параметры его образования по разным источникам [4-8]: давление от 9 до 30 кбар и температура от 600 до 1200 °С. Обнаружение шриланкита в ксенолитах эклогитоподбных пород трубки Юбилейная однозначно свидетельствует о его глубинном происхождении. Кроме того, присутствие его в лампрофирах трубки Ягодка и туффитах Булкура предполагают рассматривать гранаты с включениями этого титаната, как потенциально индикаторные на поиски кимберлитовых тел. Обнаружение гранатов с включениями

шриланкита в эклогитоподобных ксенолитах промышленно алмазоносной трубки Юбилейная показывает, что присутствие подобных альмандинов в алмазоносных туффитах не является случайным, а предполагает их схожесть с ксенолитами, типичными в кимберлитовых породах.

4. Благодарности

Работа выполнена в рамках госзадания ИГАБМ СО РАН при частичной поддержке РФФИ (проект № 18-45-140027).

5. Литература:

[1] Biller A.Y., Logvinova A.M., Babushkina S.A., Oleynikov O.B., Sobolev N.V. Shrilankite inclusions in garnets from kimberlite bodies and diamondiferous volcanic-sedimentary rocks of the YakutianKimberlite Province, Russia // Doklady Earth Sciences. 2018, vol. 478, Iss. 1, pp. 15—19.

[2] Aphanasev V.P., Zinchuk N.N., Pokhilenko N.P. Morphology and morphogenesis of kimberlite indicator minerals. – Novosibirsk. Geo. «Manuscript», 2001, 276 pp.

[3] Willgallis A., Siegmann E., Hettiaratchi T. Srilankite, a new Zr-Ti-oxide mineral // Neues Jahrb Mineral Monatsh. 1983, pp. 151-157.

[4] Wang L., Essene E.J., Zhang Y. Mineral inclusions in pyrope crystals from Garnet Ridge, Arizona, USA: implications for processes in the upper mantle. Contribution to Mineralogy and Petrology, USA, 1999, vol. 135, pp. 164–178.

[5] Morishita T., Maeda J, Miyashita S., Matsumoto T., Dick H.J.B. Magmatic srilankite (Ti2ZrO6) in gabbroic vein cutting oceanic peridotites: An unusual product of peridotite-melt interactions beneath slow-spreading ridgeshe composition of the upper mantle // American Mineralogist, 2004, vol. 89, pp. 759-766

[6] Bingen B., Austrheim H., Whitehouse M. Ilmenite as a source for zirconium during high-grade metamorphism? Textural evidence from the Caledonides of Western Norway and implications for zircon geochronology // J. Petrol. 1999, vol. 42, pp. 355-375.

[7] Korinevsky V.G., Blinov I.A. First find of srilankite in the Urals // Doklady Earth Sciences, 2016, no. 1, pp. 957-960

[8] Kostrovickiy S.I., Garanin V.K., Varlamov D.A. A second occurrence of srilankite // Doklady Earth Sciences, 1993, vol. 328, no. 5, pp. 601-604

[9] Troitzsch U. and Ellis D.J. High-PT study of solid solutions in the system ZrO2-TiO2: The stability of srilankite. European Journal of Mineralogy, Australia (Germany?), 2004, vol. 16; issue 4; pp. 577-584.

УДК 549.621.9

ГРАНАТЫ ИЗ ТРУБКИ МАЙСКАЯ НАКЫНСКОГО КИМБЕРЛИТОВОГО ПОЛЯ

Анастасия Гибшер[1,2], Владимир Мальковец[1,2], Дмитрий Кузьмин[2]
1 НИГП АК «АЛРОСА» (ПАО), Чернышевское шоссе 16, г. Мирный, 678175, Россия
[2]ИГМ СО РАН им. В. С. Соболева, пр. Академика Коптюга, 3, г. Новосибирск, 630090, Россия

GARNETS FROM MAYSKAYA PIPE OF NAKYN KIMBERLITE FIELD

Anastasia Gibsher[1,2], Vladimir Malkovets[1,2], Dmitry Kuzmin[2]
1 NIGP ALROSA PJSC, 16 Chernyshevskoe Hwy., Mirny, 678175, Russia
2 V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, Koptyuga pr., 3, Novosibirsk, 630090, Russia

Annotation. The Maiskaya pipe is a small productive dyke-like body in the Nakyn kimberlite field. More than 7,5 thousand garnet grains from HMC of the Maiskaya pipe were studied by the EPMA. The HMC contains more mantle eclogite garnets than peridotite ones, and 15 % are from the diamond stability field. High-chromium dunite-harzburgite garnets are 4 % only.

1. Введение

Трубка Майская является небольшим продуктивным телом в пределах Накынского кимберлитового поля. Исследования минералогии гранатов трубки Майская сфокусированы преимущественно на зернах малиновой и оранжевой окраски [1,2], являющихся поисковым признаком на алмазы. Однако, в концентрате тяжелой фракции кимберлитовых трубок цветовой спектр гранатов значительно шире, и должного внимания изучению их состава, как правило, не уделяется.

В данной работе приведены результаты изучения полной выборки гранатов из трубки Майская без акцента на цвет зерен, с целью охарактеризовать состав мантии под Накынским кимберлитовым полем.

2. Геологическое положение, описание образцов и методика исследования

Трубка Майская расположена в пределах Накынского кимберлитового поля в 3 км к юго-западу от трубки Ботуобинская и в 1,5 км к западу от трубки Мархинская. Трубка представляет собой дайкообразное тело мощностью 8-40 м, прослеживающееся на 430 м в северо-восточном направлении. Трубка прорывает карбонатные и терригенно-карбонатные породы ордовика и кембрия, и перекрыта 65-104 метровой толщей мезозойских образований.

Трубка Майская расположена в зоне рудоконтролирующего Диагонального разлома, простирающегося на 10 км в северо-восточном направлении. К Диагональному разлому приурочены все кимберлитовые месторождения Накынского поля (Ботуобинское, Нюрбинское, Мархинское) и многочисленные кимберлитовые жилы.

Среди минералов-спутников алмаза в трубке Майская распространены гранат и хромшпинелид; оливин практически полностью замещен серпентином. Для получения объективной картины состава гранатов нами была использована обширная коллекция (более 7,5 тыс. зерен), включающая все зерна гранатов, обладающие различной окраски – бледно-розовые, оранжевые, малиновые, зеленые и сине-зеленые.

Изучение особенностей химического состава гранатов трубки Майская проводилось на рентгеноспектральном микроанализаторе Jeol 8200 Super Probe в Институте химии Макса Планка (Майнц, Германия). Условия съемки: ускоряющее напряжение 20 кВ, сила тока 40-60 нА, время съемки 10 с, диаметр пучка зонда 2—3 мкм. В качестве эталонов использовались аттестованные стандарты минералов и стекол.

3. Результаты исследования

Обработка огромного массива полученных нами аналитических данных по составам гранатов показала, что в трубке Майская преобладают гранаты мантийных и нижнекоровых пород – перидотитовые и эклогитовые. Гранаты из пород коры и эклогитов группы С составляют треть от выборки. Установление содержания коровых гранатов в кимберлитовых трубках и изучение их состава позволит в дальнейшем оценить состав пород верхней коры, не имеющей выхода на поверхность, и фрагменты которой вынесены кимберлитовыми трубками.

Среди мантийных и нижнекоровых гранатов преобладает эклогитовый парагенезис (группы А и В) – 41 %, в то время как перидотитовые гранаты составляют всего 27 %. Содержание мантийных эклогитовых гранатов, сформировавшихся в поле стабильности алмаза достаточно высоко, и составляет 15 % (Рисунок 2 Б). Данный факт не является прямым подтверждением эклогитового генезиса алмазов трубки Майская, но исключен быть не может и требует дальнейших исследований самих алмазов на предмет изотопного состава и состава минеральных включений.

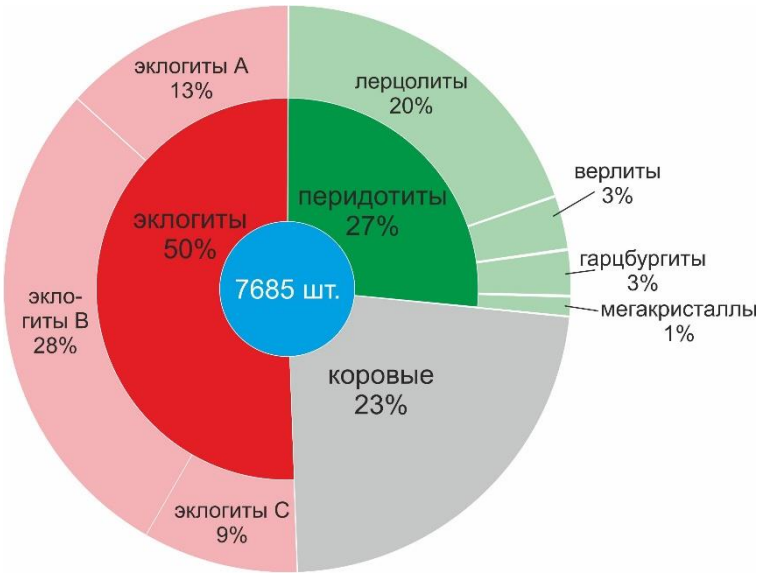


Рисунок 1. Парагенетический состав гранатов из трубки Майская. Для выделения парагенетических типов гранатов использована классификация [3].

Среди гранатов перидотитового парагенезиса значительно преобладают лерцолитовые гранаты (Рисунок 1), а гранаты верлитового парагенезиса с содержанием CaO до 14,2 масс. % составляют 12 % (Рисунок 2 А). Необходимо отметить, что увеличение содержания CaO более ярко выражено в низкохромистых лерцолитах (до 5 масс. % Cr_2O_3), чем в высокохромистых.

Повышенный процент гранатов, принадлежащих к верлитовой ассоциации, в целом, характерен для всего Накынского кимберлитового поля [4], по сравнению с другими полями Сибирского кратона. Данный факт редко попадает в поле зрения геологов, по причине выпадения верлитовых гранатов из рассмотрения из-за несоответствия цветовой характеристики зерен верлитовых гранатов поисковым признакам на алмазы. Цвет верлитовых гранатов изменяется от привычного малинового в сторону зеленого, и даже синего.

Содержание высокохромистых гарцбургит-дунитовых гранатов алмазной ассоциации в трубке Майская составляет 4 %, а повышенное содержание Cr_2O_3 косвенно указывает на глубины их формирования, достигающие 150 км.

Содержание мегакристовых гранатов в концентрате тяжелой фракции трубки Майская не превышает 1 %, что свидетельствует о невысокой магматической активности в мантии региона. Данный признак благоприятен для сохранности алмазов, о чем и свидетельствует продуктивность трубки.

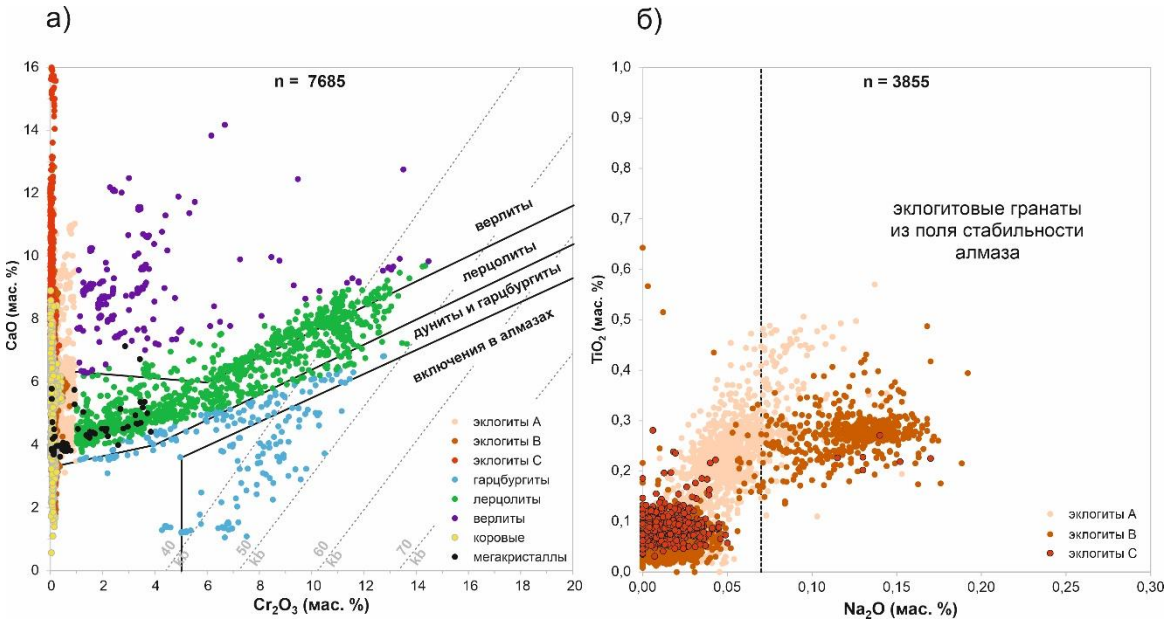


Рисунок 2. Гранаты трубки Майская на дискриминационных диаграммах: (А) для гранатов эклогитового состава по [5]; (Б) по [6].

3. Выводы

Изучение минералогии гранатов из трубки Майская позволило установить, что большая часть глубинных гранатов представлена зернами эклогитового парагенезиса, среди которых доля образовавшихся в зоне стабильности алмаза составляет 15 %. Гранаты перидотитового парагенезиса представлены значительно скромнее, и доля гранатов алмазной ассоциации в них составляет всего 4 %.

4. Благодарности

Исследования выполнены по государственному заданию ИГМ СО РАН и при поддержке РФФИ (проект 19-05-00766).

5. Литература:

[1] Tolstov, A.V., Minin, V.A., Vasilenko, V.B., Kuznetsova, L.G. and Razumov, A.N. A new body of highly diamondiferous kimberlites in the Nakyn field of the Yakutian kimberlite province // Russian Geology and Geophysics, 2009, vol. 50, pp. 162-173.

[2] Kilizhekov, O.K. Localization patterns and features of exploration of buried diamond placers in the Sredne-Markhinsky region (Yakut diamond province). PhD Thesis, Novosibirsk, 2017, 160 p.

[3] Schulze, D.J. A classification scheme for mantle-derived garnets in kimberlite: a tool for investigating the mantle and exploring for diamonds // Lithos, 2003, vol. 71, pp. 195-213.

[4] Malkovets, V., Griffin, B., de Oliveira, L.T., Dak, A., Gibsher, A., Yakovlev, I., Serov, I., Mullayarova, L., Starkova, T. and Garanin, K. Peculiarities of structure and metasomatic processes in the lithospheric mantle beneath the Nakyn kimberlite field, Siberian craton // In: Geology and Mineral Resources of Norht-East of Russia. Proc. of XIth All Russia Scientific-Applied Conf. Yakutsk. NEFU Publ. House. 2020, pp.358-361 (In Russian).

[5] Gurney, J.J., Helmstaedt, H. and Moore, R.O. A review of the use and application of mantle mineral geochemistry in diamond exploration // Pure and Applied Chemistry, 1993, vol. 65, no. 12, pp. 2423-2442.

[6] Sobolev, N.V. Deep-seated inclusions in kimberlites and the problem of the composition of the upper mantle. Washington, D.C.: American geophysical union, 1977, 279 pp.

УДК 551.311.231:553.08

О ЗНАЧЕНИИ АССОЦИАЦИЙ ГЛИНИСТЫХ МИНЕРАЛОВ ПРИ АЛМАЗОПОИСКОВЫХ РАБОТАХ

Николай Зинчук, Михаил Зинчук
Западно-Якутский научный центр АН РС (Я), Чернышевское шоссе, 16, г. Мирный, 678170, Россия

SPECIFIC FEATURES OF ARGILLACEOUS MINERALS USE IN DIAMONDIFEROUS WORKS

Nikolay Zinchuk, Mikhail Zinchuk
West-Yakut Scientific Center of the AS RS (Ya), 16 Chernyshevskoe Hwy., Mirny, 678170, Russia

Annotation. Brief analysis of sedimentary formations' argillaceous minerals behavior has been made on various stages of sedimentogenesis, diagenesis, katagenesis and metagenesis. Argillaceous minerals and their associations in terrigenous, terrigene-carbonate formations were characterized. In specific details argillaceous minerals of early stages of sedimental- and diagenesis (partially katagenesis) were charactarized, to which most of ancient (Upper Paleozoic and Mesozoic) diamondiferous placers are usually confined, by availability in which of kimberlite indicator minerals prospecting of primary deposits of diamonds with the help of heavy concentrate-mineralogical method are performed. The importance for solving of forecast-prospecting tasks of investigating material composition of volcanogegic formation and specific features of its material distribution during formation of different in age collectors of diamonds on specific diamondiferous regions of the Siberian platform is shown.

1. Введение

Накапливающиеся в отложениях различных осадочных формаций глинистые минералы с учетом их изменения и новообразования на различных этапах осадочного процесса в каждом из них характеризуются специфическими химико-минералогическими и морфолого-генетическими особенностями. Аллотигенные глинистые минералы имеют в отложениях осадочных формаций обычно фоновое значение. Поэтому для использования их в формационном анализе в каждой из выделяемых [1-4] в осадочном чехле земной коры четырех зон типоморфное значение имеют и аутигенные глинистые минералы, природа которых определяется гидрогеохимическим характером и термобарическими параметрами среды минералообразования. Геологическая интерпретация результатов изучения глинистых минералов должна проводиться с учетом подразделения осадочного чехла земной коры на четыре (сверху вниз) зоны [4], соответствующие стадиям диагенеза (ДГ): протокатагенеза (ПК1-3), ранним подстадиям мезокатагенеза (МК1-2), поздним подстадиям этой же стадии (МК3-5) – апокатагенеза (АК1-4) и стадии метагенеза (МГ). При этом стадия ПК и подстадии МК1-2, вместе со стадией ДГ, относятся к раннему, а подстадии МК3-5 и стадия АК – к позднему катагенезу. Три верхние зоны включают собственно осадки и осадочные породы, а четвертая – их метаморфические аналоги. Каждая из этих зон характеризуется различной степенью постседиментационного преобразования отложений, включая содержащиеся в них глинистые минералы. Постседиментационные изменения отложений на фоне общей тенденции последовательной интенсификации их под действием термобарических параметров среды с учетом направленности их, в зависимости от гидрогеохимических условий осадконакопления в главнейших литологических формациях (терригенной, терригенно-карбонатной, карбонатной, вулканогенной и галогенной) характеризуются специфическими особенностями [1-4]. Важнейшей предпосылкой объективного использования результатов изучения глинистых минералов в осадочном чехле земной коры (и в отложениях отдельных осадочных формаций) являются не только палеотектонические и палеоклиматические факторы, определяющие

закономерности накопления отложений отдельных формаций [4], но и исследование достаточно мощных, характерных для каждой формации толщ с необходимым количеством изучаемых объектов, включая и дублирующее число образцов в отдельных частях разрезов. Отложения терригенной формации (или терригенных формаций) имеют наиболее широкое распространение в осадочном чехле земной коры [1-4]. Наличие в верхней части слагающих конкретный регион легко размокающих в воде глинистых отложений, а также способных к аналогичной дезинтеграции песчано-алевритовых разностей их непосредственно указывает, что они претерпели изменения, соответствующие лишь диа- и начальным этапам раннего катагенеза, т.е. относятся к I-ой зоне осадочного чехла земной коры. Это четко сочетается также с присутствием в рассматриваемых отложениях практически неизмененных разновидностей смектита и монтмориллонит-гидрослюдистых смешанослойных образований (МГСО) с содержанием более 40 % разбухающих слоев, с которыми неупорядоченно чередуются подчиненные неразбухающие [1-3]. Для слюдистых минералов данной зоны характерна псевдоизометричнопластинчатая форма частиц и отсутствие различия в их морфологии как в глинистых, так и в песчано-алевритовых отложениях, что указывает на их аллотигенное происхождение. Присутствие в накапливавшихся мощных толщах терригенных отложений существенного содержания каолинита непосредственно указывает на размыв достаточно зрелых кор выветривания [1-4]. Это при моно- и олигомиктовом типе обломочного материала указывает, что накопление продуктов, связанных с размывом кор выветривания (КВ), в пресных водоемах либо в эпиконтинентальных морях на пассивных континентах Мирового океана можно рассматривать, как одну из основных закономерностей формирования отложений платформенной субформации терригенной формации. В случае размыва КВ, сформированных на первично слюдистых породах, содержащих в основном более устойчивую, чем 1М, гидрослюду политипной модификации 2М1, последняя наряду с каолинитом также является характерным типоморфным минералом отложений платформенной субформации [4]. При этом присутствие в отложениях этой субформации только диоктаэдрических глинистых минералов свидетельствует о накоплении терригенно-аллотигенного материала в пресноводных условиях. В отличие от этого, наличие в рассматриваемых отложениях хлорита как слоистого минерала наиболее ранней генерации, связанного в глинистых разностях с аградационной трансформацией монтмориллонита, а в песчано-алевритовых с развитием в них крустификационного цемента, указывает на приуроченность их к морским бассейнам [4]. Преобладание в полимиктовых отложениях гидрослюд 1М и монтмориллонит-гидрослюдистых смешанослойных образований свидетельствует о размыве активных окраин континентов и накоплении отложений геосинклинальной субформации терригенной формации [2-4]. Сохранность хлорита в этих отложениях может указывать на переотложение слабо измененных гипергенными процессами Fe-Mg-разностей изверженных и метаморфических пород. В процессе постседиментационного преобразования отложений терригенной формации глинистые минералы, в соответствии с литолого-фациальным типом накапливавшихся осадков, подвергаются аградационной трансформации. Эти изменения по масштабу отражают степень погружения содержащих их отложений в зоны все более высоких давлений и, особенно, температур, а направленность процессов зависит от гидрогеохимического характера среды [4]. Особенно наглядно это наблюдается в терригенных образованиях древних потенциально алмазоносных толщ основных районов СП. Так, главнейшими образованиями верхнего палеозоя Малоботуобинского алмазоносного района (МБАР), в формировании которых значительную роль сыграли позднедевонские- раннекаменноугольные КВ [3], являются породы лапчанской (C2-3l), ботуобинской (P1bt) и борулойской (P2br) свит. В разрезах лапчанской свиты, непосредственно залегающих на КВ терригенно-карбонатных пород, в её нижних горизонтах отмечены максимальные концентрации каолинита и диоктаэдрической гидрослюды 2М1. Однако наблюдаются случаи, когда в нижних горизонтах лапчанской свиты диоктаэдрическая гидрослюды почти полностью исчезает. Для глинистой составляющей пород лапчанской свиты свойственная повышенная концентрация Mg-Fe-хлорита, по структурно-морфологическим особенностям близкого к установленному нами [3] в КВ терригенно-карбонатных пород. Это,

как и содержание и состав грубообломочного материала, а также минеральные парагенезисы легкой, тяжелой и глинистой фракций позволяют считать, что в период формирования осадков лапчанской свиты в них преобладали продукты переотложения КВ терригенно-карбонатных пород нижнего палеозоя и кластические образования среднего палеозоя. Значительно меньшую роль играли в этом выветрелые породы основного и ультраосновного состава [3]. Судя по приведенным особенностям концентрации глинистых минералов, наблюдается неравномерная обогащенность образований лапчанской свиты продуктами переотложения КВ терригенно-карбонатных пород. В отличие от лапчанской свиты, в нижних горизонтах ботуобинской увеличивается концентрация монтмориллонита, неупорядоченных монтмориллонит-гидрослюдистых и вермикулит-монтмориллонитовых смешанослойных образований, что свидетельствует о возрастании в этих горизонтах роли продуктов выветривания основного и ультраосновного составов и уменьшении влияния терригенно- карбонатных пород. На это указывают сравнительно меньшие концентрации диоктаэдрической гидрослюды 2М1 и каолинита с относительно упорядоченной структурой. Нередко отмечается высокая концентрация каолинита по всему разрезу свиты, что связано с поступлением его из КВ на породах трапповой формации (в частности туфогенных образований). В глинистой составляющей из пород борулойской свиты преобладают монтмориллонит и неупорядоченные монтмориллонит-гидрослюдистые смешанослойные образования, а в проницаемых породах (песчаниках и алевролитах) пойменных и озерно-болотных фаций и каолинит. Соответственно снижается содержание гидрослюды и хлорита. Анализ минерального состава борулойской свиты позволяет говорить о большом влиянии в период её формирования продуктов выветривания основных пород среднепалеозойского возраста и о подчиненной роли терригенно-карбонатных пород нижнего палеозоя, которые к тому времени в значительной степени были перекрыты отложениями лапчанской и ботуобинской свит. Выяснение особенностей глинистых минералов в отложениях терригенно-карбонатной и карбонатной формаций [3-4] представляет, по сравнению с отложениями собственно терригенной формации, менее сложную задачу. Это связано с их локализацией либо в виде относительно тонких прослоев, четко выделяющихся в мощных толщах карбонатных пород, либо в существенно обогащенных карбонатным материалом отложениях карбонатного типа. Вследствие более интенсивной аградации диоктаэдрических разбухающих минералов в отложениях рассматриваемых формаций, эту особенность необходимо учитывать при геологической интерпретации результатов их изучения в отложениях этих формаций, чтобы не завышать степени катагенетического изменения содержащих их отложений. При исследовании глинистых минералов в собственно терригенных прослоях отложений этих формаций следует проводить для пластов хлорит-сапонитов, не только в средних их частях, но и периферийных участках. Это позволит путем сравнительного анализа оценить влияние карбонатной среды в краевых частях терригенных прослоев на степень аградации материала в различных диа-метагенетических зонах осадочного чехла земной коры. Исследование глинистых минералов, кроме рекомендуемого нами раньше для отложений всех формаций первоначального получения рентген-дифрактограмм, в целом, от неориентированных препаратов, в отложениях терригенно-карбонатной и карбонатной формаций изучаемые разности пород необходимо обрабатывать на холоде 2 % раствором HCl для разложения карбонатов. В процессе этой процедуры следует учитывать изменение также обменного комплекса как ди-, так и триоктаэдрических смектитов. Кроме аллотигенных глинистых минералов, приуроченных к терригенно-аллотигенным прослоям, большое значение в разрезах отложений этих формаций (особенно в собственно карбонатной) имеет устойчивость в I-ой зоне осадочного чехла земной коры слоисто-цепочечных Mg-силикатов. Для выявления их в реальных разрезах необходимо особенно тщательно исследовать в подошве карбонатных толщ переходные зоны между терригенными и соответствующими карбонатными породами. Важность такой методологии исследования пограничных отложений между карбонатными толщами и терригенными прослоями определяется преобразованием во II-ой зоне слоисто-цепочечных минералов в смектиты, которые в III-ей зоне трансформируются в тальк- и хлорит-сапониты, которые способствуют не только реконструкции палеогеографических условий

седиментогенеза, но и имеют большое значение в решении ряда вопросов нефтегазовой геологии [4]. В отличие от отложений терригенной формации, основной особенностью накопления и постседиментационного преобразования осадков терригенно-карбонатной и карбонатной формаций является общая повышенная гидрогеохимическая минерализация среды, что следует рассматривать, как важный типоморфный признак седиментогенеза указанных формаций.

3. Выводы

Таким образом, на примере изучения отложений терригенной, терригенно-карбонатной и карбонатной формаций показано, что глинистые минералы в них как аутигенного, так и аллотигенного генезиса представлены несовершенными в структурном отношении разновидностями. Последние характеризуются значительными дефектами, т.е. вакансиями в структуре, которые полностью не заполняются, вплоть до стадии МГ. Это связано с тем, что в пластовых водах и поровых растворах на предшествующих МГ стадиях литогенеза сохраняется дефицит главнейших для структур слоистых силикатов катионов, приводящий к сравнительно незначительным изменениям материала переотложенных КВ в бассейнах седиментации, что показано на примере верхнепалеозойских и мезозойских осадочных толщ основных алмазоносных районов СП. Локализация продуктов переотложения КВ в верхнепалеозойских отложениях Далдыно-Алакитского района, по сравнению с МБАР, характеризуется специфическими чертами, существенно облегчающим проведение поисковых работ на территории первого, делая их более эффективными. Здесь оконтуривание ореолов рассеяния кимберлитового материала в базальных слоях каменноугольно-пермских отложений привело к открытию новых кимберлитовых трубок. Характер распространения, фациальный состав отложений верхнего палеозоя и приуроченность ореолов рассеяния кимберлитовых и связанных с ними глинистых минералов к делювиально-пролювиальным и аллювиальным осадкам, развитым в низах разреза лапчанской, ботуобинской и боруллойской свит, свидетельствуют о наличии благоприятных условий для формирования продуктивных толщ. Перспективны на россыпную алмазоносность делювиально-пролювиальные отложения верховьев палеоводотоков. Аллювиальные отложения лапчанской и ботуобинской свиты развиты в западной части рассматриваемой территории по днищам долин палеоводотоков. Высокие перспективы лапчанских и ботуобинских пролювиальных и аллювиальных отложений на формирование продуктивных горизонтов (россыпи алмазов Восточная и Западная).

4. Литература:

[1] Zinchuk N. N. Comparative characteristics of material composition of kimberlite rocks' crusts of weathering of the Siberian and East-European platforms//Geology and Geophysics. 1992, no. 7. pp. 99–109.

[2] Zinchuk N.N., Koptil V.I., Boris E.I., Lipashova A.N. Typomorphism of diamonds from placers of the Siberian platform as the basis for prospecting of diamond deposits // Ores and metals. 1999, no. 3, pp. 18-30.

[3] Zinchuk N.N., Melnik Yu.M., Serenko V.P. Apokimberlite rocks // Geology and geophysics. 1987, no. 10, pp.66-72.

[4] Zinchuk N.N., Savko A.D., Krainov A.V. Kimberlites in the Earth history. Proceedings of VSU geological SRI. Tutorials. Is. 68 - Voronezh: VSU, 2013, 99 pp.

[5] Kotelnikov D.D., Dombrovsraya Dz.V., Zinchuk N.N. Basic laws of weathering of silicate rocks of various chemical and mineralogical types // Litilogiya and polesny iskopaemi. 1995, no. 6, pp. 594-601.

[6] Kotelnikov D.D., Zinchuk N.N. Typomorphic phic features and paleogeographic Significance of mica minerals // Izvestiya VUZov. Geologiya and razvedka. 1996, no. 1, pp. 53-61.

[7] Matsuk S.S., Zinchuk N.N. Optical Spectroscopy of minerals of the upper mantle.M.: Nedra. 2001, 428 pp.

[8] Hitrov V.G., Zinchuk N.N., Kotelnikov D.D. Application of cluster-analysis for clearing out regularities of various composition rocks' weathering // DAN USSR. 1987, vol. 296, no. 5, pp. 1228-1233.
[9] Charkiv A.D., Zuenko V.V., Zinchuk N.N., Kruchkov A.I., Uchanov A.V., Bogatich M.M. Petrochemikal and Kimberlites. M.: Nedra. 1991, 304 pp.

УДК 552.323.6 553.81

ОСОБЕННОСТИ ИЗУЧЕНИЯ ПЕРВИЧНЫХ МИНЕРАЛОВ КИМБЕРЛИТОВ

Николай Зинчук
Западно-Якутский научный центр АН РС (Я), Чернышевское шоссе, 16, г. Мирный, 678170, Россия

OF RESEARCH OF BASIC KIMBERLITE PRIMARY MINERALS

Nikolay Zinchuk
West-Yakut Scientific Center of the AS RS (Ya), 16 Chernyshevskoe Hwy., Mirny, 678170, Russia

Annotation. There are a huge number of methods for studying minerals, including kimberlite indicator minerals (IMC). They can be combined into limited groups of methods, of which the most common are: physiographic; determination of the chemical composition of minerals (including geochemical and determination of trace impurities); physical and structural. The samples of garnets usually contain mainly pyropes from peridotite parageneses and pyrope-almandine garnets of eclogite parageneses, less often almandines, which are attributed to deep associations based on the finds of diamonds in paragenesis with garnet of this type in pipes of the Siberian diamond province (SAP).

Крупные *пиропы* чаще всего более богаты TiO_2 и соответствуют пироксенитовым ассоциациям или перекристаллизованным импрегнированным расплавом перидотитам [1-5]. Помимо обычных прогнозных оценок алмазоносности кимберлитов по пиропам на диаграмме Cr_2O_3 – CaO, полезны также определения уровней концентрации расплавов, поскольку прогрев, сопровождающий внедрение расплавов, может способствовать росту алмазов хорошего качества. В составах гранатов из трубок Далдынского поля (ДКП) проявляется тренд Cr_2O_3 – CaO в пределах лерцолитового поля, который для трубки Зарница обнаруживает дискретный характер с разрывом в интервале 8-9 % Cr_2O_3. Составы гранатов из кимберлитовых трубок Алакит-Мархинского поля (АМКП) обычно образуют протяженный тренд в пределах лерцолитового поля, субкальциевые гранаты появляются в массовых количествах, начиная с 6 % Cr_2O_3. В трубке Сытыканская более хромистые гранаты менее обогащены кальцием, что вместе с содержанием TiO_2 и Na_2O может свидетельствовать об их пироксенитовом источнике из гранат-шпинелевой фации мантии [4-5]. Гранаты из трубки Комсомольская также отличаются обогащением TiO_2 на уровне гранат-шпинелевого перехода и глубже. Субкальциевые гранаты характерны для глубинных минеральных парагенезисов трубки Юбилейная, при тенденции обогащения TiO_2 на уровне гранатовой и гранат-шпинелевой фаций верхней мантии. Наиболее богаты субкальциевыми гранатами кимберлиты трубки Айхал. В составах гранатов из трубок Верхне-Мунского поля – ВМКП (Заполярная, Новинка и Деймос) лерцолитовый тренд хорошо выражен лишь до 6,5 % Cr_2O_3, что отмечено в трубке Заполярная. Гранаты из кимберлитовых трубок Накынского поля (НКП), на диаграмме Cr_2O_3 – CaO образуют протяженный лерцолитовый тренд до 10-12 % Cr_2O_3 и параллельный ему в области гарцбургитовых составов; дунитовые парагенезисы с очень низкими содержаниями CaO встречаются при содержаниях Cr_2O_3 10-12 % в кимберлитах трубки Ботуобинская и редки в трубке Нюрбинская. Особого внимания заслуживает *хромдиопсид*, являющийся весьма чутким индикатором условий магмообразования. Он встречается практически во всех трубках. Его реликты можно обнаружить даже в кимберлитах высокой степени серпентинизации; заметно увеличивается его количество в глубинных частях кимберлитовых трубок, начиная с уровня 600 м и более. Составы хромистых клинопироксенов значительно варьируют в пределах трубок и между отдельными кимберлитовыми полями. Обычно хромистость положительно коррелируется с глубиной образования и степенью метасоматической проработки магматической колонны. Увеличение степени плавления перидотитов также приводит к повышению хромистости, если в системе достаточно Na_2O. По составу клинопироксена существует резкая зональность в пределах СП.

Наиболее истощенные перидотиты установлены в кимберлитах ДКП. Вариации состава *клинопироксенов* из кимберлитов ДКП показывают, что более железистые (~ 4 % FeO), но малохромистые клинопироксены в кимберлитах, отвечают гранат-шпинелевым и шпинелевым перидотитам. Силикатный расплав менее характерен для процессов алмазообразования, однако может способствовать перекристаллизации при разогреве вблизи контактовых зон. Самые хромистые пироксены (до 6 % Cr_2O_3) близки по составу к космохлору. Не менее пяти групп, выделяемых по уровню содержания Na_2O и Cr_2O_3, соответствуют слоистости в мантии и, возможно, отдельным пульсациям метасоматических процессов. В трубке Айхал составы пироксенов очень близки к хромдиопсидам из трубки Юбилейная, но они несколько менее щелочные, в них больше разновидностей истощенного типа и железистых составов (особенно малоглубинных). При этом необходимо учитывать, что и сравнительно малоглубинные ильмениты из метасоматитов в мантийных перидотитах также могут быть магнезиальными – дополнительным показателем принадлежности к мантийным метасоматитам является повышенная хромистость *ильменитов*. Исключением являются многие ксенолиты глиммеритов, особенно с существенно оливиновыми вмещающими породами, повышение содержаний хрома в которых часто не наблюдается. Аналогично ведут себя и многие ильменитсодержащие породы, которые, судя по термобарометрии, могут быть очень глубинными и образовываться вблизи основания литосферы, но также не отличаются повышенной хромистостью и чрезвычайно высокими содержаниями MgO. Анализ состава ильменита из различных кимберлитовых трубок, специфика распределения концентраций основных компонентов (TiO_2, MgO, NiO, Al_2O_3, FeO, Fe_2O_3, MnO, V_2O_5), а также высокозарядных элементов-примесей – Nb, Ta, Hf, Y и, как правило, REE, являются показателем условий фракционирования кимберлитового расплава в магматических камерах [5] и в продвигающейся колонне кимберлитовых масс в основании литосферы. Следует отметить, что, кроме указанной индикаторной роли минерала в эволюции поднимающихся в земную кору кимберлитовых расплавов, его химизм отражает специфику строения верхней мантии под кимберлитовыми проявлениями, при сходстве составов ильменита отдельно взятых кустов кимберлитовых трубок. Важную роль в определении условий мантийного петрогенезиса, продуцирующего кимберлитовые расплавы, играет *хромит*. Хромитовые тренды имеют четко выраженные зависимости от давления, которое коррелирует с хромистостью; выявлена тенденция обогащения хромом в ранних микрофенокристаллах, а Fe и Ti – на более поздних стадиях [1]. Примечательно, что включения хромита в алмазах всегда высокохромисты: Cr_2O_3 составляет более 60 масс. %. На диаграммах Cr_2O_3 - Al_2O_3 хромиты обычно обнаруживают четко выраженные обратные зависимости. Наблюдаемые в отдельных случаях отклонения обусловлены, вероятнее всего, вхождением ульвошпинелевого или магнетитового минала преимущественно к наиболее хромистой части шпинелевых трендов, что связано с близостью к глубинным магматическим источникам в основании литосферных колонн. Однако, в зависимости от окислительных условий, возможны варианты изоморфных замещений. Для *хромшпинелидов* трубки Зарница ДКП наблюдается расщепление тренда составов на обогащенный ульвошпинелевым компонентом и более характерный для рядом расположенной трубки Удачная. При этом тренд составов хромитов из трубки Зарница, как и ильменитов, проявляет дискретный характер, а трубки Удачная - более непрерывный ряд составов, вплоть до 10 масс. % Cr_2O_3 – значений шпинелевой фации. *Шпинелиды* из кимберлитов трубки Юбилейная (как и некоторых других трубок АМКП) также обнаруживают вариации составов, при этом наблюдается характерное расщепление трендов, что может соответствовать слоистости мантийного разреза. Подобный тренд проявлен и для хромшпинелидов и верхней части мантийной колонны. Шпинелиды из трубки Айхал также обнаруживают сходный тренд расщепления, но он менее контрастен, чем в Юбилейной и некоторых других трубках поля. В МБАР кимберлитовые тела (за исключением трубки Интернациональная) отличаются редкой встречаемостью хромшпинелидов [1–2, 5-7]. Тренд состава хромитов трубки Интернациональная проявляет четкое деление на отдельные интервалы с существенным расщеплением на ветви, но между ветвями в более хромистой глубинной области наблюдаются линии смешения, что могло быть связано с отдельными промежуточными магматическими

очагами. Судя по вариациям составов хромитов из трубки, Заполярная ВМКП, практически вся перидотитовая колонна верхней мантии подвержена взаимодействию с жильной системой с обогащением и разогревом. Эти же процессы можно предположить по гомогенному тренду составов клинопироксена и данным термобарометрии. Для трубки Нюрбинская Накынского поля (НКП) тренд обогащения ульвошпинелевым миналом очень крутой и состоит из двух отрезков. В менее глубинной части интервала степень взаимодействия поднимающихся протокимберлитовых масс менее выражена. Возможно, на более значительной глубине из этих расплавов вместо ильменита кристаллизовалась ульвошпинель, при достаточно высоких степенях окисления и высоких температурах, чем объясняется отсутствие ильменитовых мегакристаллов в кимберлитах НКП. В целом для каждого типа кимберлитовых пород, слагающих трубки, количество ИМК алмазной ассоциации пропорционально алмазоносности той или иной разновидности кимберлита. Высокоалмазоносные кимберлитовые тела этой группы характеризуются содержанием не менее 5 % гранатов алмазной ассоциации от общего их числа. Обособляющиеся от них высокоалмазоносные кимберлиты НКП характеризуются [1-2, 4-5] пониженным содержанием гранатов алмазной ассоциации (более чем в два раза). Главная их особенность - преобладание низкохромистых разновидностей, оставляющих не менее 66 % от общего количества, при появлении зерен с $Cr_2O_3 \geq 12$ масс. %. В кимберлитах этого поля, характеризующихся снижением роли первых двух минералов, важное индикационное значение принадлежит хромшпинели. Важным является комплексное изучение *алмаза* — минерала с широким комплексом физико-химических, кристалло-морфологических и других особенностей, отражающих своеобразие термодинамических и геохимических условий его образования, которые могут быть использованы в качестве типоморфных [2-3]. Алмазы из отдельных кимберлитовых тел (а нередко и из различных минералого-петрографических разновидностей кимберлитов в одном из месторождений) довольно существенно отличаются по ряду типоморфных особенностей. Зная свойства алмазов из кимберлитовых тел, можно с большой долей уверенности решить вопрос о коренных источниках изучаемой россыпи или группы россыпей. Современные методы исследования алмазов дают возможность получить большой обьем информации об условиях их образования, последующего существования и изменения, что имеет важное значение при прогнозировании, поисках и оценке алмазных месторождений. Из большого спектра этих особенностей наиболее информативными и относительно легко диагностируемыми являются [2-3, 8-11]: морфология, фотолюминесценция, распределение оптически активных и водородных центров, электронный парамагнитный резонанс, химический состав твердых включений в алмазах и др. При этом главнейшими из них является определение принадлежности алмазов к определенной минералогической разновидности, что происходит по комплексу взаимосвязанных признаков и свойств. В результате многолетних исследований алмазов из россыпей и кимберлитовых тел САП (Якутия, Красноярский край и Иркутская область) с применением минералогической классификации алмазов, предложенной Ю.Л.Орловым [3], по которой выделяется 11 генетических разновидностей алмазов (с дополнительным разделением кристаллов отдельных разновидностей по габитусу и морфологическим типам кристаллов) нами [2] накоплен громадный фактический материал по типоморфным особенностям алмазов из кимберлитовых тел, современных отложений и разновозрастных вторичных коллекторов САП, что позволяет провести районирование территорий. В природе в действительности мы видим смесь отдельных разновидностей алмазов. Так, в кимберлитовой трубке Интернациональная в МБАР превалируют бесцветные кристаллы октаэдрического габитуса 1 разновидности (71 %), реже переходного от октаэдрического к ромбододекаэдрическому (23 %) при пониженном (меньше 1 %) содержании ламинарных ромбододекаэдров. В рядом находящейся в этом же районе кимберлитовой трубке имени XXШ сьезда КПСС, характеризующейся в верхней части, четко выраженной КВ, также представлены бесцветными, реже эпигенетическим окрашенными в лилово-коричневые цвета алмазами 1 разновидности. Среди них резко преобладают (до 82 %) кристаллы октаэдрического габитуса при невысоком (до 13 %) содержании кристаллов переходного от октаэдрического к ромбододекаэдрическому габитусов. В свою очередь, в трубках НКП (трубки Нюрбинская и

Ботуобинская) отмечаются бесцветные, реже эпигенетически бледно окрашенные в лилово- и дымчато-коричневые цвета кристаллы 1 разновидности при повышенной доле (по сравнению с другими месторождениями САП) алмазов 1У разновидности с окрашенной в желтовато-зеленые и серые цвета оболочкой. В слабоэродированных диатремах, с развитой в верхней части толщей вулканогенно-осадочных пород, ярким примером которых является самая большая на САП (59 га) кимберлитовая трубка Юбилейная, среди бесцветных прозрачных и полупрозрачных кристаллов почти половину составляют разности, окрашенные в различные цвета. Среди них свыше 30 % бледно-дымчато-коричневых, меньше розово-лиловых и лилово-коричневых окрашенных вследствие пластинчатой деформации. Характерно значительное количество индивидов с признаками природного травления (шрамы, матировка, коррозия, каверны и др.), количество которых по месторождению достигает 25 % всех алмазов. Таким же разнообразием характеризуется спектр алмазов из россыпей САП [2]. При всем разнообразии алмазов даже в пределах одной САП, по которой сделана применяемая классификация Ю.Л.Орлова [8], представилась возможность выделить [5] четыре типа источников алмазов:*I тип первоисточника* – кимберлитовый, характерный для богатых кимберлитовых тел фанерозойского возраста, характеризуется резким преобладанием алмазов 1 разновидности, представленных ламинарными кристаллами октаэдрического, ромбододекаэдрического и переходного между ними габитусов и образующих непрерывный ряд, а также присутствием алмазов с оболочкой 1У разновидности, серых кубов Ш разновидности, поликристаллических агрегатов УШ-1Х разновидностей, а в отдельных месторождениях (трубка Юбилейная) равномерно окрашенных в желтый цвет кубоидов П разновидности. *П тип первоисточника* – алмазы кимберлитового генезиса, характерные для кимберлитовых тел с убогой алмазоносностью и кимберлитовых жил; он выделяется по преобладанию додекаэдроидов с шагренью и полосами пластической деформации «жильного» типа, типичных округлых алмазов «уральского» («бразильского») типа и присутствию бесцветных кубоидов 1 разновидности. *Ш тип первоисточника* – алмазы невыясненного генезиса, характерные, в основном, для россыпей северо-востока САП, коренные источники которых до настоящего времени не обнаружены. Кристаллы этих источников представлены графитизированными ромбододекаэдрами. У разновидности, сложенными двойниками и сростками додекаэдроидов УП разновидности с легким ($\delta^{13}C$=-23 ‰) изотопным составом углерода и равномерно окрашенными кубоидами П разновидности с изотопным составом углерода промежуточного ($\delta^{13}C$ = -13,60 ‰) состава, образующими ассоциацию «эбеляхского» («нижнеленского») типа. *1У тип первоисточника* – алмазы взрывных кольцевых структур импактного генезиса, представленные поликристаллами алмаза типа карбонадо с примесью гексагональной модификации углерода – лонсдейлита (якутит). Полученные данные позволили разделить [2] САП на четыре субпровинции: Центрально-Сибирскую – ЦСАСП (центральная часть платформы) с преобладанием 1 типа первоисточника; Лено-Анабарскую – ЛААСП (северо-восток платформы) с преобладанием кристаллов Ш типа первоисточника невыясненного генезиса; Тунгусскую – ТАСП (юго-запад платформы) с преобладанием типичных округлых алмазов уральского (бразильского) типа, источником которых возможно были докембрийские терригенные формации платформы и ее складчатого обрамления; Алданскую – ААСП (юго-восток платформы) с находкой единичных округлых алмазов. Всестороннее исследование алмазов из всех разновозрастных коллекторов и кимберлитовых диатрем позволили выработать систему анализа их типоморфных особенностей и провести, кроме регионального, среднемасштабное районирование. Так, в россыпях первой субпровинции отмечается высокое содержание кристаллов октаэдрического и ромбододекаэдрического габитусов. В пределах ЛААСП выделяется две алмазоносные области: Кютюнгдинская (Приленская) и Анабаро-Оленекская. В россыпях первой области устанавливаются кристаллы октаэдрического габитуса (ассоциация «кютюнгдинского» типа), характерные для богатого типа первоисточника кимберлитового генезиса. В россыпях Лено-Анабарской области наблюдается резкое преобладание алмазов из первоисточника невыясненного генезиса (ассоциации «эбеляхского» типа) с преобладанием кристаллов П, У и УП разновидностей, типичных округлых алмазов во всех возрастных и генетических типов

алмазоносных отложений. ТАСП разделяется на две области: Байкитскую и Саяно-Тунгусскую. Для россыпей последней типично доминирование округлых алмазов «уральского» («бразильского») типа и присутствие значительного количества (до 10 %) балласов. В россыпях Байкитской области преобладают кристаллы октаэдрического габитуса ассоциации «мирнинского типа», характерной для богатых кимберлитовых трубок, но при значительных содержаниях типичных округлых алмазов (особенно в крупных классах), свойственных периферийным частям древних платформ. Алмазоносность кимберлитов определяется многими факторами, главными из которых являются: геолого-тектонические особенности районов распространения кимберлитового магматизма; состав вещества верхней мантии, генерирующего кимберлитовые расплавы; глубина заложения корней магматических очагов; скорость миграции (подъема) кимберлитового расплава в земную кору; сохранность алмазов в условиях земной коры (в диатремах); содержание "пустого" материала в кимберлитовых телах. Состав глубинных (мантийных) минералов (пироп, пикроильменит, хромшпинелид и др.), кристалломорфология и физические свойства алмазов дифференцированы на уровне провинции, поля и каждой трубки. Индивидуальные особенности состава и физических свойств индикаторных минералов трубок выявляются на статистическом уровне. Исследование алмазов из всех разновозрастных коллекторов и кимберлитовых диатрем позволили выработать систему анализа их типоморфных особенностей и провести районирование территорий, выделяя перспективные площади для проведения прогнозно-поисковых работ. Результаты такого районирования по алмазам и ИМК с учетом ряда критериев (морфологических, структурно-тектонических, палеогеографических и др.) служат основой для прогнозирования как новых богатых кимберлитовых тел, так и россыпей с невыявленными типами первоисточников, а также месторождений с повышенным качеством алмазного сырья. Анализ результатов изучения алмазов и ИМК различными исследователями подчеркивает актуальность и необходимость минералогических исследований комплексом современных методов с геологической привязкой находок минерала, позволяя решить ряд задач. С одной стороны – это фундаментальные исследования, позволяющие уточнять условия генезиса алмазосодержащих пород, с другой – это получение сведений чисто прикладной направленности для геолого-поисковых работ и технологического извлечения алмазов из кимберлитов. Установление связей вещественно-индикационных параметров кимберлитового магматизма различной продуктивности и геолого-структурного положения этих диатрем, позволяет выявлять как региональные, так и локальные типоморфные особенности первичных минералов продуктивных пород, а также выяснять вопрос о коренных источниках полезного компонента в россыпях.

Литература:

[1] Afanasiev V.P., Zinchuk N.N., Koptil V.I. Poligines of diamonds in connection nith the problem of primary placers of the north-cast of the Siberian platform. DAN. 1998, vol. 361, no. 3, pp. 366-369.

[2] Zinchuk N.N. Comparative characteristics of material composition of kimberlite rocks crusts of weathering of the Siberian and East-European platforms//Geology and Geophysics. 1992, no. 7, pp. 99–109.

[3] Zinchuk N.N., Boris E.I., Yanigin Yu.T. Peculiarities of diamond mineralogene in ancient sedimentary talits by the example of the upper Paleozoic Sediments the Siberian platform. -MGT. 2004, 172 pp.

[4] Zinchuk N.N., Zuev V.M., Koptil V.I., Cherny S.D. Diamond management strategy and results // Gorny vestnic. 1997, no. 3, pp. 53-57.

[5] Zinchuk N.N., Koptil V.I., Boris E.I., Lipashova A.N. Typomorphism of diamonds from placers of the Siberian platform as the basis for prospecting of diamond deposits // Ores and metals. 1999, no. 3, pp. 18-30.

[6] Zinchuk N.N., Savko A.D., Krainov A.V. Kimberlites in the Earth history. Proceedings of VSU geological SRI. Tutorials. Is. 68 - Voronezh: VSU. 2013, 99 pp.

[7] Matsuk S.S., Zinchuk N.N. Optical Spectroscopy of minerals of the upper mantle.M.: Nedra. 2001, 428 pp.
[8] Orlov Y.L. Mineralogy of diamond - M.: Science. 1984, 264 pp.
[9] Charkiv A.D., Zuenko V.V., Zinchuk N.N., Kruchkov A.I., Uchanov A.V., Bogatich M.M. Petrochemikal and Kimberlites. -M.: Nedra. 1991, 304 pp.
[10] Hitrov V.G., Zinchuk N.N., Kotelnikov D.D. Application of cluster-analysis for clearing out regularities of various composition rocks' weathering // DAN USSR. 1987, vol. 296, no. 5, pp. 1228-1233.
[11] Chitrov V.G., Kotelnikov D.D., Zinchuk N.N. Nonparametric cluster-rock analysis. Article 2. Weathering crust. Metamorphic and sedimentary rocks. // Bulleten Moskov o-va ispyt. Prirody. Otdel geological. 2004, T.79, no. 1, pp. 65-75.

УДК 551.24, 553.81

ОБЩИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗМЕЩЕНИЯ КИМБЕРЛИТОВ

Александр Колесник
НИГП АК «АЛРОСА» (ПАО), ул. Ленина, 39, г. Мирный, 678171, Россия

GENERAL PATTERNS OF KIMBERLITE LOCALIZATION

Kolesnik A.Yu.
JSC ALROSA, 39 Lenin St., Mirny, 678171, Russia

Annotation. Kimberlites are located within the archons and spatially connected to continental rifts. Their placement strictly follows the linear trends associated with continental rifts at all scales. The influence of mantle plumes in the formation of kimberlites is overestimated.

1. Введение

На сегодняшний день проявления кимберлитового магматизма установлены на всех древних платформах. Кимберлиты локализуются в пределах наиболее древних платформенных блоков архейского возраста – архонов, характеризующихся наиболее благоприятными обстановками для сохранения алмаза (относительно мощная и холодная литосфера), как и постулируется в общеизвестном «правиле Клиффорда» [5,6].

2. Основной раздел

Внутри архонов кимберлиты размещаются не хаотично, а выстраиваются в определённые линейные зоны, расположенные параллельно или ортогонально относительно осевых частей континентальных рифтов, с заложением/регенерацией которых связано формирование кимберлитов. Один из ярких примеров «параллельного» размещения кимберлитовых тел наблюдается в бортовых частях Вилюйского и Уджинского рифтов Сибирской платформы. «Ортогональное» размещение кимберлитов, наблюдается в пределах Африканской и Бразильской платформ, где меловые кимберлиты размещаются вдоль континентального «продолжения» трансформного разлома Срединно-Атлантического рифта. Также, на Восточно-Европейской платформе кимберлиты Зимнего берега расположены ортогонально относительно оси Кандалакшского рифта, по всей видимости регенерировавшего в палеозое [3,5,12].

На основании палеомагнитных данных о перемещении Восточно-Европейской, Сибирской, Бразильской и Африканской платформ можно предполагать, что размещение кимберлитов параллельно или ортогонально относительно осей континентальных рифтов может быть обусловлено изменением полей напряжений внутри платформы, т.к. именно в момент внедрения кимберлитов указанные платформы испытывали вращение и/или ускоренное перемещение, что сказывалось на изменении ориентировки полей напряжений внутри платформы [7,8,9,10,11].

Учитывая синхронное внедрение меловых кимберлитов Бразилии и Африки вдоль единой кимберлитоконтролирующей зоны, а также присутствие в пределах этой зоны более древних кимберлитов, можно исключить возможность их формирования за счёт «прожигания» Бразильской и Африканской платформ глубинной мантийной «точкой». В лучшем случае такая «точка» могла послужить триггером для заложения Срединно-Атлантического рифта.

На других платформах также наблюдается пространственное наложение разновозрастных проявлений кимберлитового магматизма в пределах линейных зон [3,4,5,9,12], что свидетельствует о жёстком структурном контроле процесса внедрения кимберлитов на региональном уровне. Следовательно, и для остальных платформ влияние мантийных «точек» можно считать переоценённым.

Закономерности локализация кимберлитов внутри линейных зон особенно подробно изучены для Вилюйско-Мархинской зоны Сибирской платформы. В результате исследований [1,2,4] достоверно установлено, что размещение кимберлитовых полей и кустов кимберлитовых тел

также подчиняется определённым закономерностям, связанным с процессом континентального рифтогенеза. Для других зон степень изученности в масштабе «поле кимберлитовых тел» остаётся неудовлетворительной.

Структурный контроль размещения отдельных кимберлитовых тел в разных частях Мира изучен достаточно детально (при отработке коренных месторождений алмаза). Для значительного числа кимберлитовых тел наблюдается размещение вдоль определённого линейного тренда, а также «удлинение» по простиранию указанной линии тренда. Примечательно, что на всех континентах успешные поиски новых кимберлитовых тел часто ведутся именно вдоль таких трендов/структур.

3. Выводы

Таким образом, на основании обобщения данных о пространственном распределении кимберлитов Мира установлено, что их размещение жёстко контролируется геологическими структурами, связанными с процессами континентального рифтогенеза как на локальном, так и на региональном уровне.

4. Литература:

[1] Gorev N.I. Tektonicheskie issledovaniya pri prognozirovanii korennyh istochnikov almazov // Almaznaya geologiya v AK «ALROSA» – nastoyashchee i budushchee (geologi AK «ALROSA» k 50-letnemu yubileyu almazodobyvayushchej promyshlennosti Rossii). Voronezh, 2005, pp. 1175–1202.

[2] Gorev N.I., Gerasimchuk A.A., Procenko E.V., Tolstov A.A. Tektonicheskie aspekty stroeniya Vilyujsko-Marhinskoj zony, ih ispol'zovanie pri prognozirovanii kimberlitovyh polej // Nauka i obrazovanie, 2011, no. 3, pp. 5-10.

[3] Zagajnyj A.K., Ustinov V.N., ZHuravlev V.A. Strukturno-tektonicheskie faktory razmeshcheniya proyavlenij kimberlitovogo i lamproitovogo magmatizma severo-zapada Vostochno-Evropejskoj platformy // Almaznaya geologiya v AK «ALROSA» – nastoyashchee i budushchee (geologi AK «ALROSA» k 50-letnemu yubileyu almazodobyvayushchej promyshlennosti Rossii). Voronezh, 2005, pp. 79-86.

[4] Procenko E.V., Gorev N.I. Tektonicheskie osobennosti razmeshcheniya kimberlitovyh tel i ih ispol'zovanie pri prognozirovanii (na primere kimberlitovyh polej Zapadnoj YAkutii) // Rudy i metally. 2017, no. 4.

[5] Frolov, A.A., Lapin, A.V., Tolstov, A.V. i dr. Karbonatity i kimberlity (vzaimootnosheniya, minerageniya, prognoz). - M.: NIA- Priroda, 2005.Clifford, T.N., 1966. Tectono-metallogenetic units and metallogenic provinces of Africa. Earth and Planetary Science Letters 1, pp. 421–434.

[6] Cocks L.R.M., Torsvik T.H., Siberia, the wandering northern terrane, and its changing geography through the Palaeozoic, Earth-Science Reviews, 2007, vol. 82, Issues 1–2, pp. 29-74.

[7] Hargraves, R.B., Onstott, T.C., 1980. Palaomagnetic results from some southern African kimberlites, and their tectonic significance. Journal of Geophysical Research 85, pp. 3587–3596.

[8] Jelsma, H., Barnett, W., Richards, S., Lister, G., 2009. Tectonic setting of kimberlites. Lithos 112, pp. 155–165.

[9] Tappe, S.; Smart, K.A.; Torsvik, T.H.; Massuyeau, M.; de Wit, M.C.J. Geodynamics of kimberlites on a cooling Earth: Clues to plate tectonic evolution and deep volatile cycles. Earth Planet. Sci. Lett. 2018, vol. 484, pp. 1–14.

[10] Torsvik T.H. Continental break-up and collision in the Neoproterozoic and Palaeozoic — A tale of Baltica and Laurentia. Earth-Science Reviews 40 (1996), pp. 229-258.

[11] White, S.H., De Boorder, H., Smith, C.B., 1995. Structural controls of kimberlite and lamproite emplacement. J. Geochemical Explor. vol. 53, pp. 245–264.

УДК 549 221

ОСОБЕННОСТИ АЛМАЗОВ И КИМБЕРЛИТОВ ИЗ ГЛУБОКИХ ГОРИЗОНТОВ ТРУБКИ ЮБИЛЕЙНАЯ

Алла Липашова, Алексей Аминов, Татьяна Антонова
НИГП АК «АЛРОСА» (ПАО), Чернышевское шоссе, 16, г. Мирный, 678175, Россия

FEATURES OF DIAMONDS AND KIMBERLITES FROM THE DEEP HORIZONS OF THE YUBILEYNAYA PIPE

Alla Lipashova, Aleksey Aminov, Tatyana Antonova
NIGP ALROSA PJSC, 16 Chernyshevskoe Hwy., Mirny, 678175, Russia

Annotation. The Yubileynaya pipe is one of the few representatives of the weakly eroded kimberlite pipes of the JAP. The Yubileynaya pipe is composed of several varieties of kimberlite rocks, characterized by specific textural and structural features, material composition, content of a useful component and composing three independent ore pillars – central, western and eastern. The composition of the AKB and PK of deep horizons differs depending on the ore column. Diamonds of deep horizons from different rocks bear the characteristics characteristic of their ore column.

1. Введение

При изучении алмазов и горных пород трубки Юбилейная глубоких горизонтов обнаружилось ряд особенностей. Трубка Юбилейная является крупнейшим месторождением алмазов ЯАП и разрабатывается с Айхальским ГОКом с 1991 г. На месторождении «Трубка Юбилейная» предшественниками выполнен большой комплекс геологических работ и научных исследований, позволившие определить морфологию, внутреннее строение, вещественный состав кимберлитов, а также свойства кристаллов алмазов [1,2]. Алмазы трубки Юбилейная анализировались по минералогическим и оптико-спектроскопическим характеристикам.

2. Основной раздел

В целом, алмазы тр. Юбилейная характеризуются разнообразием габитусных типов, среди которых октаэдры, переходные формы ряда октаэдр-ромбододекаэдр, ламинарные ромбододекаэдры составляют по 15-20 % при незначительном доминировании округлых кристаллов (до 25 %). Встречаются (до 5 %) кристаллы в оболочке IV разновидности и поликристаллические серые сростки VIII разновидности по Ю. Л. Орлову. Около 1/3 алмазов являются двойниками и сростками, среди которых наиболее часто встречаются шпинелевые двойники, незакономерные и поликристаллические сростки. Также около 1/3 кристаллов окрашены обычно в дымчато-коричневые и серые цвета и имеют скульптуры травления на поверхности, чаще в виде шрамов и треугольных впадин. Более половины алмазов имеют разнообразные трещины. Около 70 % алмазов содержат включения графита. По фотолюминесцентным особенностям преобладают алмазы с розово-сиреневым свечением (40 %). Реже и в близких количествах наблюдаются камни с желто-зеленой и сине-голубой фотолюминесценцией (25-30 %).

Кимберлиты глубоких горизонтов тр. Юбилейная представлены двумя основными текстурно-структурными типами: порфировым кимберлитом (ПК) и автолитовой кимберлитовой брекчией (АКБ) при единичном образце кимберлитовой брекчии [3]. Непосредственный контакт ПК и АКБ нередко контрастный и хорошо фиксируется на спилах.

Рисунок 1. Внешний вид контакта в породе АКБ (слева) и ПК (справа) трубки Юбилейная. Западный рудный столб, гл. 1317,5 м.

ПК глубоких горизонтов западного рудного столба характеризуется массивной текстурой и порфировой структурой. В породе преобладает оливин I генерация, но присутствуют псевдоморфозы серпентина и карбоната по идиоморфным кристаллам оливина II генерации. Общее содержание всех псевдоморфоз по оливину около 45 %. Флогопит представлен зернами округлой формы, а также в виде широких таблиц, удлиненных пластин размером 0,2-1,2 мм, по периферии замещен хлоритом, частично насыщен включениями микрозерен рудных минералов (2-3 %). Зерна граната практически всегда окружены цельной келифитовой каймой. Иногда келифитовая кайма частично замещена флогопитом. Единичные обнаружения реликтов келифитовой каймы без граната. Основная масса мелкозернистая, сложена тонкодисперсным серпентином, тонкозернистым кальцитом, микролитами хлоритизированного флогопита и микрозерен окисно-рудных минералов.

Содержание вкрапленников рудных минералов около 1 %. Форма разнообразная, встречаются как идиоморфные кристаллы, так и округлой формы выделения (магнетит). На срезе нередко фиксируются элементы скелетного роста. Среди рудных минералов выявлен процесс эволюции минерального состава в направлении: хромит (ядро зёрен) → ассоциация ильменит (промежуточная или периферийная часть) + перовскит (краевая часть зерен).

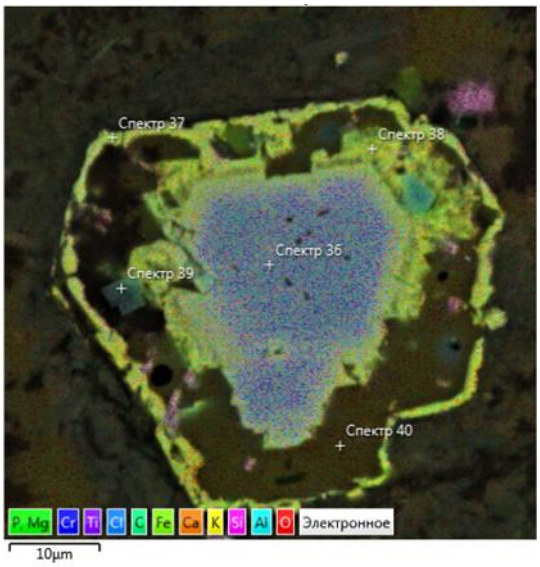


Рисунок 2. Эволюция состава рудных минералов: переход хромита (синяя область в центре зерна) в ассоциацию ильменита (жёлто-зелёный цвет) и перовскита (зерна с сине-зелёной окраской)

АКБ глубоких горизонтов западного рудного столба характеризуется автолитовой или, существенно реже, брекчиевой текстурой и микрозернистой структурой связующей массы. В

составе АКБ доминируют серпентин, хлорит, кальцит, слюда (флогопит) при незначительных количествах галита, апатита, пираурита, ангидрита, сфалерита, гематита, пирита, магнетита. В целом состав АКБ близок к составу ПК.

Основную массу изученных алмазов западного рудного столба составляют кристаллы из КБ и ПК или их смесь. Морфологические характеристики алмазов из этих пород достаточно близки. При этом отмечаются следующие отличия: среди алмазов из АКБ больше целых и незначительно поврежденных алмазов, октаэдров и алмазов с желто-зеленой фотолюминесценцией (ФЛ), меньше трещиноватых кристаллов и с твердыми включениями; в ПК отмечается пониженное содержание округлых алмазов и с желто-зеленой фотолюминесценцией. Остальные признаки алмазов из разных типов пород западного столба находятся на среднем уровне. По данным ИК-спектроскопии, как в ПК, так и в КБ преобладают (55–64 %) кристаллы с концентрациями азота до 200 at.ppm. В изученной небольшой выборке из АКБ западного рудного столба около 50 % «безазотных» алмазов. В породе смешанного типа (КБ+ПК) алмазы имеют промежуточные ИК-характеристики между таковыми ПК и КБ.

ПК глубоких горизонтов центрального рудного столба представляет собой массивную, плотную, с редкими заполненными кальцитом трещинами породу. Структура породы порфировая. В породе также присутствуют псевдоморфозы серпентина и карбоната по идиоморфным кристаллам оливина II генерации. В породе преобладает I генерация. Количество всех псевдоморфоз по оливину в среднем составляет около 45 %. Флогопит представлен зернами округлой формы, неправильной обломочной формы, а также в виде широких таблиц, удлиненных пластин размером 0,2-4 мм, по периферии замещен хлоритом, частично насыщен включениями микрозерен рудных минералов и занимает 2,5 % площади шлифа. Зерна граната окружены полностью сохраненной келифитовой каймой. Малый процент граната находится в реликтах келифитовой каймы. Все зерна имеют размеры до 2,2 мм и занимают менее 1,5 % площади шлифа.

АКБ представлена плотной породой светло-серого, в основном, цвета, реже с зелёным и голубым оттенками. Структура породы микрозернистая, текстура автолитовая, редко брекчиевая. АКБ состоит из автолитовых образований, порфировых вкрапленников, а также заметно большего, в отличие от ПК, количества обломков осадочных, метаморфических, ультраосновных магматических пород, погруженных в микрозернистую связующую массу рудно-карбонатно-силикатного состава. В АКБ Центрального рудного столба доминируют серпентин, кальцит, смектиты и слюда (флогопит). В незначительных количествах находятся хлорит, галит, апатит, пираурит, ангидрит, кварц, гематит, пирит, магнетит и полевые шпаты. Среди карбонатов встречается доломит, которого не было в западном рудном столбе. В среднем в АКБ несколько больше (56 % против 49 %) серпентина и меньше (15 % против 6 %) кальцита, чем в ПК Центрального рудного столба.

В центральном рудном столбе морфологические характеристики алмазов из АКБ, КБ, КБ+ПК также достаточно близки. При этом в АКБ незначительно меньше двойников, в КБ больше трещиноватых и с розово-сиреневой фотолюминесценцией камней и меньше округлых алмазов и с желто-зеленой ФЛ. В породе смешанного типа КБ+ПК все морфологические признаки имеют среднее значение. Отличия алмазов из ПК более заметны. Здесь больше целых и незначительно поврежденных камней, округлых алмазов, октаэдров, и кристаллов с твердыми включениями. По данным ИК-спектроскопии, в АКБ центрального рудного столба около 43% кристаллов с концентрациями азота до 200 at.ppm, в том числе 18 % «безазотных». В малочисленной выборке из КБ преобладают алмазы с 400–1000 at.ppm, а в ПК – более 62 % с концентрацией менее 200 at.ppm, но такие расхождения в характеристиках могут быть связаны с непредставительностью выборки из ПК и КБ центрального рудного столба.

ПК глубоких горизонтов восточного рудного столба визуально выглядит как массивная, с редкими, заполненными кальцитом, трещинами, плотная порода разной интенсивности зелёного, голубовато-серого, светло-серого цвета. Текстура породы массивная. Структура порфировая. В основной массе ПК в шлифах установлены тонкодисперсный серпентин, карбонат, микролиты флогопита и микрозерна непрозрачного рудного минерала. Минеральный состав ПК

характеризуется доминированием серпентина, высоким содержанием смектитов, хлорита, кальцита, слюды при варьирующих значениях ангидрита, галита, доломита и наличии небольших (до 1 %) количеств сульфидов, кварца и других минералов.

В восточном рудном столбе в породе смешанного типа КБ+ПК отмечается повышенное количество целых и незначительно поврежденных алмазов, с желто-зеленой ФЛ и трещиноватых камней. В ПК снижается количество октаэдров, двойников и сростков, и окрашенных алмазов.

В кимберлите глубоких горизонтов трубки Юбилейной установлены: главные минералы: силикаты (оливин, гранаты, серпентин, хлорит, смектиты, флогопит), карбонаты (кальцит, первые % пироаурит); второстепенные минералы: оксиды, гидроксиды, галоиды, сульфаты, фосфаты (апатит, галит, гипс, ангидрит, амакинит, гётит и др.), а также разные типы рудных минералов (хромит, пикроильменит, ильменит, Ti-магнетит, перовскит, и др.). В шлифах и штуфах прослежена последовательность постмагматических вторичных изменений по крупным выделениям оливина I генерации, а именно: оливин → серпентин → кальцит (часто), гётит и титаномагнетит (реже) → сульфаты (гипс, ангидрит). Связующая масса (АКБ) и основная масса (ПК) практически идентичны друг другу и имеют карбонат-серпентиновый состав.

С глубиной изученности трубки происходит преобразование цвета кимберлита – ПК – темно-серый оттенок кимберлита, АКБ – более светлый. Содержание ксенолитов больше в АКБ. Псевдоморфоз по оливину больше в ПК. Реликтов свежего оливина больше в ПК. Индикаторных минералов – пиропов больше в ПК, ильменита больше в АКБ. Среди пиропов в ПК и АКБ преобладают гранаты, окрашенные в малиновый и оранжевый, лиловый реже остальных.

Состав АКБ и ПК глубоких горизонтов отличаются в зависимости от рудного столба. В АКБ незначительно доминируют ламинарные ромбододекаэдры и кристаллы переходных форм ряда октаэдр-ромбододекаэдр при близких количествах октаэдров и округлых алмазов. Алмазы из АКБ содержат больше окрашенных камней, а также с розово-сиреневой фотолюминесценцией. В целом, алмазы из ПК и АКБ не имеют резких различий и несут признаки характерные для своего рудного столба. При сравнении морфологических свойств алмазов из верхних горизонтов выявлено, что в глубоких горизонтах ухудшилась сохранность алмазов, заметно больше стало обломков и осколков, выше содержание алмазов со скульптурами травления, трещинами, окраской и с твердыми включениями. По габитусным формам увеличилось содержание округлых алмазов и уменьшилось – октаэдров. Количество алмазов переходных форм ряда октаэдр-ромбододекаэдр и ламинарных ромбододекаэдров осталось на том же уровне.

Литература:

[1] Zinchuk N. N., Koptil V. I. Typomorphism of diamonds of the Siberian platform. - M.: Nedra, 2003, pp. 603.

[2] Egorov K. N., Koshkarev D. A., Karpenko M. A. Mineralogo-geochemical criteria of diamond-bearing kimberlites of the Yubileynaya multiphase tube (Yakutia) / / Doklady AN. 2008, no. 3, vol. 422, pp. 377-381.

[3] Kornilova V.P., Nikishov K.N., Kovalsky V.V., Zolnikov G.V. Atlas of textures and structures of kimberlite rocks. Moscow, Nauka Publishing House, 1983, pp. 21-26.

УДК 549.2

ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ АЛМАЗОВ ИЗ ОТЛОЖЕНИЙ КАРНИЙСКОГО ЯРУСА БУЛКУРСКОЙ АНТИКЛИНАЛИ СЕВЕРО-ВОСТОКА СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

Алла Логвинова[1], Саргылана Угапьева[2], Евгений Николенко[1], Ричард Вирт[3], Валентин Афанасьев[1]

1 Институт геологии и минералогии имени В.С. Соболева СО РАН, пр. Академика Коптюга, 3, г. Новосибирск, 630090, Россия

2 Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, пр. Ленина, 39, г. Якутск, 677000, Россия

3 GFZ Немецкий научно-исследовательский центр наук о Земле, г. Потсдам, 14473, Германия

GENETIC FEATURES OF DIAMONDS FROM THE CARNIAN DEPOSITS OF THE BULKUR ANTICLINE (THE NORTHEAST OF THE SIBERIAN PLATFORM)

Alla Logvinova[1], Sargylana Ugap'eva[2], Evgeniy Nikolenko[1], Richard Wirth[3], Valentin Afanasiev[1]

1 V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy, SB RAS, 3 Acad. Koptyuga Ave., Novosibirsk, 630090, Russia

2 Diamond and Precious Metal Geology Institute SB RAS, 39 Lenin Ave., Yakutsk, 677000, Russia

3 Helmholtz-Zentrum Potsdam Deutsches Geo Forschungs Zentrum GFZ, Telegrafenberg 14473, Potsdam, Germany

Annotation. The results of comprehensive studies of rounded diamonds from the Carnian Stage of the Bulkur anticline (the lower reaches of the Lena River) are presented. Micro- and polyphase nanometer scale inclusions in diamonds were studied by Raman spectroscopy, SEM and TEM. Garnet, pyroxene, and Ba-enriched mica inclusions were identified in dodecahedral diamonds of the 1st variety by Yu.L. Orlov. This is the first observation of Ba-rich mica in diamond. Nanoscale polyphase inclusions, represented by Ba, Sr, Ca - carbonates, SiO_2, apatite, mica, Mg, Fe, K – silicate, fluid phases and amorphous silica were detected in diamond of the V-VII variety by TEM. The total nitrogen content in rounded diamonds of the 1st variety exceeds 900 ppm, in diamonds of the V-VII variety-from 1150 to 1800 ppm with high aggregation of nitrogen. The differences in the composition of the inclusions and the set of their constituent phases indicate that the crystallization of the diamonds that captured these inclusions occurred in mineral-forming media of different composition. The presence of inclusions enriched in Al, Fe, Ba, Sr, and K in Carnian diamonds is evidence of subduction processes. A comparative analysis of the identified inclusions in diamonds from the Carnian Stage of the Bulkur anticline with inclusions in diamonds from the kimberlite pipes of Yakutia reveals their individuality and suggests the existence of at least two types of the source of the described diamonds of more ancient age.

1. Введение

Важную генетическую информацию о составе алмазообразующего субстрата можно получить, основываясь на результатах исследования минеральных и флюидных включений, захваченных алмазом в процессе его кристаллизации. С целью выяснения особенностей среды кристаллизации и эволюционных изменений в процессе роста аллювиальных алмазов в данной работе впервые изучены множественные субмикроскопические полифазные включения в типичных для северных россыпей Якутии округлых алмазах карнийского ярусаБулкурской антиклинали (низовья р. Лены).В генеральном плане здесь присутствуют алмазы двух типов: 1 – алмазы кимберлитового типа, происходящие из прогнозируемых здесь слабо алмазоносных кимберлитов триасового возраста; 2 – алмазы «северного» типа, преобладающие в россыпях северо-востока Сибирской платформы, предположительно докембрийского возраста из

различных типов коренных источников, возможно не кимберлитовых [1]. Исследования последних особенно актуальны с точки зрения их генезиса и типов коренных источников. Важнейшую информацию дает изучение включений в алмазах. Такие исследования особенно необходимы для алмазов, в которых видимые в оптическом диапазоне увеличений минеральные включения встречаются крайне редко.

В данной работе проведенькомплексные исследования округлых додекаэдрических алмазов из участка Булкур, включая захваченный ими во время кристаллизации материал. В отличие от других алмазоносных россыпей северо-востока Сибирского кратона в данном районе преобладают бесцветные додекаэдроиды с трещинами и глубокими шрамамина поверхности (около 50 %) (Рисунок 1 а-в) и алмазы V-VIIразновидности по Ю. Орлову [2] (рисунок 1, г-д)при незначительном количестве алмазов кимберлитового типа (Рисунок 1 е).Дефектно-примесный состав алмазов изучен на ИК-Фурье спектрометре (FTIR) VERTEX 70 (фирма Bruker). Химический состав включений определялся с помощью сканирующего микроскопа MIRA 3 (TESCAN, Чехия) и Jeol JSM-6480LVc энергетической приставкой INCA Energy 350 OxfordInstruments. Фазовый состав наноразмерных полифазных включений изучен методом просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ) на приборе Philips CM200 (LaB6) при ускоряющем напряжении 200 кВт [3].Спектры комбинационного рассеяния (КР) регистрировались на измерительном комплексе ИНТЕГРА СПЕКТРА (ЗАО NT-MDT, г. Зеленоград) в АИЦ СВФУ им. М.К. Аммовоса, г. Якутск.

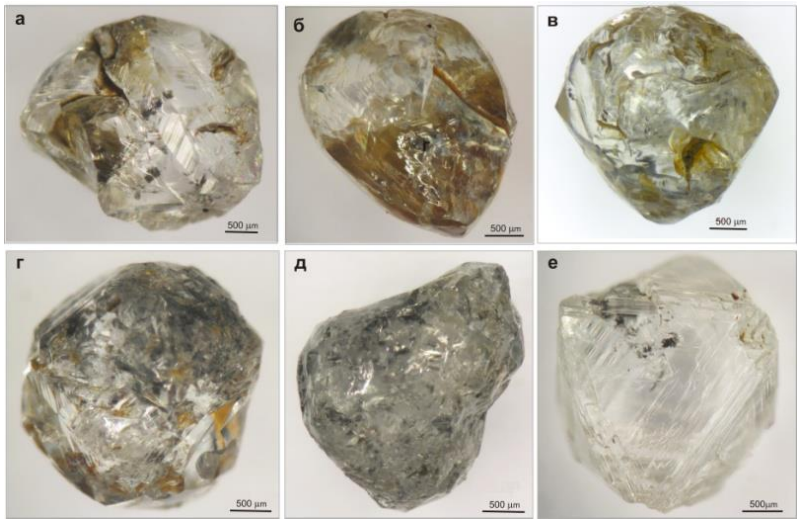


Рисунок 1. Кристаллы алмаза из туфогенно-осадочных пород карнийского яруса Булкурской антиклинали в верховьях р. Лены: (а-в) – додекаэдроиды алмаза с глубокими шрамами на поверхности, заполненными продуктами ожелезнения; (г-д) - алмазы V-VII разновидности с множественными черными включениями; (е) – бесцветный октаэрический кристалл алмаза с полицентрически растущими гранями.

2. Результаты исследования

В исследованных алмазах минеральные включения встречаются крайне редко и в основном они представлены графитом, сульфидами или неопределяемым визуально темноцветным материалом, захваченным кристаллом на разных этапах роста. В додекаэдрическом кристалле алмаза 8033 методом Рамановской спектроскопии диагностировано единичное включение граната in-situ (Рисунок 2). Анализ химического состава, выведенного на поверхность участка включения граната показал следующее содержание основных компонентов (масс. %): SiO_2 - 38,8; TiO_2 - 0,43; Al_2O_3 - 22,8; Cr_2O_3 - 0,03; FeO - 19,5; MnO - 0,46; MgO - 8,84; CaO - 9,30; Na_2O - 0,35. При сравнении с гранатами из алмазов северных россыпей Якутии [4,5] данное включение относится к большинству алмазов эклогитового типа, у которых отмечено низкое содержание MnO (0,2–0,4 масс. %).

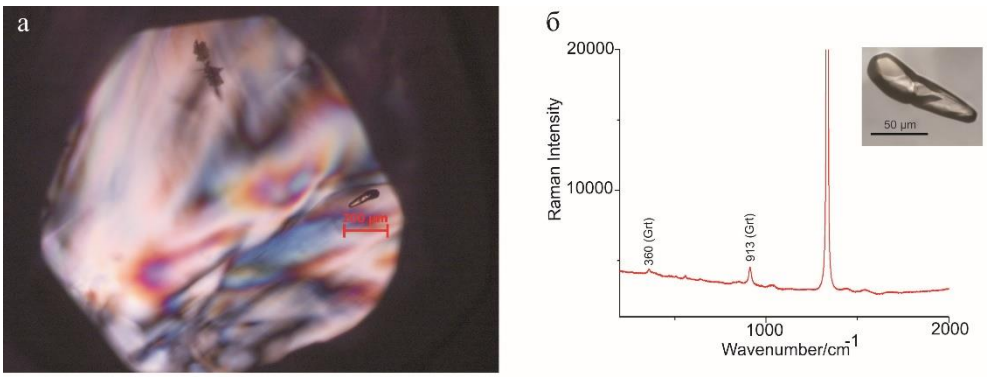


Рисунок 2. Образец 8033 (I разновидность): а - фото пластины алмаза, вырезанного по [011] при скрещенных николях; б - КР спектр включения граната

В центральной ростовой зоне додекаэдрического кристалла алмаза Кар-15 зафиксированы множественные силикатные микровключения моноклинного пироксена и граната в ассоциации с наноразмерными полифазными кристалло-флюидными включениями (Рисунок 3).

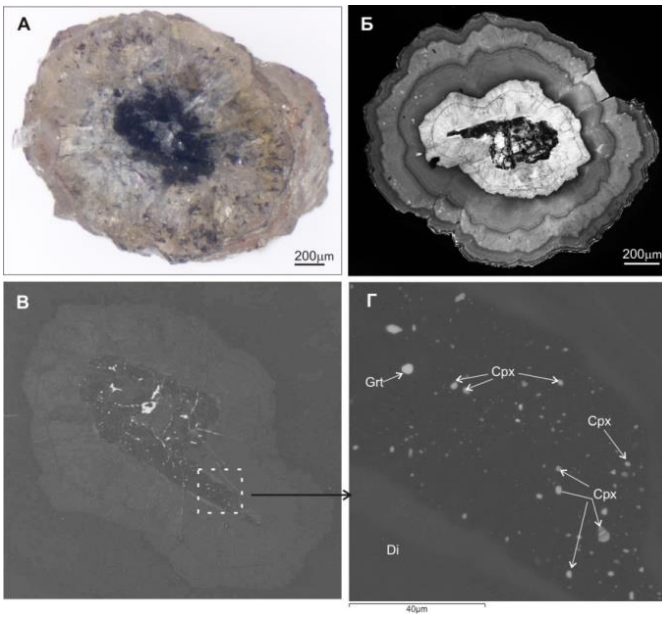


Рисунок 3. Общий вид пришлифованного кристалла алмаза Кар-15 (участок Булкур, низовья р. Лены) (А); (Б) – изображение в катодолюминесцентном излучении; (В) – изображение центральной части кристалла в излучении обратно-рассеянных электронов; (Г) – увеличенный фрагмент зоны концентрации включений (В) (Cpx – клинопироксен; Ga – гранат).

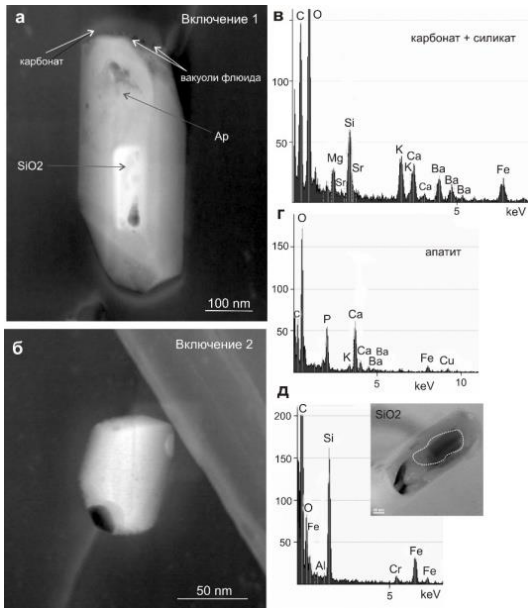


Рисунок 4. ПЭМ изображения наноразмерных полиминеральных включений в образце алмаза Кар-17, представленных апатитом (Ap), Sr, Ba-содержащим карбонатом, (Mg, Fe, K)-содержащим силикатом и флюидом (а-б). (в-д) - энергодисперсионные спектры фаз.

Включения имеют чрезвычайно мелкие размеры, не превышающие 5 микрон, округлую форму, иногда проявляется кристаллографическая огранка. По химическому составу они представлены моноклинным пироксеном, гранатом и слюдой. Частично включенияизменены, о чем свидетельствует присутствие хлорита и других не диагностированных фаз. Химический состав гранатов и пироксенов варьирует в незначительных пределах. Включения альмандин-гроссулярового граната относятся к лерцолитовому парагенезису и характеризуются низким содержанием Cr_2O_3 (1,5 вес. %), типичным для этой ассоциации количеством CaO (около 4,43 вес. %), FeO 15,5 вес. % и MgO (14,9 вес.%). Пироксены по химическому составу разделены на две группы по содержанию Na_2O. К первой отнесены пироксены, характеризующиеся

относительно высоким содержащием жадеитового минала (Na_2O – 3,6 – 4,8 масс. %), повышенным содержанием FeO, и устойчивой примесью Cr_2O_3 (около 1 масс. %). В составе второй группы пироксенов содержание Na_2O не превышает 1 масс. %. В ассоциации с гранатом и клинопироксеном идентифицированы ильменит (TiO_2 - 49,1масс. %; FeO – 42,1 масс. %; Cr_2O_3 – 0, 98 масс. %; MnO – 4,89 масс. %; MgO – 2,87 масс. %) и слюда с примесью бария (BaO 3,0 - 4,1 мас %). Это является первой находкой Ba-содержащей слюды в алмазе. В ассоциирующих с ними полифазных образованиях встречены наноразмерные фазы карбонатов, апатита, слюды и флюида. В алмазе V-VIIразновидности Кар-17 ПЭМ исследованиями зафиксированы наноразмерные полифазные включения, представленные Ba, Sr, Ca- карбонатами, SiO_2 (возможно, коэситом), апатитом, слюдой, Mg, Fe, K - силикатом (не диагностирован) и множественными вакуолями флюида (рисунок 4). В этом образце также отмечен аморфный кремнезем. Эти включения аналогичны включениям в алмазах данного типа из других северных россыпей Якутии [6].

Общее содержание азота в исследованных алмазах первойразновидностипревышает 900 ppm, а степень агрегации азота определяется средними значениями около 32 % B1. В алмазах V-VII разновидности зафиксированы колебания общего содержания азота от 1150 до 1800 ppm, причем наблюдается увеличение количества азота от центра к периферийной части кристалла. Отмечено, что примесь азота в этих алмазах находится преимущественно в агрегированной форме. Степень агрегации варьирует от 28 до 37 % B1.

3. Выводы

Различия в составе включений и наборе слагающих их фаз свидетельствуют о том, что кристаллизация захвативших эти включения алмазов происходила в минералообразующих средах разного состава. Наличие включений, обогащенных Al, Fe, Ba, Sr и K, в алмазах карнийского яруса является свидетельством субдукционных процессов. Сравнение их с включениями в алмазах из кимберлитовых тел Якутии позволяет выявить их индивидуальность и предположить о существовании, по крайней мере, двух типов источника описанных алмазов более древнего возраста. Наши оригинальные исследования включений в алмазах карнийского яруса имеют важное значение для общего понимания перспектив алмазоносности северо-восточной части Сибирского кратона.

4. Благодарности

Работа выполнена в рамках госзаданий ИГМ СО РАН, ИГАБМ СО РАН и при частичной финансовой поддержке проектов РФФИ18-05-70063 и 18-45-140027 р_а.

5. Литература:

[1] Afanas’ev, V.P., Lobanov, S.S., Pokhilenko, N.P., Koptil', V.I., Mityukhin, S.I., Gerasimchuk, A.V., Pomazanskii, B.S., Gorev, N.I. Polygenesis of diamonds in the Siberian Platform // Russian Geology and Geophysics, 2011, vol. 52, no. 3, pp. 259-274.

[2] Orlov, Yu.L. Mineralogy of diamond. Moscow: Nauka, 1973, 264 pp.

[3] Wirth, R. Focused Ion Beam (FIB): a novel technology for advanced application of micro- and nanoanalysis in geosciences and applied mineralogy // Eur. J. Miner., 2004, v. 16, p. 863-876.

[4] Sobolev, N.V., Yefimova, E.S., Koptil, V.I. Mineral inclusions in diamonds in the Northeast of the Yakutian diamondiferous province // Proc. VII Int. Kimb. Conf. / Eds. J.J. Gurney, J.L. Gurney, M.D. Paskoe, S.H. Richardson. V. 2. Cape Town, 1999, pp. 816-822.

[5] Sobolev, N.V. Deep inclusions in kimberlites and the problem of the composition of the upper mantle. Novosibirsk: Nauka, 197, 264 pp.

[6] Logvinova, A.M., Wirth, R., Tomilenko, A.A., Afanas’ev, V.P., Sobolev, N.V. Thephase composition of crystal-fluid nanoinclusions in alluvial diamonds in the Northeastern Siberian Platform // Geology and Geophysics, 2011, vol. 52, no. 11, pp. 1634-1648.

УДК 550.81:553.81

ВЫЯВЛЕНИЕ ШЛИХОМИНЕРАЛОГИЧЕСКИХ АНОМАЛИЙ В ВЕРХНЕПАЛЕОЗОЙСКИХ ОСАДОЧНЫХ ТОЛЩАХ ПУТЕМ ОЦЕНКИ ИНФОРМАТИВНОСТИ ГРУБООБЛОМОЧНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

Илья Овчинников
НИГП АК «АЛРОСА» (ПАО), Чернышевское шоссе 16, г. Мирный, 678175, Россия

IDENTIFICATION OF MINERALOGICAL ANOMALIES IN UPPER PALEOZOIC SEDIMENTARY STRATA BY ASSESSING THE INFORMATION CONTENT OF COARSE-GRAINED SEDIMENTS.

Ilya Ovchinnikov
NIGP ALROSA PJSC, 16 Chernyshevskoe Hwy., Mirny, 678175, Russia

Annotation. The problem of searching diamond deposits is problem has been particularly acute in recent years. Because of this, diamond mining companies are beginning to explore more complex areas. Mineralogical concentrate is one of the most important method for exploring composition of ancient reservoirs and sedimentation conditions. Recalculating the weight of heavy mineral association helps to isolate mineralogical signals from diamond pipes.

1. Введение

Шлиховой метод является одним из важнейших способов получения информации о составе аллювия и пород, развитых в бассейнах питания рек, и одним из наиболее достоверных методов прямых поисков месторождений полезных ископаемых [1]. Благодаря данному методу были во второй половине XX века были открыты крупнейшие месторождения алмазов в России. Однако в настоящее время возникает потребность изучения более геологически сложных территорий. В 2015 году при заверке аэромагнитной аномалии в центральной части Вилюйско-Мархинской зоны в бассейне р. Сюльдюкар под толщей верхнепалеозойских отложений было выявлено новое алмазоносное кимберлитовое тело. Открытие первого в Ыгыаттинском алмазоносном районе Сюльдюкарского кимберлитового тела подтвердило высокий потенциал закрытых территорий ВМЗ и определило основное направление геологоразведочных работ АК «АЛРОСА» (ПАО), - поиски погребенных месторождений алмазов [2]. Работая с перекрывающими отложениями, нужно проводить палеогеографические построения и оценку информативности осадков, с целью выделения участков сноса индикаторных минералов кимберлитов. Основным инструментом оценки информативности является изученные аллотигенной составляющей тяжелой фракции шлиховых проб, отбираемых при проходке скважин. *Исходными данными для настоящего исследования послужили результаты полуколичественного минералогического анализа, проведенными в Центральной аналитической лаборатории НИГП АК «АЛРОСА» (ПАО).*

2. Методика и анализ:

Верхнепалеозойские отложения Ыгыаттинского района, развитые в пределах восточного борта Тунгусской синеклизы залегают на разных горизонтах терригенно-карбонатных пород нижнего палеозоя (Рисунок 1). Отложения ботуобинской ($C_{2\text{-}3}$bt), ахтарандинской (P_1ah) и боруллойской (P_2br) свит являются основными коллекторами индикаторных минералов на территории, поэтому их изучение представляет наибольший интерес для локализации участков предполагаемого сноса ИМК и оценки информативности грубообломочных отложений.

В ходе анализа минералогического состава проб, залегающих непосредственно на кимберлитовмещающем цоколе (КВЦ) установлено, что тяжелая фракция (ТФ) представлена чаще всего следующими минералами: пиритом, сидеритом, ильменитом и альмандином, при

этом значительная доля веса тяжёлой фракции в пробах приходится на аутигенные минералы (пирит и сидерит).

Учитывая, что при полуколичественном минералогическом анализе даётся количественная оценка содержания минералов ТФ, а не весовая, был произведён перерасчёт веса тяжёлой фракции при помощи объемно-весового метода Кухаренко по формуле (1):

$$(1)\quad \boldsymbol{m}_{\text{мин}} = \frac{\text{М}_{\text{тф}} * \rho_{\text{мин}} * \%_{\text{мин}}}{\sum_{n=1}^{m} \rho_n * \%_n}$$

$\boldsymbol{m}_{\text{мин}}$ – масса изучаемого минерала

$\text{М}_{\text{тф}}$ – масса тяжелой фракции

$\rho_{\text{мин}}$ – плотность изучаемого минерала

$\%_{\text{мин}}$ – процентное содержание изучаемого минерала

ρ_n – плотность минерала, входящего в состав ТФ пробы

$\%_n$ – процентное содержание минерала, входящего в состав ТФ пробы

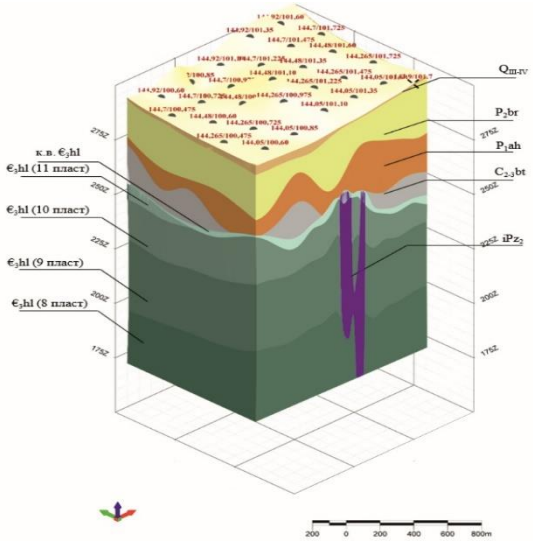


Рисунок 1. Геологическая модель тр. Сюльдюкарская

Из дальнейших расчётов были удалены аутигенные минералы. По рассчитанным весовым процентам был проведен анализ территориальных закономерностей распределения аллотигенных минералов, в результате которого выявлено, что наиболее информативными являются отложения ботуобинской свиты, особенно аллювиальная фация крупных русловых рек. В указанных осадках вес аллотигенных минералов ТФ составляет более 10 грамм на 10-литровую пробу.

Исследуемые ИМК входят в состав тяжелой фракции терригенных коллекторов вместе с их гравитационными спутниками. Ранее Антипиным И.И. [3] были исследованы зависимости весовых содержаний ИМК в составе ТФ в ореолах от известных кимберлитовых тел. Результаты исследований представлены в таблице 1.

Таблица 1

Основные характеристики ореолов в некоторых кимберлитовых телах юга ЯАП (Антипин И. И.)

Кимберлитовые трубки	Название кимберлитовых тел		1	2	3	4	5	6
	Площадь сечения м^2		123 000	12 100	16 000	13 800	4 000	1 400
	Среднее содержание ИМК (ро + ри) (вес%)		1,88	0,29	0,78	1,79	0,25	0,29
	Минералогическая продуктивность (вес% х м^2)		231 240	3 509	12 480	24 702	1 000	406
Ореолы от кимберлитовых трубок	Максимальное количество ИМК в пробе объемом 10 литров на удалении от трубки в км.	до 0,5	Н.д.	197	44292	1393	117	
		0,5 – 1	Н.д.	93	47300	25445	462	3572
		1 – 2	54802	1060	1687	495	203	64
		2 – 3	1654	Е.зн.	929	47	36	18
		3 – 4	2002		42	19	96	
		4 – 5	1619		Е.зн.	11	Е.зн.	
		5 – 6	246		Е.зн.	Е.зн.		
		6 – 7	747		Е.зн.	Е.зн.		
		7 – 8	137		Е.зн.	Е.зн.		
		8 – 9	70		Е.зн.	Е.зн.		

		9 - 10	170		Е.зн.	Е.зн.		
	Максимальная весовая доля ИМК в ТФ (мг/г) на удалении от трубки в км.	до 0,5	Н.д.	112	977	742	7	90
		0,5 – 1	Н.д.	58	303	990	16	41,2
		1 – 2	950	60	356	162	35	0,03
		2 – 3	748	<4	52	284	7	0,002
		3 – 4	567		21	16	4	
		4 – 5	539		4	8	<2	
		5 – 6	174		8	8		
		6 – 7	278		4	4		
		7 – 8	25		2	2		
		8 – 9	39		<1	1		
		9 - 10	64		<1	<1		

Примечания: Н.д. – данные отсутствуют; Е.зн. – единичные знаки

Для выявления шлихоминералогических аномалий на территории Ыгыаттинского алмазоносного района была использована методика Антипина И.И., суть которой заключающегося в расчете процентных отношений веса ИМК к весу аллотигенных минералов. Известно, что концентрации ИМК относительно ТФ максимальны в близи кимберлитового тела, а при удалении от коренного источника постепенно снижаются.

Помимо расчета веса аллотигенных минералов, необходимо провести расчет расчет веса отдельных зерен ИМК разных минералогических классов, через удельный вес и теоретический объем зерна (за форму зерна принят объём шара). Данные представлены в таблице 2.

Таблица 2

Основные характеристики индикаторных минералов для расчета аномалий

Расчетная характеристика	Гранулометрический класс				
	-8+4	**-4+2**	**-2+1**	**-1+0,5**	**-0,5**
Средний размер зерна (мм)	6	3	1,5	0,75	0,375
Средний объем зерна ($мм^3$)	113	14,1	1,77	0,221	0,0276
Масса зерна пиропа (мг)	396,60	49,50	6,20	0,78	0,10
Масса зерна пикроильменита (мг)	525,45	65,57	8,23	1,03	0,13
Масса зерна хромшпинелида (мг)	497,20	62,04	7,79	0,97	0,12

Результаты проведенных расчетов вынесены на карту перспективного участка «В-1» (Рисунок 2). На представленной карте можно заметить, что точки с повышенными концентрациями ИМК тяготеют к возвышенностям, следовательно, коренные источники ИМК могут быть расположены именно там, потому как иным образом возрастание концентраций ИМК при движении на возвышенности объяснить затруднительно.

3. Выводы

1. На территории Ыгыаттинской площади отложения ботуобинской свиты ($C_{2\text{-}3}bt$) являются более информативными, на предмет выявления закономерностей образования древних коллекторов индикаторных минералов кимберлитов.
2. С помощью методики Антипина И.И. представляется возможность проведения оценки грубообломочных отложений с целью выявления более контрастных аномалий содержаний ИМК в пробах, что в свою очередь может быть использовано как метод оперативного прогноза геологоразведочных работ при поисках кимберлитовых тел.

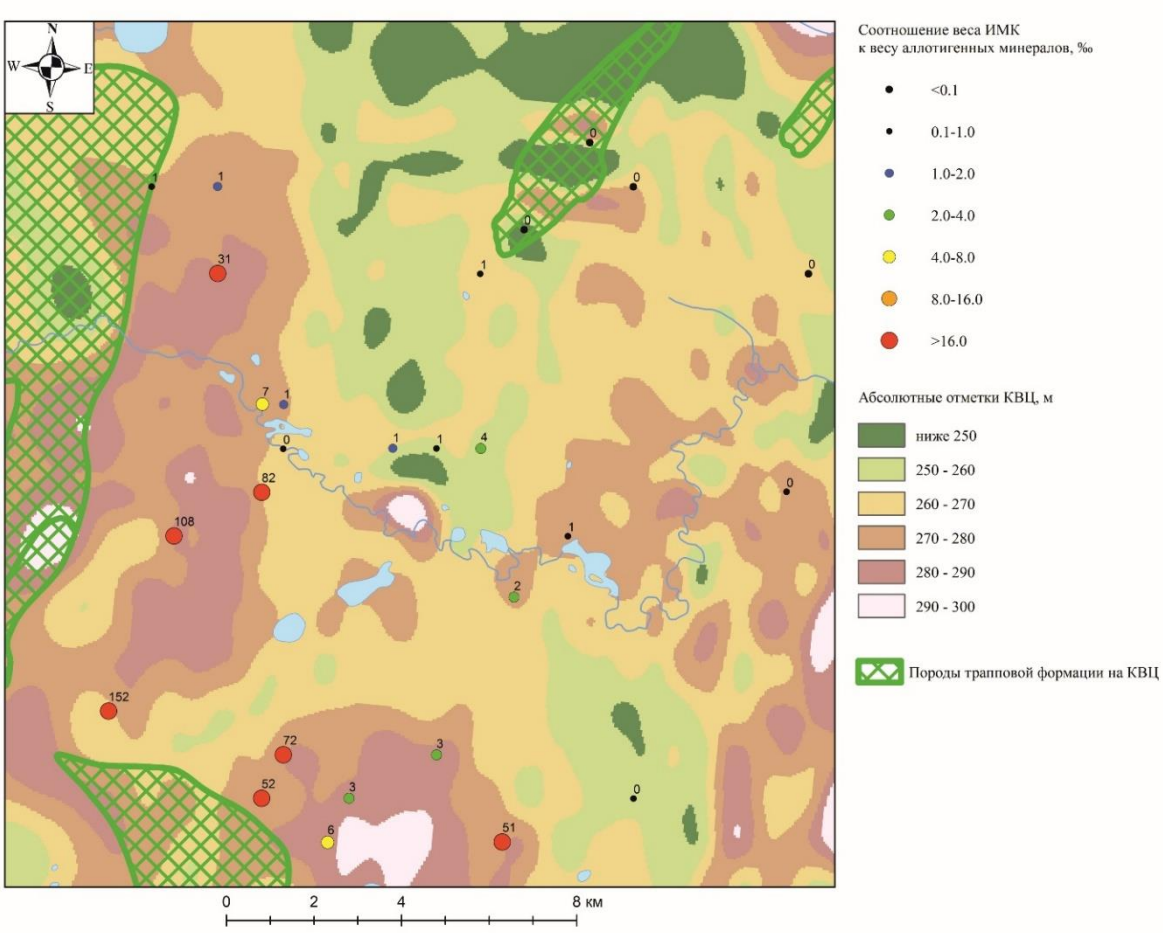


Рисунок 2. Карта перспективного участка «В-1» с выделенными шлихоминералогическими аномалиями содержаний ИМК относительно веса аллотигенных минералов.

4. Литература:

[1] Bochneva A.A. Statistical models of polymineral fields in intermediate collectors of placer diamonds. PhD thesis, Moscow, 2005, 123 pp.

[2] Maltsev M.V., Tolstov A.V., Starkova T.S., Ivanov A.S. Features of the matter of the Suldykar field kimberlites (Western Yakutia), [Proc. of Academy of science Saha Republic (Yakutia) “Science and education”], 2017, no. 4 (88), pp. 37-43

[3] Antipin I.Iv., Antipin I.In., Tarasov I.O. Main aspects of the methodology and technology of processing of mineral concentrate materials in the search for deposits in closed areas [Proc. of Academy of science Saha Republic (Yakutia) “Science and education”], 2006, no. 4, pp. 24-30.

УДК 552.323 (571.56)

КИМБЕРЛИТЫ ТРУБКИ ИМ. А.П. СМЕЛОВА

Николай Опарин[1], Олег Олейников[1], Николай Похиленко[2], Людмила Похиленко[2],
Мария Ощепкова[1], Константин Бекренев[3], Аркадий Андреев[3]
1 Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, пр. Ленина, 39, г. Якутск, 677000, Россия
2 Институт геологии и минералогии имени В.С. Соболева СО РАН, пр. Академика Коптюга, 3, г. Новосибирск, 630090, Россия
3 АО «Якутскгеология», ул. Кальвица, 24, г. Якутск, 677009, Россия

KIMBERLITES OF THE A.P. SMELOV PIPE

Nikolay Oparin[1], Oleg Oleinikov[1], Nikolay Pokhilenko[2], Ludmila Pokhilenko[2],
Mariya Oshchepkova[1], Konstantin Bekrenev[3], Arkadii Andreev[3]
1 Diamond and Precious Metal Geology Institute SB RAS, 39 Lenin Ave., Yakutsk, 677000, Russia
2 V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy, SB RAS, 3 Acad. Koptyuga Ave., Novosibirsk, 630090, Russia
3 JSC "Yakutskgeologiya", 24 Kalvitsa St., Yakutsk, 677009, Russia

Annotation. The first petrography and mineralogy data of the kimberlite pipe named after the outstanding scientist Alexander P. Smelov-named after A. P. Smelov - are presented. The kimberlite body was uncovered by drilling wells JSC "Yakutskgeologiya" in 2018, 22 km south of the previously opened Manchary pipe (Central Yakutia).

1. Введение

Аэромагнитная аномалия выделена Бекреневым К.А. (АО Якутскгеология) в 2017 году и детализирована наземной магнитной съемкой масштаба 1:5000. В 2018 году при заверке аномалии буровыми работами АО Якутскгеология было вскрыто кимберлитовое тело, заверенное десятью скважинами. Тело расположено в 1,5 км от левого борта р. Атырдах, правого притока р. Тамма, характеризуется слабой магнитной аномалией и пространственно относится к Хомпу-Майскому кимберлитовому полю. Кимберлитовая трубка названа в честь выдающегося ученого, доктора геолого-минералогических наук Александра Павловича Смелова – им. А. П. Смелова, руководившего работами по изучению и обогащению пород первых кимберлитовых трубок Хомпу-Майского поля. В результате проведенного исследования установлены первые алмазы в кимберлитах Центральной Якутии [4]. В настоящей работе рассматриваются петрографические особенности и минералогия кимберлитовых пород, слагающих новое кимберлитовое тело.

2. Общая характеристика кимберлитов

Кимберлитовая трубка им А. П. Смелова перекрыта юрскими терригенными толщами мощностью 150 м и одной из скважин прослежена на глубину до 350 м. Кратерная часть трубки, в отличии от других тел Хомпу-Майского поля, менее эродирована. Контуры трубки не определены полностью в силу малого количества буровых скважин, а магнитная аномалия оконтуривает карст, образованный в краевой части тела.

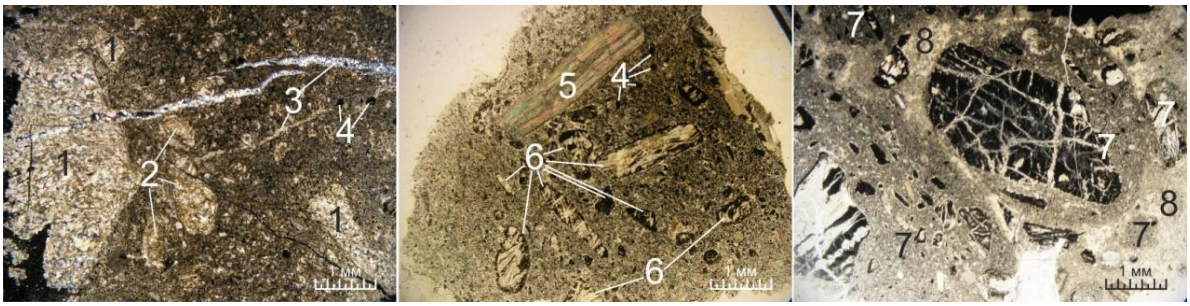
Верхние горизонты трубки (Рисунок 1 А) сложены кимберлитовой брекчией и порфировым кимберлитом, между которыми существуют постепенные переходы. Породы интенсивно карбонатизированы на глубину около 45 м от верхней части диатремы, что приводит в отдельных случаях к уничтожению их структурных признаков. В верхних горизонтах трубки присутствуют ксенолиты осадочных пород карбонатного состава, карбонатизированные псевдоморфозы серпентина по оливину, макро-, мегакристаллы граната, пикроильменита и флогопита. Ксенолиты осадочных породимеют размер от 0,2 до 5 см и представлены обломками неправильной формы. Содержание ксеногенного материала составляет от 10 до 30 %, в

результате чего текстура породы становится брекчиевой. Кимберлитовые брекчии с массивной текстурой цемента залегают на глубине до 3 м от верхней части диатремы, постепенно переходя в крупнопорфировый кимберлит с массивной текстурой основной массы. Псевдоморфозы серпентина по оливину размером от 0,2 до 3 см иногда карбонатизированы и имеют неправильную или округлую форму. Размеры макрокристов граната варьируют от 0,5 до 1 см, в отдельных случаях достигая 4 см (мегакристаллы). Макрокристаллический пикроильменит имеет диапазон размеров от 0,1 до 1 см, а также встречаются мегакристы этого минерала размером от 2 до 4 см. Макрокристы флогопита имеют размер от 0,2 до 1 см. Основная масса пород верхних горизонтов сложена преимущественно серпентином и карбонатом. Также в породе отмечаются редкие вкрапленники пирита размером от 0,2 до 1 см и прожилки этого минерала мощностью от 0,5 до 1 см.

Глубже 45 м от поверхности диатремы трубка сложена наименее измененными вторичными процессами порфировым кимберлитом, кимберлитовой брекчией с массивной текстурой цемента и автолитовой кимберлитовой брекчией, между которыми также, как и в случае с измененными породами верхних горизонтов, существуют постепенные переходы.

Порфировый кимберлит (Рисунок 1 Б) имеет массивную текстуру и порфировую структуру, обусловленную наличием в породе псевдоморфоз серпентина по оливину неправильной формы и размером от 0,2 до 3,5 см. Количество ксеногенного материала, представленного обломками осадочных карбонатных пород, составляет менее 10 %. Среди крупных компонентов также можно выделить макро- и мегакристаллы пикроильменита (0,2–2,5 см) и флогопита (0,2–4 см). Основная масса порфирового кимберлита с однородной структурой сложена преимущественно серпентином, карбонатом и флогопитом. Содержание рудных минералов составляет 10–20 %, на отдельных участках – 40–50 %.

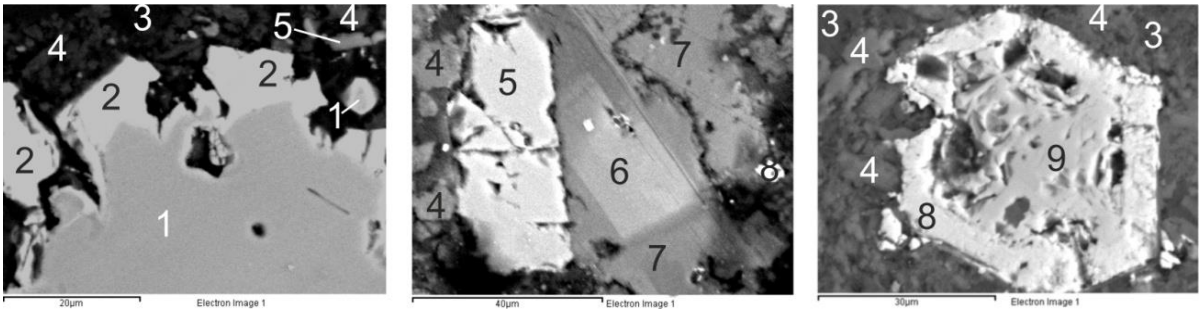
Кимберлитовая брекчия с массивной текстурой цемента имеет порфировую структуру и брекчиевую текстуру. Содержание обломочного материала 10–35 %. Основными крупными компонентами являются ксенолиты осадочных карбонатных пород, представленные обломками неправильной формы размером 0,2–30 см, единичные ксенолиты метаморфических пород (0,5–0,7 см) и псевдоморфозы серпентина по оливину темно-зеленого цвета размером от 0,2 до 4 см. Также в породе присутствуют макро- и мегакристаллы пикроильменита (0,2–4 см), флогопита (0,2–1,5 см.) и граната неправильной и удлиненной формы (1–3,5 см), окруженные келифитовой каймой мощностью 0,05 см. Основная масса серпентин-карбонат-флогопитового состава имеет однородную структуру, содержание рудных минералов составляет 15–20 %. Породу пронизывают редкие карбонатные прожилки.



А Б В

Рисунок 1. Микрофотографии пород кимберлитовой трубки им. А.П.Смелова:
А) карбонатизированная кимберлитовая брекчия, николи скрещены; Б) порфировый кимберлит, николи параллельны; В) автолитовая кимберлитовая брекчия, николи параллельны. Цифрами обозначены: 1 – ксенолиты карбонатных пород; 2 –карбонатизированные псевдоморфозы серпентина по оливину; 3 – карбонатные прожилки; 4 – рудные минералы; 5 – макрокристаллический флогопит; 6 – псевдоморфозы серпентина по оливину; 7 – автолиты; 8 – связующая масса.

Автолитовая кимберлитовая брекчия (Рисунок 1 В) содержит около 10–20 % ксеногенного материала (в отдельных блоках 30–40 %) и имеет порфировую структуру и автолитовую текстуру. Основные крупные компоненты в ней представлены псевдоморфозами серпентина по оливину размером от 0,2–1 см, обломками осадочных пород карбонатного состава неправильной формы от 0,2–15 см, макро- и мегакристаллами пикроильменита (0,3–4 см), флогопита (0,01–1 см) и единичными макро- и мегакристаллами граната (0,5–2 см). Брекчия на 40 % состоит из автолитов (от 0,2 до 5 см) и на 60 % из связующей массы, на отдельных участках эти соотношения составляют 60 и 40 % соответственно. Форма автолитов от неправильной до шарообразной. Их цветовая гамма макроскопически меняется от коричневого до серого. Встречаются как ядерные, так и безядерные автолиты. *Ядерные автолиты:* ядра представлены ксенолитами осадочных пород, псевдоморфозами серпентина по оливину и мегакристаллами пикроильменита, структура порфировая. Размеры ядер 0,5–3 см. *Безъядерные автолиты* размером от 0,2 до 2 см имеют порфировую структуру, обусловленную наличием в породе псевдоморфоз серпентина по оливину. Основная масса автолитов имеет однородную структуру и серпентин-карбонат-флогопитовый состав. Отмечается высокое содержание рудных минералов, представленных пикроильменитом с перовскитовой каймой (10–20 мкм) (Рисунок 2 А), атолловидными агрегатами (до 50 мкм), ядро (до 30 мкм) которых сложено хромшпинелидом, а кайма титаномагнетитом (до 25 мкм). Также встречаются скопления мелких (до 15 мкм) атолловидных агрегатов, в которых ядро (10 мкм) и кайма (2–3 мкм) представлены одинаковым по составу магнетитом. Наблюдаются редкие резорбированные зерна рутила (50 мкм), апатита (до 40 мкм) (Рисунок 2 Б). Связующая масса автолитовых брекчий имеет серпентин-карбонатный состав. Карбонат чаще всего наблюдается в виде ксеноморфных выделений, реже в виде идиоморфных кристаллов размером до 120 мкм. Флогопит встречается редко, в основном образует небольшие скопления мелких пластинок. Содержание рудных минералов в связующей массе автолитовой брекчии меньше, чем в основной массе автолитов. Здесь они также представлены пикроильменитом и атолловидными агрегатами хромшпинелида, окруженными каймой титаномагнетита (Рисунок 3 В). Наблюдаются единичные зерна апатита, циркона и бадделеита. Постмагматические процессы проявлены в виде карбонатных прожилков. Часть флогопита изменена гипергенными процессами.



А Б В

Рисунок 2. Минералы мезостазиса кимберлитовых пород трубки им. А.П. Смелова:
А) 1 –пикроильменит, 2 – перовскит, 3 – серпентин, 4 – кальцит, 5 – апатит;
Б) 6 – флогопит, 7 – бариевый флогопит;
В) 8 – магнетит, 9 – хромшпинелид.

3. Химический состав минералов

Представительные анализы минералов кимберлитовых пород трубки им. А.П. Смелова приведены в таблице 1.

Серпентин имеет относительно выдержанный состав. Из примесей постоянно отмечается присутствие FeO (от 5,2 до 5,6 %).

Карбонатные минералы представлены кальцитом, как без дополнительных компонентов, так и с примесью MgO (0,3–0,6 %), характерной в основном для крупных (200 мкм) идиоморфных зерен; редко в минерале присутствует FeO (0,3 %).

Для слюды основной и связующей массы характерно наличие обратной по содержанию BaO зональности (Рисунок 2, б). Центральные части зерен содержат до 10,1 % BaO. Для флогопита характерно наличие примеси оксида титана (1,3–1,7 %). С увеличением содержания BaO в слюде уменьшается количество K_2O. Такая зависимость обусловлена тем, что в минерале барий изоморфно замещает калий по схеме: $Ba^{2+}Al^{3+} \rightarrow K^{+}Si^{4+}$. Подобные флогопиты с обратной по содержанию BaO зональностью были диагностированы в кимберлитах трубки Манчары [2].

Резорбированные зерна апатита встречаются в мезостазисе вместе с лейстами флогопита и для них характерно наличие примеси SrO (2,7–2,9 %), что существенно ниже, чем в трубке Манчары [1]. Содержание фтора в апатите не превышает 2,3 %.

Среди рудных минералов в основной массе магнетит встречается в виде кайм атолловидных агрегатов, окружающих ядра, сложенные магнетитом или хромшпинелидами (до 42 % Cr_2O_3) (Рисунок 3 В). Подобные концентрации Cr_2O_3 характерны для хромшпинелидов основной массы кимберлитовых брекчий алмазоносных среднепалеозойских трубок Якутии [3]. Все проанализированные зерна хромшпинелидов содержат TiO_2, концентрации которого не зависят от количества в минерале Cr_2O_3.

Таблица 1

Представительные химические минералов пород трубки им. А.П. Смелова, масс. %.

Окислы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
SiO_2	42,57	41,16			30,64	39,94					0,75
TiO_2					1,67	1,32			7,17	10,37	14,50
Al_2O_3	1,80	2,33			17,87	10,91			5,67		
Cr_2O_3									41,98		
FeO	5,23	5,60		0,27	3,91	6,45			31,17	80,52	75,91
CaO			55,68	53,59			54,75	53,59			
MgO	38,47	38,04	0,59	0,26	21,89	23,60			11,83	2,05	0,96
BaO					10,12						
K_2O					6,95	11,06					
F					3,44	1,31	2,25	1,71			
P							40,16	39,94			
Sr							2,69	2,86			
Сумма	88,07	87,12	56,27	54,11	96,48	94,58	99,85	98,10	97,81	92,93	92,12

Примечание: 1,2 – серпентин; 3,4 – кальцит; 5, 6 – флогопит; 7,8 – апатит; 9 – хромшпинелид; 10,11 – магнетит.

4. Выводы

Таким образом, петрографическими и минералогическими исследованиями подтверждено, что в пределах Хомпу-Майского кимберлитового поля, вскрыта трубка, сложенная кимберлитовой брекчией, порфировым кимберлитом и автолитовой кимберлитовой брекчией между которыми существуют постепенные переходы, связанные, по-видимому, с различными P-T условиями их формирования. Первичный набор минералов и текстурно-структурные характеристики пород нового кимберлитового тела близки к таковым ранее открытой трубки Манчары Хомпу-Майского поля.

5. Благодарности

Работа выполнена по государственному заданию ИГАБМ СО РАН при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, проект НИР 0381-2019-003.

6. Литература:

[1] Oparin N.A., Oleinikov O.B., Baranov L.N. Apatite from the Manchary kimberlite pipe (Central Yakutia) // Arctic and Subarctic Natural Resources, 2020, vol. 25, no. 3, pp. 15—26.

[2] Oparin, N.A., Oleynikov, O.B., Babushkina, S.A. Phlogopite from the Manchary and Aprelskaya pipes (Kompu-Mayskoe kimberlite field, Central Yakutia) //Otechestvennaya geologiya, 2017, no. 5, pp. 37—44.

[3] Pokhilenko, N.P., Sobolev, N.V., Kuligin, S.S., Shimizu, N. Peculiarities of distribution of pyroxenite paragenesis garnets in Yakutian kimberlites and some aspects of the evolution of the Siberian craton lithospheric mantle // Proc. 7th Int. Kimberlite Conf., V. 2, Red Roof Design, Cape Town., 1999, pp. 689—698.

[4] Smelov, A.P. Diamond "swallow" Manchary // Nauka iz pervih ruk, 2012, no. 3(45), pp. 20—25.

УДК 553.81+551.83

ХАРАКТЕРИСТИКА БОТУОБИНСКОЙ СВИТЫ В ПРЕДЕЛАХ СЮЛЬДЮКАРСКОГО КИМБЕРЛИТОВОГО ПОЛЯ (СКП)

Дмитрий Остапенко
НИГП АК «АЛРОСА» (ПАО), Чернышевское шоссе 16, г. Мирный, 678175, Россия

(CHARACTERISTIC OF THE BOTUOBINSKAYA FORMATION OF THE SULDUKAR FIELD)

Dmitrii Ostapenko
NIGP ALROSA PJSC, 16 Chernyshevskoe Hwy., Mirny, 678175, Russia

Annotation. Based on the study of the core of the wells, correlation schemes were constructed, stratigraphic boundaries and the area of distribution of rocks of the Botuobinskaya Fm. within the Syuldyukar kimberlite field were determined. Facies composition of rocks was studied and a lithological-facies scheme of the formation conditions of the basal horizon of the Fm. was drawn and conclusions about the history of its formation were made.

1. Введение

В 2015 при заверке геофизической аномалии Т-54/14, расположенной в бассейне р. Сюльдюкар, было вскрыто кимберлитовое тело «трубка Сюльдюкарская». В составе перекрывающих кимберлитовмещающий цоколь образований выделяются породы верхнего палеозоя, мезозоя и трапповой формации раннемезозойского возраста. Породы верхнего палеозоя являются наиболее важным коллектором индикаторных минералов кимберлитов, в связи с чем, большое внимание уделено их изучению. Отложения ботуобинской свиты (C2-3bt) являются наиболее древними среди них и занимают положение подошвы. Основная цель работы - определение условий формирования свиты, выделение фациальных обстановок накопления отложений и основных путей миграции материала на территории, включающей вскрытое кимберлитовое тело. Были собраны материалы по керну скважин, пройденных Вилюйской ГРЭ за период с 2015 по 2020 г. по сети 1х0,5 км. При исследовании разрезов верхнепалеозойских отложений использованы геолого-геофизические материалы по 220 скважинам. По результатам проведенных исследований составлены схемы корреляции по буровой линии № 146 (ориентированной в широтном направлении), по Западной магистрали (скважины № 96-98, линии № 148-139), по Восточной магистрали (скважины № 99,75-106, линии № 145,5-144,5) (ориентированы ортогонально к линии № 146) и литолого-фациальные разрезы по керну скважин буровых линий: № 146, № 145, № 141, вскрывших наиболее полные разрезы исследуемых отложений (всего использованы 58 скважин). По итогу была определена область распространения пород свиты в пределах СКП и сформирована литолого-фациальная схема условий формирования базального горизонта свиты. Расчленение и корреляция разрезов ботуобинской свиты, осуществлялись с применением фациального и фациально-циклического анализов, по методике Жемчужникова и др. [1]. Данный метод был адаптирован для целей работы и в качестве начала цикла седиментации использовалась, граница начала трансгрессии. При проведении фациального анализа особое внимание было уделено следующим генетическим признакам: гранулометрический состав, текстура, типы цемента, степень сортировки, наличие и типы органических остатков, цвет пород, а также породные включения. При характеристике обстановок осадконакопления особое внимание уделялось мощности отложений и парагенетическим связям различных литогенетических типов отложений.

Для уточнения распределения обстановок осадконакопления на начало формирования верхнепалеозойских отложений, использовался рельеф поверхности нижнего палеозоя и остаточные мощности холомолохской свиты, уточнённые с применением диаграмм, ГИС.

2. Литолого-фациальная характеристика ботуобинской свиты

В пределах СКП отложения ботуобинской свиты в наиболее пониженных частях слаборасчленённого рельефа поверхности нижнего палеозоя, со значительным стратиграфическим перерывом подстилаются породами наиболее древнего $V - PZ_1$ структурного яруса чехла, верхняя часть которого представлена холомолохской свитой (Є3hl). Ботуобинская свита в пределах СКП представлена одним простым циклитом, в составе которого выделены макрофации: *пролювиальная*, *делювиальная, русловая малых рек*, *пойменно-старичная, заиливающихся озёрных котловин речных долин, озёрно-болотная*. Мощность свиты изменяется от 0 до 16 м.

Макрофация пролювиальная представлена фациями:

- песчано-гравийными центральной части конусов выноса (гравелиты и песчаники плохой сортировки, как правило светло-серого цвета, слоистость плохо выражена, присутствуют включения разноразмерного растительного детрита);
- песчано-алевритовые переферийной части конусов выноса (алевролиты, песчаники со слабовыраженной горизонтальной, косоволнистой, послойнолинзовидной слоистостью и включением разноразмерного растительного детрита).

Макрофация делювиальная представлена фациями:

- песчано-глинистыми и щебенчатыми склонового выноса (песчаники, алевролиты, гравелиты с включениями галки и щебня разнообразных по составу пород, встречаются конглобрекчии карбонатных пород нижнего палеозоя).

Макрофация русловая малых рек представлена фациями:

- русловых песчаников средне-мелкозернистых, алевритистых и средне-крупнозернистых, гравийно-галечных, ритмичной сортировки, косой однонаправленной слоистости, с мелким растительным детритом.

Макрофация пойменно-старичная представлена фациями:

- песчано-алевритовыми прирусловыми (песчаники мелкозернистые до среднезернистых, алевритистые и алевролиты крупнозернистые с мелкой косой сходящейся слоистостью, редко линзовидной, обогащены мелким растительным детритом, сортировка хорошая);
- плохо сортированными алевро-песчано-гравийно-щебнистыми;
- глинисто-алевритовыми застойных зарастающих стариц (алевролиты крупнозернистые, редко – аргиллиты, углистые, песчанистые, слоистость горизонтальная и линзовидная, иногда пологоволнистая, с обильным растительным детритом плохой сохранности).

Макрофация заиливающихся озёрных водоёмов речных долин представлена фациями:

- алевро-песчаными проточных участков зарастающих озёрных водоёмов (песчаники мелко и среднезернистые, алевролит крупнозернистый с горизонтальной волнистой и линзовидной слоистотью, с обилием обрывков растительности);
- глинисто-алевритовыми застойных участков зарастающих озёрных водоёмов (алевролиты, редко аргиллиты серые, тёмно-серые, беспорядочно слоистые, с обилием растительного детрита, содержащие, редко, конкреции сидерита, пирита).

Озёрно-болотная макрофация сложена фациями:

- углисто-алевритовыми заболоченных участков озёр, торфяных болот и сапропелевых озёр (аргиллиты, алевролиты мелкозернистые, углистые, глинистые, с горизонтальной прямой и волнистой слоистостью);

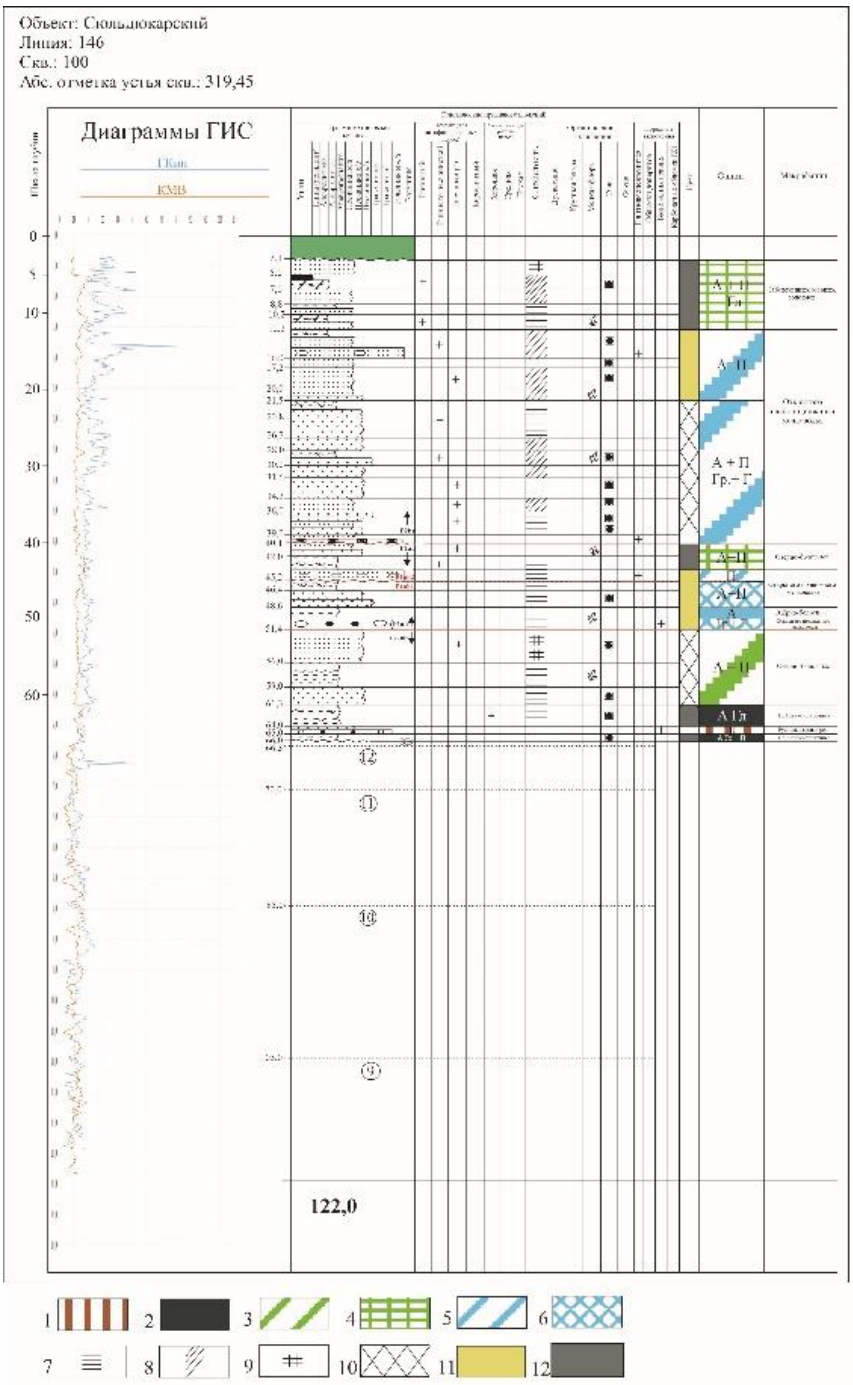


Рисунок 1. Литолого-фациальная колонка разреза верхнепалеозойских отложений по керну скважины 100, буровой линии 146

Фации: 1 –русел малых рек, 2 – пойменно-старичные, 3 –проточных участков зарастающих озёрных водоёмов, 4 –заболоченных озёрных водоёмов аллювиально-дельтовых и прибрежно-морских равнин, 5 –подвижного приустьевого мелководья, 6 – открытого-подвижного мелководья (бары, валы, косы); (буквенными индексами обозначена литология отложений). Текстуры: 7 – горизонтальная прямая слоистость, 8 – косая слоистость, 9 – массивная; Цвет пород: 10 – серый, 11 – жёлто-серый, 12 – тёмно-серый до чёрного.

3. Выводы

Определена область распространения ботуобинской свиты в пределах СКП, выделены её границы и определён литолого-фациальный состав слагающих свиту отложений. На изученном участке породы свиты характеризуются континентальным генезисом, локальным

распространением и сокращёнными мощностями. Увеличения мощности отложений связаны с карстовыми образованиями в нижележащей, преимущественно карбонатной, холомолохской свите. Осадочный материал транспортировался, как правило, короткими временными водотоками в пределах СКП, снос - ближний.

4. Благодарности

Автор выражает искреннюю благодарность старшему научному сотруднику ЛПМС ГРР ОПМ НИГП АК «АЛРОСА» (ПАО) А.А. Храмцову за наставничество и помощь в подготовке материалов.

5. Литература:

[1] Zhemchuzhnicov U.A. The cyclicity of the structure of coal-bearing strata, the periodicity of sedimentation and methods for their study // Proceedings of the GI USSR AS. Co. Ser., 1947, vol. 90, no. 2, pp. 7-16 (in Russian).

УДК 549.621.9:549.211

ОСОБЕННОСТИ СОСТАВА ФЛОГОПИТА ИЗ ПЕРИДОТИТОВ, СЛЮДИТОВ И ЭКЛОГИТОВ

Мария Ощепкова[1], Людмила Похиленко[2], Олег Олейников[1]
1 Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, пр. Ленина, 39, г. Якутск, 677000, Россия
2 Институт геологии и минералогии имени В.С. Соболева СО РАН, пр. Академика Коптюга, 3, г. Новосибирск, 630090, Россия

COMPOSITION FEATURES OF PHLOGOPITE FROM PERIDOTITES, GLIMMERITES AND ECLOGITES

Mariya Oshchepkova[1], Lyudmila Pokhilenko[2], Oleg Oleinikov[1]
1 Diamond and Precious Metal Geology Institute SB RAS, 39 Lenin Ave., Yakutsk, 677000, Russia
2 V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy, SB RAS, 3 Acad. Koptyuga Ave., Novosibirsk, 630090, Russia

Annotation. New data of the chemical composition are presented for phlogopites from xenoliths (peridotites, glimmerites, eclogites) of the Obnazhennaya and Udachnaya Vostochnaya kimberlite pipes. These pipes are located in northern and central parts of Siberian craton, respectively. The chemical composition of phlogopites was determined in thin polished sections by standard microprobe analyzer. Mica composition has a wide range of variations depending on the composition of host rock and the location of kimberlite pipe. Despite the significant differences in the composition of phlogopites from rocks of different paragenesis, there are also similar features.

1. Введение

Кимберлитовые трубки Обнаженная и Удачная Восточная, известны высоким содержанием свежих неизмененных ксенолитов. Среди которых встречаются редкие ксенолиты слюдитов, а также перидотитов, пироксенитов, эклогитов, содержащие флогопит. Их изучение дает информацию о возрасте формирования пород, составе мантийного флюида и особенностях метасоматических процессов, протекающих в верхней мантии Земли. В результате исследований аналогичных пород из кимберлитовых трубок ЮАР, Лесото, Танзании, России (Архангельская область, Якутия), были описаны мариды, первично-метасоматические и вторичные флогопиты, образованные в результате воздействия протокимберлитового расплава на породы верхней части верхней мантии [1–5].

Целью данной работы было исследование состава минералов, образованных в результате метасоматического обогащения исследованных пород. Для этого мы выбрали образцы ксенолитов различных парагенезисов (перидотиты, эклогиты, слюдиты) с вариативным содержанием флогопита: от 10 до 80 % объема породы. Флогопит в них встречался в виде хаотично расположенных пластинок в межзерновом пространстве, заполнял трещины в породообразующих минералах, формируя прожилки, или (в редких случаях) выступал в качестве породообразующего минерала. Из ксенолитов были приготовлены плоскополированные пластины, толщиной 2-3 петрографических шлифа, что позволило изучать их с помощью оптического микроскопа и определять химический состав минералов методом рентгеноспектрального микроанализа с электронным зондом. Затем мы сравнили полученные результаты анализа состава флогопитов из образцов ксенолитов кимберлитовых трубок центральной и краевой частей Сибирского кратона.

2. Описание образцов

Всего было проанализировано 4 перидотита, 3 эклогита и 2 слюдита.

Перидотит из трубки Удачная-Восточная состоит из агрегата крупных зерен флогопита, оливина, граната и шпинели. Агрегат флогопита (6x3x1.5 $см^3$) темно-коричневого цвета, в срезе (пластинке) представлен в виде ксеноморфных выделений различного размера, ориентировки и зональности. Гранат представлен в виде трещиноватых зерен насыщенного фиолетового цвета, на контакте с флогопитом имеет реакционные каймы с точечными выделениями шпинели, как в гранате, так и во флогопите. Оливин в виде редких, мелких реликтов находится между зерен граната и флогопита.

Перидотиты из трубки Обнаженная средне- и крупнозернистые, состоят из оливина, граната, клино- и ортопироксена, флогопита и ильменита. Оливин встречается в виде дефрагментированных реликтов, в стадии замещения серпентином. Клинопироксены, аналогично оливину, подвергнуты изменению, сохранившиеся реликты имеют игольчатый облик. Гранат образует трещиноватые, крупные выделения (до 1 см) с округлыми включениями ильменита, размером менее 1 мм, расположенными по периферии зерен или по всему объему. Флогопит коричневого цвета находится в виде макрокриста (1 см) в одном образце, и выделений ксеноморфной, заливообразной формы, обрамляющих оливины и пироксены или замещающих гранаты – в остальных. Ксеноморфные выделения ильменита различного размера (1-7 мм) сопровождают флогопит во всех образцах.

Слюдиты почти полностью состоят из флогопита, сопровождаемого ксеноморфными выделениями ильменита, и редкими реликтами оливина и пироксена, в карбонатно-силикатной основной массе. Флогопит коричневого цвета, иногда зональный, представлен мелкими идиоморфными кристаллами и крупными ксеноморфными, деформированными выделениями. Реликты оливина находятся в центре серпентиновой оболочки, повторяющей начальную форму кристалла, которая, в свою очередь, обрамлена флогопитом и ильменитом.

Образцы эклогитов делятся на два типа: двуминеральные и кианитовые. В двуминеральных эклогитах идиоморфные зерна флогопита размером менее 1 мм встречаются в межзерновом пространстве. В кианитовых эклогитах флогопит также находится между зерен породообразующих минералов и в прожилке мощностью 0.4 см, секущей ксенолит.

2.1. Химический состав флогопитов

По результатам анализов флогопитов были построены диаграммы зависимости Cr_2O_3, Al_2O_3, Na_2O от TiO_2 и диаграммы NiO/Mg#, Cr_2O_3/FeO_{tot}, с выделенными полями первичных и вторичных флогопитов, мегакристов из ксенолитов южноафриканских трубок (Рисунок 1).

Флогопит из перидотитов. Для флогопитов из перидотитов отмечается основной тренд положительной корреляции содержаний Cr_2O_3 и TiO_2, что характерно и для флогопитов из слюдитов, но на фоне состава последних, перидотитовые более хромистые (Рисунок 1, г). Кроме того, флогопиты делятся на две группы: с низкой (до 3,5 масс. %) и высокой (начиная от 3,5 масс. % и выше) концентрацией TiO_2. На такое четкое разграничение указывают составы зональных слюд, ядра которых находятся в первой группе, а края во второй. Содержания FeO_{tot} и Al_2O_3 варьируют от 6,0 до 8,0 масс. % и от 12,0 до 15,0 масс. %, соответственно (Рисунок 1, а, б, г). Наблюдается разброс значений содержаний NiO от 0,04 до 0,2 масс. %, и Na_2O от 0 до 0,4 масс. %. Состав макрокристового флогопита занимает компактную область с TiO_2 менее 1,5 масс. %, Cr_2O_3 до 0,08 масс. %.

Составы флогопитов из перидотитов трубки Удачная Восточная с минимальными содержаниями Na_2O, TiO_2 и FeO_{tot}, средним содержанием Cr_2O_3 0,8 масс. % и высокой магнезиальностью 93–94 близки по составу к первичным флогопитам южноафриканских трубок [3]. Краевая часть зонального флогопита из перидотита трубки Удачная содержит максимальные концентрации Cr_2O_3 (2,5 масс. %), Al_2O_3 (14,9 масс. %) при TiO_2 1,8 масс. % и имеет низкую магнезиальность (89,2), тогда как центральная часть обладает низкими концентрациями Cr_2O_3 (0,8 масс. %), Al_2O_3 (12,9 масс. %), TiO_2 (0,08 масс. %) и высокой магнезиальностью (93,8).

Флогопит из слюдитов. Как указывалось выше, по составу флогопиты в слюдитах также делятся на низко титанистые (TiO_2 <3 масс. %) и высоко титанистые (TiO_2 >3 масс. %). Первая группа отличается от второй меньшими содержаниями Cr_2O_3, TiO_2 и NiO (<1,2; >3; 0,2 масс. %

против <0,5; 2 и 0,07 масс. %, соответственно). Центральные части зональных флогопитов попадают в первую группу, а краевых – во вторую. Отметим особый состав центральной части зональных флогопитов, который выбивается из основной массы значений: низкие содержания (масс. %) TiO_2 <2, FeO – 4,3, Al_2O_3 – 12, Na_2O – 0,12 при относительно высоких Cr_2O_3>0,5 и NiO – 0,2; и магнезиальности – 91. Во второй группе наблюдается повышение содержания Cr_2O_3 и Al_2O_3 при увеличении TiO_2.

Флогопит из эклогитов. В составе флогопитов из эклогитов наблюдается широкий разброс содержаний Cr_2O_3, Na_2O и Al_2O_3, в отличие от значений этих окислов в слюдах перидотитов и слюдитов. Содержание в эклогитовых флогопитах TiO_2 не превышает 4 масс. %. Наблюдается чередование темных и светлых зон во флогопитах, расположенных в прожилке, секущем кианитовый эклогит. Темная зона по сравнению со светлой (значения даны в скобках после соответствующего окисла) содержит (в масс. %) существенно меньше TiO_2 1 (3–3,4), Cr_2O_3 0,3 (0,3–0,5), Al_2O_3 10–11 (13–14), но больше NiO 0.2 (0,09), имеет более высокую магнезиальность 90 (87,8–88,3).

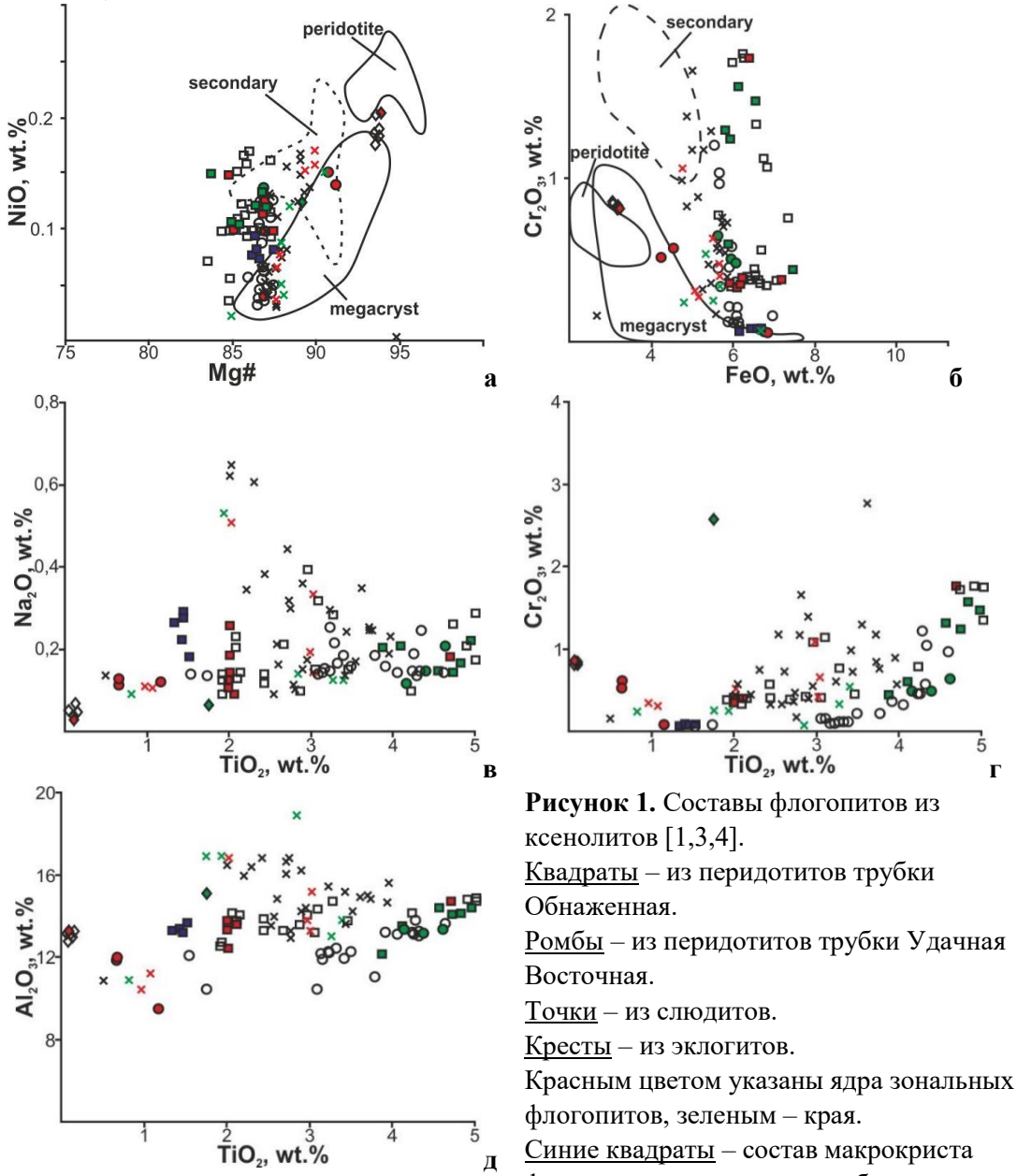


Рисунок 1. Составы флогопитов из ксенолитов [1,3,4].
Квадраты – из перидотитов трубки Обнаженная.
Ромбы – из перидотитов трубки Удачная Восточная.
Точки – из слюдитов.
Кресты – из эклогитов.
Красным цветом указаны ядра зональных флогопитов, зеленым – края.
Синие квадраты – состав макрокриста флогопита в перидотите трубки Обнаженная.

3. Выводы

Широкий разброс значений составов флогопита всех изученных образцов, а также контрастные значения состава зональных слюд указывают на меняющиеся условия формирования пород. Видно, что по содержанию титана слюды из перидотитов и слюдитов делятся на две группы: низкотитанистые и высокотитанистые. Согласно исследованиям слюд из южноафриканских ксенолитов, низко-Ti группа соответствует составу первичных флогопитов, которые были сформированы в результате метасоматического обогащения в мантии [1–3]. Высоко-Ti группа флогопитов, вероятно, образовалась в результате повторного воздействия метасоматических флюидов с большим содержанием титана и хрома, либо кристаллизация произошла под влиянием протокимберлитового расплава, о чем свидетельствует тренд повышения Cr с увеличением Ti в составе флогопитов, а также обилие ксеноморфного и округлого (в трещинах граната) ильменита [3, 4]. В эклогитовых флогопитах также отмечается тренд повышения Ti и Cr, но одновременно наблюдается уменьшение Al и Na, что не характерно для флогопитов из перидотитов и слюдитов.

Вероятно, что высокая хромистость во флогопитах связана с наличием хромсодержащих минералов – граната, хромдиопсида. Центральная часть зонального флогопита трубки Удачная содержит 0,85 % хрома, а краевая 2,55 %. Возможно, это говорит о том, что флогопит ранее был в равновесии с гранатом, далее произошло обогащение хромом в результате растворения граната (судя по резорбированному состоянию граната).

Таким образом, на основании полученных результатов можно предположить, что конечный состав флогопита во многом обусловлен химическим составом соседних породообразующих минералов. Формирование флогопитсодержащих пород происходит при неоднократном воздействии метасоматических агентов.

4. Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ 20-05-00662.

5. Литература:

[1] Dawson J.B., Smith J.V. The MARID (mica-amphibole-rutile-ilmenite-diopside) suite of xenoliths in kimberlite // Geochimica et Cosmochimica Acta, 1977, vol. 41, pp. 309–323.

[2] Delaney J.S., et al. Chemistry of micas from kimberlites and xenoliths – II. Primary- and secondary-textured micas from peridotite xenoliths // Geochimica and Cosmochimica Acta. vol. 44, pp. 857-872.

[3] Giuliani A., et al. Constraints on kimberlite ascent mechanisms revealed by phlogopite compositions in kimberlites and mantle xenoliths // Lithos, 2016, vol. 240-243, pp. 189–201.

[4] Pokhilenko L.N. Exotic Olivine-Mica Rocks from the Udachnaya-East Pipe (Yakutia): Features of the Chemical Composition and Origin // Doklady Earth Sciences, 2018, vol. 481, Part 2, pp. 1050–1055. Original Russian Text published in Doklady Akademii Nauk, 2018, vol. 481, no. 5.

[5] Shchukina E.V., et al. Origin of V. Grib pipe eclogites (Arkhangelsk region, NW Russia): geochemistry, Sm-Nd and Rb-Sr isotopes and relation to regional Precambrian tectonics // Mineralogy and Petrology, 2019, vol. 113, pp. 593–612.

УДК 548.54

ВЛИЯНИЕ РОСТОВЫХ ДЕФЕКТОВ НА ФОРМУ ИСКАЖЕНИЯ ОКТАЭДРИЧЕСКИХ КРИСТАЛЛОВ АЛМАЗА

Антон Павлушин
Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, пр. Ленина, 39, г. Якутск, 677000, Россия

INFLUENCE OF GROWTH DEFECTS ON THE DISTORTION FORM OF OCTAHEDRAL DIAMOND CRYSTALS

Anton D. Pavlushin
Diamond and Precious Metal Geology Institute SB RAS, 39 Lenin Ave., Yakutsk, 677000, Russia

Annotation. The decrease in the symmetry of the crystal shape is influenced not only by external factors of the symmetry of the crystal-forming medium. In this paper, we consider several studies of observations of shape distortion of octahedral diamond crystals associated with growth defects. A sharp decrease in the symmetry to the lowest category of syngony in these cases occurred under the influence of growth fluctuations, mechanical damage to the crysatals, and the capture of mineral inclusions by the growing crystal.

1. Введение

Искажение внешней формы кристаллов в процессе роста традиционно рассматривается исходя из универсального принципа симметрии П. Кюри как следствие диссимметрии кристалла и кристаллообразующей среды. Такое взаимодействие подразумевает сохранение элементов симметрии кристалла, совпадающих с элементами симметрии среды и исчезновение элементов симметрии иной ориентации. Нарушение кристаллической структуры, связанное с ростовыми дефектами и ростовые флуктуации в анализе искажения симметрии формы кристаллов практически не учитывается, что может привести к ошибкам в интерпретации полученных данных. Основной целью настоящей работы являлось выявление механизма искажения формы октаэдрических кристаллов природного алмаза. Прекрасными объектами изучения стали хорошо развитые плоскогранные и ламинарные октаэдры алмаза из трубки Дачная, Мало-Ботуобинского алмазоносного района. Для исследования отобраны октаэдры без каких-либо признаков растворения. Морфология кристаллов изучена с применением стандартных методов оптической микроскопии. Искажение формы октаэдров алмаза фиксировалось с помощью компьютерной программы «Интерактивный анализ видимой симметрии искаженных кристаллов алмаза» для ОС Windows, разработанной в ИГАБМ СО РАН по заказу НИГП АК «АЛРОСА» (ПАО) [1-2]. Программа рассчитывает результаты инструментальных измерений кристаллов и позволяет дать исчерпывающую характеристику искажённой формы полногранного октаэдра в виде гранной разновидности его реальной формы и группы визуальной симметрии кристалла. Основными параметрами измерения кристаллов являются расстояния между параллельными гранями, а также длина и направление одного из ложных ребер, возникающих на месте вершин октаэдра за счет неравномерного развития граней кристалла.

2. Ростовые дефекты и их вклад в искажение реальной формы октаэдров алмаза

Рост плоскогранных октаэдров алмаза осуществляется слоевым механизмом [3]. Даже на макроуровне у кристаллов можно наблюдать поведение ступеней роста и очередность возникновения кристаллических блоков, слагающих кристалл, а высокая прозрачность позволяет видеть внутренние дефекты, упругие напряжения и присутствие включений.

На Рисунке 1 а изображен кристалл скелетного облика и его модель с гранным символом [2222] в котором последовательно обозначено количество 3-, 4-, 5-, 6- угольных граней искаженного октаэдра псевдоромбической симметрии *mm*2. Кристалл имеет характерное блочное строение. Границы и взаимоотношение блоков четко обозначают последовательность их кристаллизации

и аномальное развитие кристалла в направлении одной из граней октаэдра очевидно обладавшей преимуществом в скорости роста. Одним из факторов ускоренного роста может являться наличие винтовой дислокации в пирамиде грани октаэдра.
В следующем случае, изображенном на Рисунке 1 б, кристалл также имеет гранный тип [2222] и псевдоромбическую симметрию *mm*2. Но основным генератором новых слоев роста является уже одна из вершин октаэдра. В итоге ступени роста не успевая завершить пробег по всей грани образуют уступы макроступеней и постепенно разрастаясь формируют крупные кристаллические блоки, а сам кристалл также приобретает характерный скелетный облик.

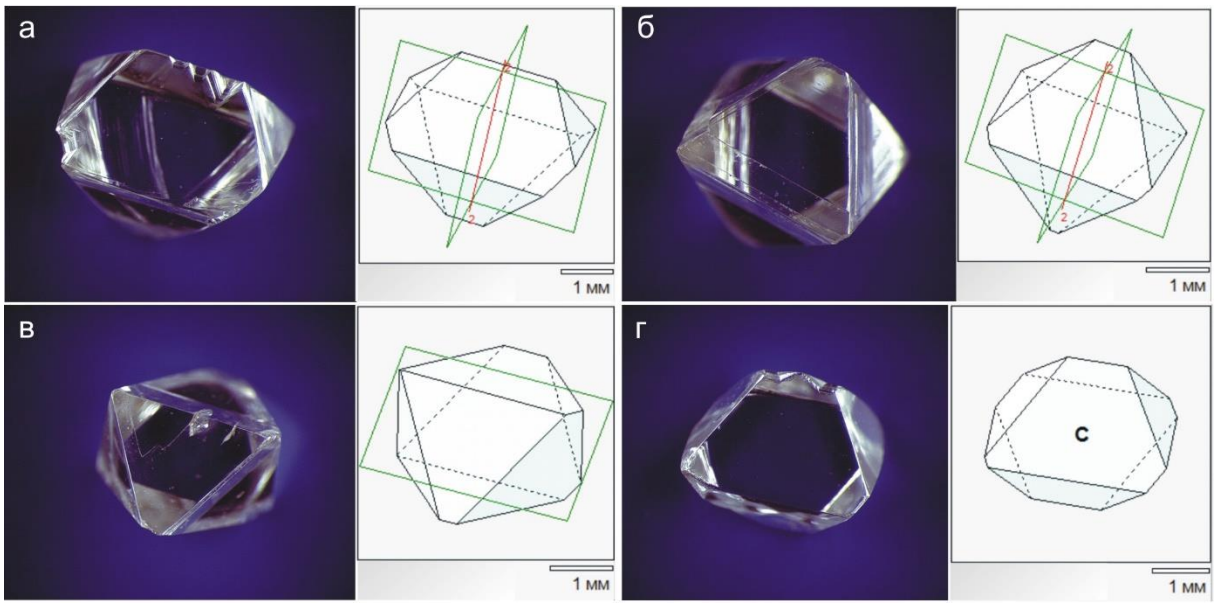


Рисунок 1. Морфология и элементы симметрии искаженных октаэдров алмаза из тр. Дачная.

На кристалле, показанном на Рисунке 1 в, виден дефект, в виде глубокой трещины пересекающей ребро и препятствующий побегу слоев роста по всей грани октаэдра. Эшелоны ступеней тангенциального роста прерываются в месте выхода дефекта на поверхность грани и новые слои роста возникают лишь у одной вершины октаэдра. В итоге кристалл растет преимущественно в одном направлении. Аномальное развитие ступеней роста в пределах грани может изменить конфигурацию концентрационных потоков в диффузионном поле, окружающем растущий кристалл и привести к дальнейшему искажению его формы. В данном случае октаэдр гранного типа [2222] приобрел псевдоромбическую симметрию *m*.
На Рисунке 1 г показано аномальное развитие ложных ребер за счет вырождения слоев роста при вершинах :100: октаэдра комбинаторного типа [0602] псевдотриклинной симметрии -1. Это может быть связано с отравлением торцов ступеней роста макропримесями. Распространение ступеней роста прерывалось на гранях смежных с ребром, отравленным примесями. Возникновение подобных дефектов можно объяснить ростом кристалла в вязкой среде, насыщенной посторонними частицами, затрудняющими диффузию.
Очевидную роль в искажении формы кристаллов играет захват твердых включений минералов. В октаэдрических кристаллах трубки Дачная, установлено несколько фактов угнетения роста граней с внедренными в их пирамиды роста единичными включениями алмаза. В большинстве случаев включения алмаза имели собственную октаэдрическую огранку, реже представляли собой осколки кристаллов. На поверхности кристаллов также наблюдались включения препятствующих развитию ступеней слоев роста. Ростовые дефекты, как правило, проявляются в объеме кристалла точечно, линейно или двумерно, пересекая один или несколько элементов огранки кристалла и вызывая искажения на уровне симметрии тензоров групп симметрии 1, *m*, *mm*2. Факторы, вызывающие возмущения в тангенциальном развитии слоев роста кристалла также обладают заведомо низкой симметрией и существенно снижают симметрию внешней

формы октаэдров до низших групп симметрии ромбической, моноклинной и триклинной сингоний.

3. Заключение

Перечисленные в настоящем очерке наблюдений морфологии алмаза факты, следует рассматривать как частные случаи искажения формы кристаллов, связанные с ростовыми дефектами. Нарушение собственной структурно обусловленной симметрии алмаза происходит в отрыве от внешней по отношению к растущему кристаллу, симметрии кристаллообразующей среды. Сочетание факторов диссимметрии заключается в суперпозиции наложения собственной структурно обусловленной симметрии кристалла, симметрии дефекта или силы вызвавших ее нарушение и симметрии анизотропных свойств кристаллообразующей среды.

4. Благодарности

Автор выражает благодарность сотрудникам НИГП и ЦСА АК «АЛРОСА» (ПАО) за плодотворное сотрудничество и помощь в работе.

5. Литература:

[1] Pavlushin A.D., Stepenschikov D.G. Analysis of the symmetry of the distorted shape of diamond crystals and assessment of its predictive and search value // Problems of magmatic and metamorphic petrology, geodynamics and origin of diamonds: Abstracts of the International Conference dedicated to the 110th anniversary of the birth of acad. V. S. Sobolev. 2018, pp. 45.

[2] Pavlushin A.D., Stepenschikov D.G. The first results of studies of the distorted shape of dodecahedral diamond crystals from placers of the Yakutian diamond-bearing province // Natural resources of the Arctic and subarctic. 2019, vol. 24, 4, pp. 25-36 (in Russian).

[3] Orlov Yu. L. Mineralogy of diamond. Moscow: Nauka, 1973, 222 pp.

УДК 552.323.6: 571.56

ВОЗМОЖНЫЕ ПРИЧИНЫ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ МЕЖДУ ИНТЕНСИВНОСТЬЮ И АЛМАЗОНОСНОСТЬЮ ПРОЯВЛЕНИЙ КИМБЕРЛИТОВОГО МАГМАТИЗМА В ПОЛЯХ СРЕДНЕПАЛЕОЗОЙСКОГО ВОЗРАСТА СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

Николай Похиленко[1], Алексей Агашев[1], Валентин Афанасьев[1], Людмила Похиленко[1], Николай Тычков[1], Игорь Шарыгин[1,3], Олег Олейников[2], Мария Ощепкова[2], Дмитрий Самданов[1]
1 Институт геологии и минералогии имени В.С. Соболева СО РАН, пр. Академика Коптюга, 3, г. Новосибирск, 630090, Россия
2 Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, пр. Ленина, 39, г. Якутск, 677000, Россия
3 Институт земной коры СО РАН, ул. Лермонтова, 128, Иркутск, 664033, Россия

A POSSIBLE REASONS OF NEGATIVE CORRELATION BETWEEN THE AMOUNT OF BODIES AND THEIR DIAMOND GRADE IN THE MIDDLE PALEOZOIC KIMBERLITE FIELDS OF THE SIBERIAN PLATFORM

Nikolay Pokhilenko[1], Alexey Agashev[1], Valentin Afanasiev[1], Ludmila Pokhilenko[1], Nikolay Tychkov[1], Igor Sharygin[1,3], Oleg Oleinikov[2], Mariya Oschepkova[2], Dmitriy Samdanov
1 V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy, SB RAS, 3 Acad. Koptyuga Ave., Novosibirsk, 630090, Russia
2 Diamond and Precious Metal Geology Institute SB RAS, 39 Lenin Ave., Yakutsk, 677000, Russia
3 Institute of the Earth's Crust Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, 128 Lermontov St., Irkutsk, 664033, Russia

Annotation. Possible reasons of negative correlation between the intensity and diamond grade of kimberlite magmatism of different kimberlite fields of Middle Paleozoic age inside the Siberian Platform can be related with variations of intensity of secondary enrichment of the lithosphere mantle depleted peridotites by carbonatite and silicate metasomatic agents. A lithosphere blocks with minor scale of silicate type secondary enrichment of depleted peridotites of the lower part of lithosphere produce small amount of high grade kimberlite bodies (Mirnisky Field: 5 high grade pipes from the total 7; Nakynsky Field: all 3 bodies of this field are high grade), and a blocks with intensive silicate enrichment of the deep-seated depleted peridotites produced a lot of kimberlite bodies with minor amount of high grade ones (Alakit-Markhisky and Daldynsky Fields: over 250 bodies and only 7 are high grade ones). A scale of silicate secondary enrichment relatively easy can be estimated from the kimberlite pyrope garnets composition features.

1. Введение

Выявление характера и природы возможных причин, контролирующих обратную связь между масштабом проявлений среднепалеозойского этапа кимберлитового магматизма для различных полей Сибирской платформы (общее количество тел) и доли среди них высокоалмазоносных тел имеет особое значение. Оно предоставит возможность совершенствования методов прогнозирования кимберлитовых полей с промышленной алмазоносностью и определения типов этих полей:1) мало тел, но высокая доля высокоалмазоносных; 2) много тел, но низкая доля среди них высокоалмазоносных, либо 3) промежуточный вариант поля в пределах изучаемых перспективных территорий. Известные в пределах Сибирской платформы проявления кимберлитового магматизма с промышленным уровнем алмазоносности и вовлеченные в разработку добывающей промышленностью имеют среднепалеозойский возраст (D3) и сосредоточены в пяти кимберлитовых полях: Мирнинском, Накынском, Далдынском, Алакит-Мархинском и Верхне-Мунском. Мирнинское и Накынское поля имеют незначительное количество кимберлитовых тел, большинство из которых имеют промышленную

алмазоносность: 5 из 7 для Мирнинского и 3 из 3 для Накынского поля. В то же время для Далдынского и Алакит-Мархинского полей, в сумме насчитывающих более 250 кимберлитовых трубок доля тел с промышленной алмазоносностью не превышает 3 %, Верхне-Мунское поле по количеству кимберлитовых тел и соотношению среди них богатых и бедных алмазами (5 из 28) занимает в этом ряду промежуточное положение. Весьма вероятно, что интенсивность и характер проявлений кимберлитового магматизма связаны с особенностями метасоматических процессов в корневых частях литосферы под конкретными полями. Поиск связей между характером процессов мантийного метасоматоза, масштабом проявлений кимберлитового магматизма и уровнем их алмазоносности может быть успешным на основе детального изучения ксеногенного материала мантийного происхождения.

2. Результаты

Нами изучены особенности состава представительных коллекций пироповых гранатов, несущие важную информацию о характере метасоматических процессов, происходивших во вмещающих эти гранаты породы, а также ксенолитов перидотитов корневых частей литосферы из кимберлитов полей среднепалеозойского возраста. Актуальность темы проведенных исследований определяется научной и прикладной значимостью выяснения характера причин, контролирующих масштабы и уровень алмазоносности проявлений кимберлитового магматизма на территории Сибирской платформы. Особую значимость эта информация имеет для территорий арктических и субарктических районов Сибирской платформы, где имеются широко развитые россыпные месторождения алмазов, однако их коренные источники до сих пор не установлены. В то же время в этих районах имеются выявленные кимберлитовые поля среднепалеозойского возраста, однако высокоалмазоносные тела в их пределах не обнаружены. Результаты проведенных нами ранее в Лено-Анабарском междуречье геологических исследований, совмещенных с шлиховым опробованием аллювия речной сети и промежуточных коллекторов, прямо показали на наличие в регионе еще не найденных кимберлитовых полей среднепалеозойского возраста, в которых с весьма высокой вероятностью имеются тела высокоалмазоносных кимберлитов [1]. Проведение подобных исследований также актуально для южных районов Сибирской платформы, где также имеются перспективы обнаружения новых полей среднепалеозойских кимберлитов с промышленной алмазоносностью.

Эволюцию химического состава перидотитов литосферной мантии можно описать в рамках следующей модели. На первом этапе, в среднем архее в результате экстракции из мантии расплавов, сформированных при высокой степени частичного плавления, образовались истощенные гарцбургит-дуниты. На втором этапе, так же в среднем архее, происходило метасоматическое обогащение пород основания литосферной мантии расплавом/флюидом с высоким содержанием несовместимых элементов, близким по составу к карбонатитам, и с начальными этапами этого процесса связывается образование большей части литосферных алмазов U-типа [2-4]. Метасоматоз этого этапа не привел к значительным изменениям петрохимического состава пород, но обогатил их несовместимыми элементами, что выразилось в почти 10-кратном росте La/Yb отношения [3-4] и при прогрессивном увеличении интенсивности карбонатитовго метасоматоза пик содержаний легких РЗЭ последовательно смещается от Ce к Pr, затем к Nd и Sm при последовательном увеличении содержаний достигающих в максимуме 80 хондритовых [3,5,6]. Дальнейшее повышение La/Yb отношений (до 100 и более) в породах при незначительном росте содержаний CaO является продолжением карбонатитового метасоматоза и уже не связано с образованием алмазов [3]. Небольшой рост содержаний CaO в породе обусловлен его вхождением в состав граната (см. Рисунок 1, вертикальные пунктирные линии), что подтверждено характером зональности высокохромистых гранатов, а также образованием единичных зерен клинопироксена в гарцбургит-дунитах [2-5]. Завершающим этапом эволюции был силикатный метасоматоз, который значительно изменил минералогический и геохимический состав пород [3-5,7,8]. В результате в истощенных перидотитах в зависимости от соотношения метасоматизирующий агент/исходная порода

существенно увеличивается содержание клинопироксена и граната, причем при росте значений этого соотношения составы как субкальциевых хромистых пиропов гарцбургит-дунитового парагенезиса, так и высокальциевых хромистых пиропов верлитового парагенезиса в координатах CaO-Cr_2O_3 будут эволюционировать в поле составов сначала менее хромистых лерцолитовых гранатов, а затем – в поле составов малохромистых (менее 5 масс. % Cr_2O_3) вебстеритовых гранатов (Рисунок 1, тренд, обозначенный пунктир-точечными линиями). Пироповые гранаты некоторых ксенолитов перидотитов имеют четкую зональность, выраженную в росте содержания CaO от 1,5-2,0 масс. % при содержании Cr_2O_3 ~12 масс. % в центре зерен, что соответствует субкальциевым Cr-пиропам гарцбургит-дунитового парагенезиса, до 6-8 масс. % CaO в кайме, что характерно для гранатов из оливиновых вебстеритов или вторично обогащенных лерцолитов, при росте содержаний от центра к кайме: FeO (от 7,5 до 12 масс. %), TiO_2 (от 0,1 до 1,6 масс. %), а также HREE, Zr и уменьшении содержаний Cr_2O_3 (от 12 до 1,5 масс. %), MgO (от 22 до 17,5 масс. %) [3-5,8], что связывается с процессами силикатного метасоматоза.

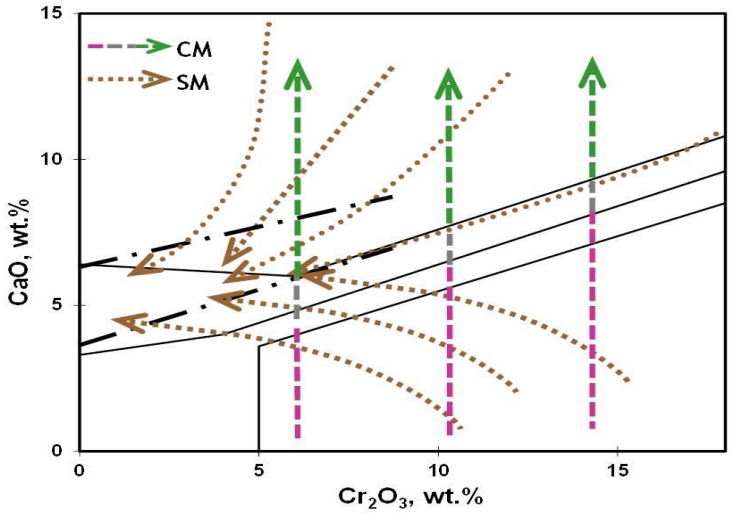


Рисунок 1. Схема, иллюстрирующая тренды измерения составов пироповых гранатов перидотитов литосферной мантии при воздействии на них агентов карбонатитового (CM) и силикатного (SM) типов.

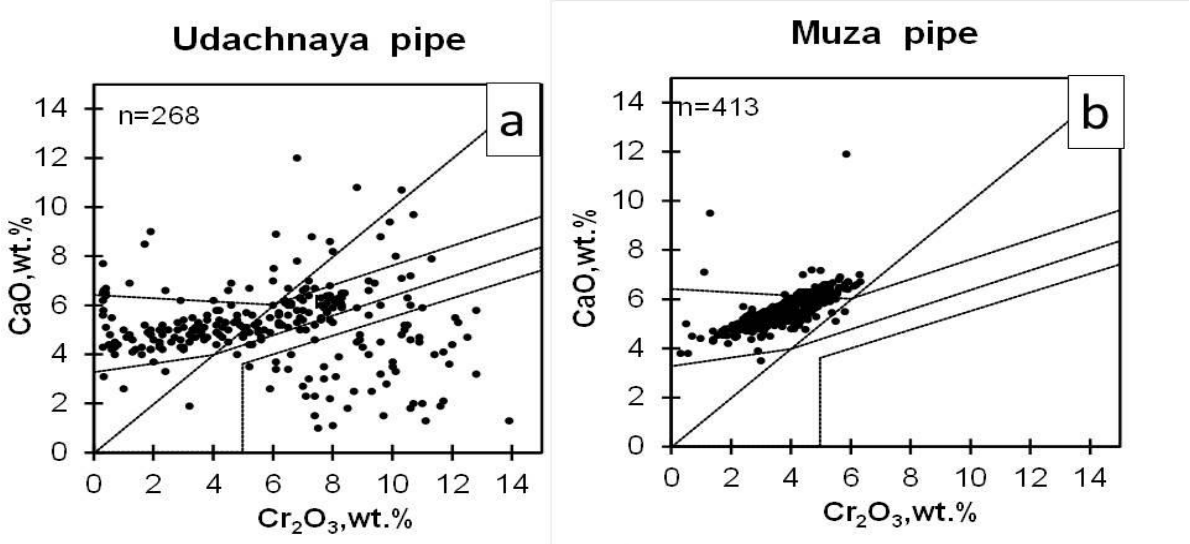


Рисунок 2. Примеры распределения составов гранатов из кимберлитов трубки Удачная, «опробовавших» перидотиты литосферной мантии (ЛМ), слабо затронутой силикатным метасоматозом (a) и из трубки Муза, «опробовавшей» перидотиты ЛМ с экстремальным уровнем базитового метасоматоза (b).

Что касается масштабов метасоматического преобразования нижней части континентальной литосферы, то одна часть исследователей предполагает его региональным – под воздействием мантийного плюма и даже суперплюма с диаметром воздействия до тысячи км и более (например [3-5, 8-9], другая – может представлять локальные жильные системы, приуроченные к ослабленным зонам в континентальной литосфере и ограниченные десятками метров вокруг мантийных каналов, обеспечивающих движение кимберлитовых расплавов к земной поверхности [10]. Однако результат подобного воздействия остается сходным: на начальной стадии взаимодействия с карбонатитовыми расплавами – образование алмазов и Cr-пиропов с переменным содержанием CaO (Рисунок 2 a) в деплетированных перидотитах, на последующих стадиях – рефертилизация (Рисунок 2 b) и сужение области существования алмазов [3-5]. Деформированные перидотиты также могут являться отражением динамических процессов на границе крупного плюма с континентальной литосферой.

3. Выводы

Таким образом, вариант регионального силикатного метасоматоза перидотитов нижних уровней литосферной мантии, включая зону взаимодействия литосфера-астеносфера, в которой, по-видимому, и проистекают процессы генерации протокимберлитовых расплавов, является предпочтительным, а вариации его интенсивности, вероятно, прямо связаны с масштабами генерации протокимберлитовых расплавов в зоне взаимодействия литосфера-астеносфера и интенсивностью уничтожения алмазов в истощенных перидотитах менее глубинных уровней литосферной мантии. Обнаружение в промежуточных коллекторах популяций пироповых гранатов из перидотитов мощной (>230 км) литосферной мантии с признаками минимального силикатного метасоматоза дает основание прогнозировать поля, аналогичные Мирнинскому, либо Накынскому, и такими признаками обладают ореол участка Улахан-Курунг-Юрях. Обнаружение в ореолах пиропов из перидотитов такой же мощной литосферы, но с признаками интенсивного силикатного метасоматоза дает основание прогнозировать поля, аналогичные Далдынскому. Таким вполне может оказаться Хомпу-Майское поле, особенности пироповых гранатов из трубок которого указывают на: 1) наличие мощной (240-250 км) литосферы под этим полем на время внедрения кимберлитов; 2) интенсивного силикатного метасоматоза, наложенного на истощенные перидотиты; 3) присутствие в вертикальном разрезе литосферной мантии под этим полем блоков перидотитов, практически не затронутых силикатным метасоматозом.

4. Благодарности

Данное исследование выполнялось в рамках базовых проектов ИГМ СО РАН и ИГАБМ СО РАН, а также было поддержано РФФИ (Гранты 20-05-00662а и 18-05-70063 Арктика).

5. Литература:

[1] Afanasiev V.P., Pokhilenko N.P., Vavilov M.A., R.Yu. Zhelonkin, A.L. Zemnukhov, E.O. Barabash, D.A. Samdanov et al. 2019. Prospects for the primary diamond deposits of the right bank of the Anabar River (North East of the Siberian Platform). Otechestvennaya Geologiya, 5, pp. 60-73 (In Russian).

[2] Pokhilenko, N., Sobolev, N., Boyd, F., Pearson, D., Shimizu, N., 1993. Megacrystalline pyrope peridotites in the lithosphere of the Siberian platform: mineralogy, geochemical peculiarities and the problem of their origin. Russ. Geol. Geophys 34, pp. 56-67.

[3] Pokhilenko N.P., Agashev A.M., Litasov K.D., Pokhilenko L.N. Carbonatite metasomatism of peridotite lithospheric mantle: implications for diamond formation and carbonatite-kimberlite magmatism // Russian Geology and Geophysics. 2015, vol. 56, Iss. 1-2, pp. 280-295.

[4] Agashev, A.M., Ionov, D.A., Pokhilenko, N.P., Golovin, A.V., Cherepanova, Y., Sharygin, I.S., 2013. Metasomatism in lithospheric mantle roots: Constraints from whole-rock and mineral chemical composition of deformed peridotite xenoliths from kimberlite pipe Udachnaya. Lithos 160-161, pp. 201-215.

[5] Pokhilenko, N., Sobolev, N., Kuligin, S., Shimizu, N., 1999. Peculiarities of distribution of pyroxenite paragenesis garnets in Yakutian kimberlites and some aspects of the evolution of the Siberian craton lithospheric mantle, Proc. of the 7th Intern. Kimberlite Conf., Red Roof Design, Cape Town, pp. 689-698.
[6] Pokhilenko L.N., Malkovets V.G, Kuzmin D.V., Pokhilenko N.P. New data on the mineralogy of megacrystalline pyrope peridotite from the Udachnaya kimberlite pipe, Siberian Craton, Yakutian diamondiferous province // Doklady Earth Sciences. 2014, vol. 454, Iss. 2, pp. 179-184.
[7] Pokhilenko, N., 2009. Polymict breccia xenoliths: Evidence for the complex character of kimberlite formation. Lithos 112, pp. 934-941.
[8] Howarth G.H., Barry P.H., Pernet-Fisher J.F., Baziotis I.P., Pokhilenko N.P., Pokhilenko L.N., Bodnar R.J., Taylor L.A., Agashev A.M. Superplume metasomatism: Evidence from Siberian mantle xenoliths // Lithos. – 2014, vol. 184-187, pp.209-224.
[9] Sharygin, I.S., Litasov, K.D., Shatskiy, A., Golovin, A.V., Ohtani, E., Pokhilenko, N.P., 2015. Melting phase relations of the Udachnaya-East Group I kimberlite at 3.0-6.5 GPa: experimental evidence for alkali carbonatite composition of primary kimberlite melt and implication to mantle plumes. Gondwana Research, 28, (4), pp. 1391-1414.
[10] Malkovets, V.G., Griffin, W.L., O'Reilly, S.Y., Wood, B.J., 2007. Diamond, subcalcic garnet, and mantle metasomatism: Kimberlite sampling patterns define the link. Geology 35, pp. 339-342.

УДК 553.81, 553.078

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ ПРОГРАММ И ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ОБРАБОТКЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ХИМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И ПОИСКОВ КОРЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ АЛМАЗОВ НА ПРИМЕРЕ УЧАСТКА ТЕГЮРЮК, АЛАКИТ-МАРХИНСКОЕ КИМБЕРЛИТОВОЕ ПОЛЕ, ЗАПАДНАЯ ЯКУТИЯ

Оксана Тарских, Анастасия Гибшер, Андрей Забелин, Илья Овчинников
НИГП АК «АЛРОСА» (ПАО), ул. Ленина, 39, г. Мирный, 678170, Россия

RESULTS OF THE PROGRAM AND TECHNOLOGY COMPLEX APPLICATION TO PREDICTIVE SEARCH ON THE EXAMPLE OF TEGYURYUK AREA ALAKIT-MARKHA KIMBERLITE FIELD (YAKUTIA)

Oxana Tarskikh, Anastasiya Gibsher, Andrey Zabelin, Ilya Ovchinnikov
Geo-Scientific Research Enterprise, PJSC «ALROSA», 39 Lenin St., Mirny, 678170, Russia

Annotation. Using of two program instruments to chemical composition of mineral companion of diamond data array might suggest the existence throughout Tegyuryuk area new kimberlite body.

Random Forest instrument shows maximum of similarity with analogous array of Yuzhnaya pipe, situated in 28 km. The instrument “CGK MCD” shows contrast set of chemical-genetic groups with known kimberlite bodies of Alakit-Markha field.

1. Введение

Алакит-Мархинское кимберлитовое поле является одним из наиболее изученных на территории Якутской алмазоносной провинции. В настоящее время поиски месторождений алмазов ведутся в южной его части поля.

Для оценки вероятности нахождения новых кимберлитовых тел был изучен химический состав минералов-спутников алмаза (МСА) из палеозойских осадочных коллекторов участка Тегюрюк, расположенного в юго-западной части Алакит-Мархинского кимберлитового поля.

Химический состав минералов-спутников алмаза определен с помощью рентгеновского микроанализатора в ОЛО ЦАЛ НИГП.

Генетическая принадлежность определялась при помощи модернизированной классификации В.К. Гаранина [1] с использованием веб-инструмента «ХГК МСА», разработанного специалистами отдела информационных технологий НИГП АК «АЛРОСА» (ПАО).

Алгоритм «Случайный лес» (программа RPCA, зарегистрирована в реестре ЭВМ № 2018666180 от 13.12.2018) [2,3] применен для подтверждения/опровержения гипотезы о существовании на территории участка Тегюрюк неизвестных кимберлитовых тел. Алгоритм непосредственно сравнивает выборки и выполняет статистический прогноз: оценивает степень сходства проверяемой выборки и эталонной построенной модели-дерева. Для построения дерева случайным образом выбирается k переменных (не менее 1/3 всей выборки). Из отобранных переменных выбирается та, которая дает наилучшее деление ветви дерева на две и этот процесс повторяется заданное количество раз. Под наилучшим делением понимается минимум ошибки RSS (сумма квадратов ошибок прогноза). Большое число «деревьев» позволяет минимизировать ошибку прогноза. Применение инструмента [4] показало, что наиболее достоверные результаты получаются в случае построения 5000 деревьев.

В качестве эталонных использовались базы данных химического состава гранатов (8167 анализов из кимберлитов 51 тела), ильменита (5296 анализов из кимберлитов 32 тел) и хромшпинелидов (3469 анализов из кимберлитов 35 тел) Алакит-Мархинского кимберлитового поля.

2. Результаты исследований

Участок Тегюрюк расположен в юго-западной части Алакит-Мархинского кимберлитового поля, в 33 км к юго-западу от пос. Айхал, Мирнинского района Республики Саха (Якутия) (Рисунок 1).

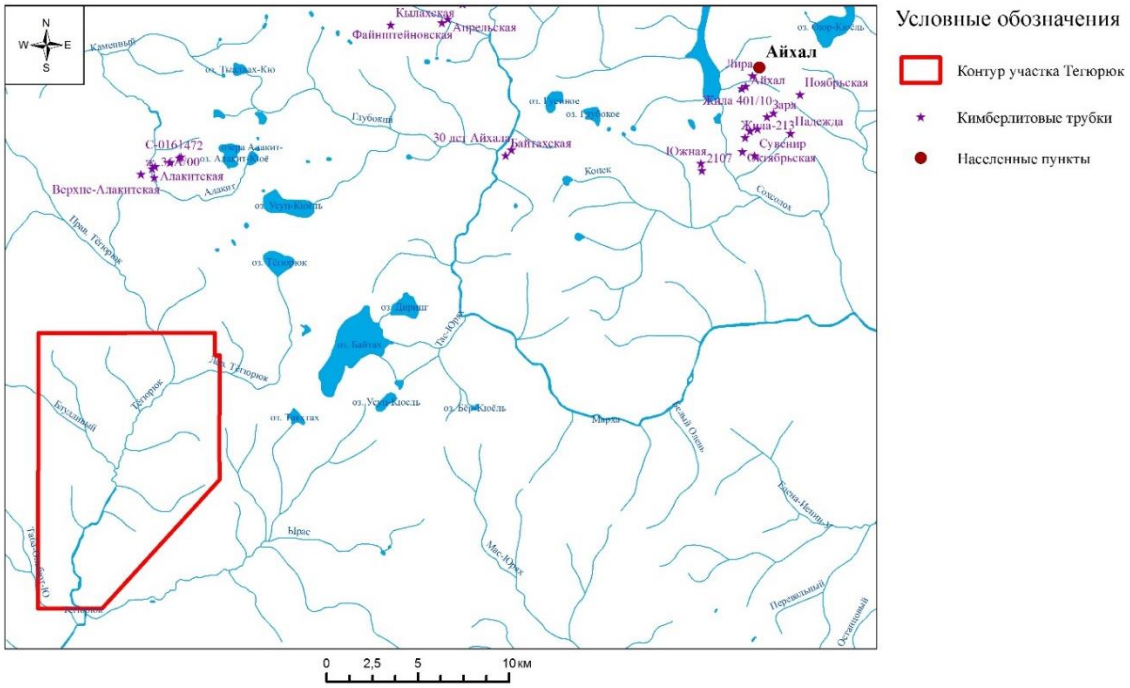


Рисунок 1. Расположение участка Тегюрюк.

Массив данных для применения алгоритма «Случайный лес» включал в себя 17 анализов гранатов, 196 анализов ильменита и 188 анализов хромшпинелидов. В результате исследований установлено, что максимальное сходство по трем минералам отмечено с выборками минералов-спутников из кимберлитов трубки Южная (Рисунок 2), расположенной на расстоянии 28 км от северной границы участка. Также по трем минералам установлено сходство с выборками МСА из кимберлитов трубок Чукукская (48 км) и Одинцова (24 км). Прямой снос минералов-спутников алмаза из этих кимберлитовых тел маловероятен, следовательно, есть основания предполагать наличие на этой территории собственных коренных источников, как минимум, минералов-спутников.

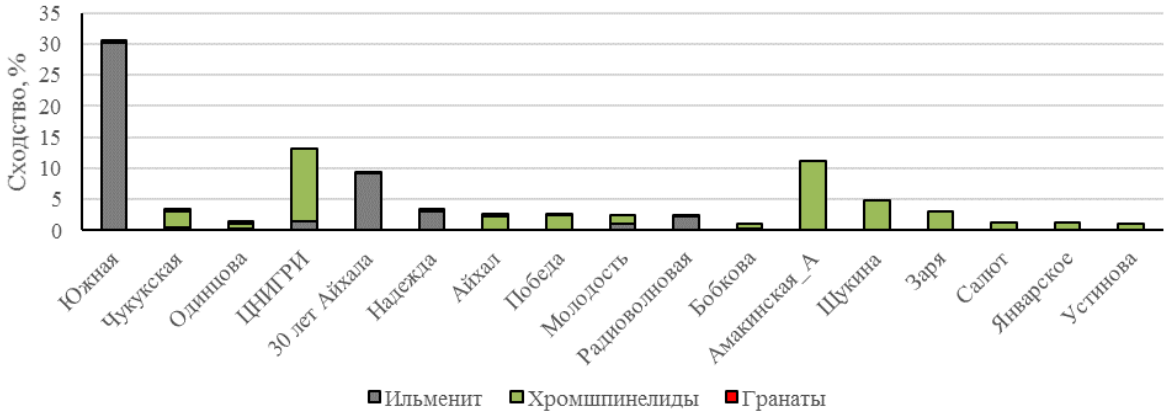


Рисунок 2. Интегральные диаграммы результатов применения алгоритма «Случайный лес» для минералов-спутников алмаза участка Тегюрюк

Для оценки потенциальной продуктивности [5,6] предполагаемого кимберлитового тела проанализирован химико-генетический состав МСА при помощи инструмента «ХГК МСА». Наиболее интересные результаты получены при изучении ильменита и хромшпинелидов.

Сохранный ильменит участка Тегюрюк характеризуется резко контрастным набором химико-генетических групп по сравнению с кимберлитами трубок Алакит-Мархинского поля (Рисунок 3). Высокая частота встречаемости ильменита из эклогитоподобных пород, преобладание четвертой химико-генетической группы, могут свидетельствовать о собственном коренном источнике ильменита.

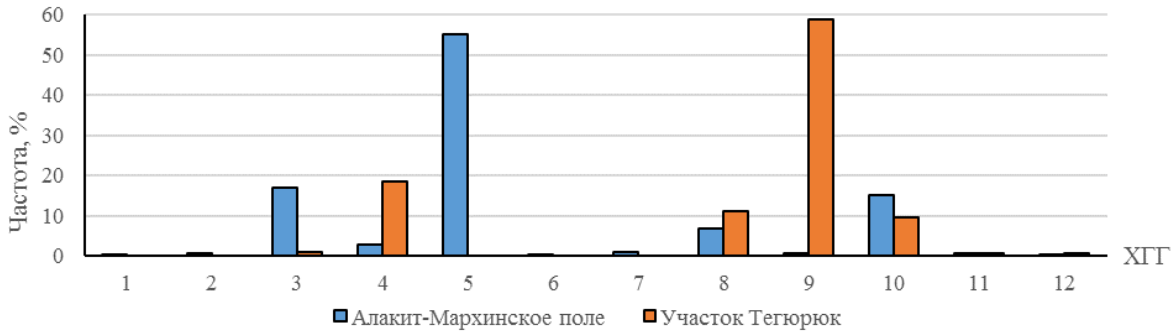


Рисунок 3. Распределение и частота встречаемости химико-генетических групп ильменита участка Тегюрюк и кимберлитов Алакит-Мархинского поля.
Номера и названия химико-генетических групп: 1 – перидотиты, включения в алмазе (низкохромистый пикроильменит); 2 – лерцолиты, (высокохромистый гейкилитовый ильменит); 3 – перидотиты, в том числе катаклазированные (хромистый пикроильменит); 4 – ортопироксениты (хромистый гейкилитовый гемоильменит); 5 – клинопироксениты (низкохромистый высокомагнезиальный гемоильменит); 6 – клинопироксениты (низкохромистый низкомагнезиальный ильменит); 7 – пироксениты и эклогиты (магнийсодержащий ильменит); 8 – эклогиты, включения в алмазе (марганцовистый ильменит); 9 – эклогитоподобные породы (ферримагнитный гемоильменит); 10 – перидотиты, клинопиксениты, включения в зональных гранатах (ферримагнитный магнезиальный гемоильменит); 11 – Сростки с гранатом, включения в зональных гранатах (ферримагнитный хромистый магнезиальный гемоильменит); 12 – Сростки с гранатом, включения в зональных гранатах, эклогиты (ферримагнитный магнезиальный гемоильменит)

Хромшпинелиды участка Тегюрюк также отличаются по набору химико-генетических групп от кимберлитов тел Алакит-Мархинского кимберлитового поля, отмечен высокомагнезиальный пикрохромит из гарцбургитов (ХГГ 2), повышена частота встречаемости хромшпинели из лерцолитов и ферриалюмохромитов (Рисунок 4).

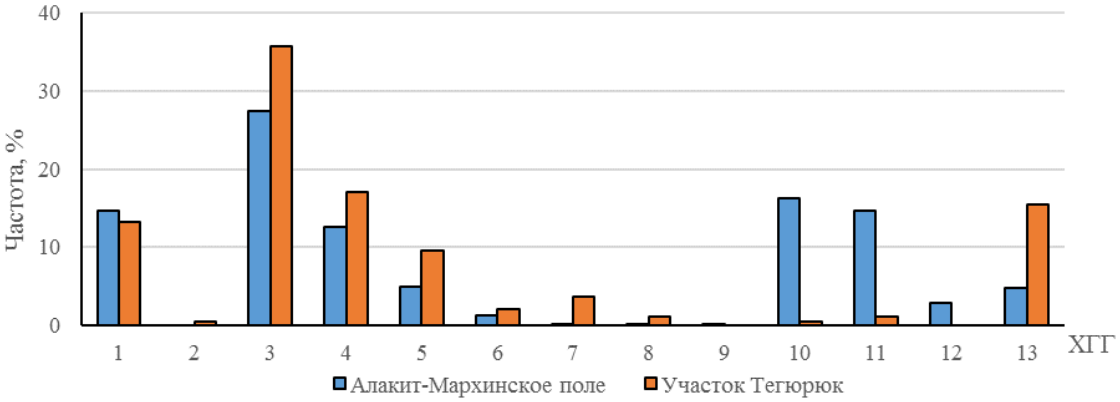


Рисунок 4. Распределение и частота встречаемости химико-генетических групп ильменита участка Тегюрюк и кимберлитов Алакит-Мархинского поля. Номера и названия химико-генетических групп:
1 – включения в алмазе, дуниты и гарцбургиты ± алмаз (пикрохромит); 2 – включения в алмазе, гарцбургиты (пикрохромит); 3 – лерцолиты, в том числе катаклазированные (алюмопикрохромит); 4 – лерцолиты (среднехромистый алюмохромит); 5 – лерцолиты

(низкохромистый алюмохромит); 6 – вебстериты (хромшпинель); 7 – лерцолиты и пироксениты (хромшпинель); 8 – магнезиальные алькремиты (хромшпинель); 9 – магнезиально-кальциевые алькремиты (шпинель); 10 – катаклазированные лерцолиты (феррихромит); 11 – катаклазированные лерцолиты (титанистый феррихромит); 12 – включения в зональных гранатах (титанистый феррихромит); 13 – включения в зональных гранатах (ферриалюмохромит)

3. Выводы

1. Химический состав минералов-спутников алмаза из осадочных коллекторов свидетельствует о вероятности наличия на территории собственных коренных источников. Сходство выборки МСА с минералами из кимберлитов с низкой и средней алмазоносностью может быть признаком невысокой продуктивности предполагаемых коренных источников.
2. Применение двух программных инструментов позволяет не только оценить вероятность наличия кимберлитового тела на площади, но и его потенциальную продуктивность.

4. Благодарности

Авторы выражают глубочайшую признательность заведующей прогнозно-методологическим отделом НИГП АК «АЛРОСА» (ПАО) Е.В. Проценко за всемерную поддержку, и старшему научному сотруднику Н.К. Шахурдиной за помощь в редактуре и ценные замечания.

5. Литература:

[1] Garanin V.K., Kudryavtseva G.P. et al. Inclusions in diamond and diamondiferous rocks. M., MSU, 1991, 239 pp.
[2] Shitikov V.K., Mastitskiy S. E. Classification, regression and other algorithms Data Mining with using R. Tolyatti, London, 2017, 351 pp.
[3] Wickham H., Winston Ch., Lionel H., Pedersen T. L., Takahashi K., Wilke C., Woo K., Create Elegant Data Visualisations Using the Grammar of Graphics, CRAN, 2018, 222 pp.
[4] Tarskikh O.V., Zabelin A.V., Zaitsevskiy F.K., Starostin P.V. Results of the algorithm Random Forest application to predictive search on the example of Alakit-Markha kimberlite field (Yakutia) // Geology and mineral resources of North-East Russia: proceedings of the X All-Russian Scientific conference (Yakutsk, 8-10 April 2020), pp. 402-406.
[5] Kharkiv A.D. Mineralogical bases of diamond deposit prospecting // M.: Nedra, 1978.
[6] Afanasiev V.P., Zinchuk N.N., Pokhilenko N.P. Morphology and morphogenesis of kimberlite indicator minerals. Novosibirsk, 2001, 276 pp.

УДК 553.81, 553.078

МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ХРОМШПИНЕЛИДОВ СЮЛЬДЮКАРСКОГО КИМБЕРЛИТОВОГО ПОЛЯ (ЗАПАДНАЯ ЯКУТИЯ)

Оксана Тарских, Александр Храмцов, Диана Винокурова, Петр Старостин
НИГП АК «АЛРОСА» (ПАО), ул. Ленина, 39, г. Мирный, 678170, Россия

MORPHOLOGICAL FEATURES AND CHEMICAL COMPOSITION OF CROMOSPINELIDES OF SYULDYUKAR KIMBERLITE FIELD (WESTERN YAKUTIA)

Oxana Tarskikh, Alexander Khramtsov, Diana Vinokurova, Petr Starostin
Geo-Scientific Research Enterprise, PJSC «ALROSA», 39 Lenin St., Mirny, 678170, Russia

Annotation. Cromospinelides of Paleozoic sediments Syuldyukar kimberlitic field are substantially different from Syuldyukar kimberlite body (An. T-54/14) those. The application Random Forest algorithm to chemical composition data array shows maximum of similarity with array from TSNIGRI pipe.

1. Введение

Сюльдюкарское кимберлитовое поле является последним по времени открытия в Якутской алмазоносной провинции. Единственное известное кимберлитовое тело Сюльдюкарское (Ан. Т-54/14) открыто в 2015 г.

Для осадочных коллекторов поля характерно широкое распространение хромшпинелидов, коренные источники которых остаются не выясненными. Для определения возможного коренного источника, а также возможного направления дальнейших поисковых работ выполнено морфологическое описание и определен химический состав хромшпинелидов из верхнепалеозойских отложений в непосредственной близости от кимберлитового тела и к югу от него.

Морфологические особенности хромшпинелидов изучены при помощи системы анализа на основе бинокулярного микроскопа OLYMPUS SZX 16, анализатора изображений SIAMS и программного обеспечения «автоматизированное рабочее место минералога» SIAMS 800.

Морфологическое описание выполнялось по методике В.П. Афанасьева [1] с дополнениями.

Химический состав хромшпинелидов изучен с помощью рентгеновского микроанализатора в ОЛО ЦАЛ НИГП.

Генетическая принадлежность определялась при помощи модернизированной классификации В.К. Гаранина [2] с использованием веб-инструмента «ХГК МСА», разработанного специалистами отдела информационных технологий НИГП АК «АЛРОСА» (ПАО).

Алгоритм «Случайный лес» (программа RPCA, зарегистрирована в реестре ЭВМ № 2018666180 от 13.12.2018) [3, 4] применен для подтверждения/опровержения гипотезы о существовании на территории Сюльдюкарского кимберлитового поля неизвестных кимберлитовых тел. Алгоритм непосредственно сравнивает выборки и выполняет статистический прогноз: оценивает степень сходства проверяемой выборки и эталонной построенной модели-дерева. Для построения дерева случайным образом выбирается k переменных (не менее 1/3 всей выборки). Из отобранных переменных выбирается та, которая дает наилучшее деление ветви дерева на две и этот процесс повторяется заданное количество раз. Под наилучшим делением понимается минимум ошибки RSS (сумма квадратов ошибок прогноза). Большое число «деревьев» позволяет минимизировать ошибку прогноза. Применение инструмента [5] показало, что наиболее достоверные результаты получаются в случае построения 5000 деревьев.

В качестве эталонной использовалась база данных химического состава хромшпинелидов из кимберлитов 63 тел Якутской алмазоносной провинции (4770 анализов).

2. Результаты исследований

Сюльдюкарское кимберлитовое поле расположено севернее с. Сюльдюкар, Мирнинского района РС(Я), в юго-западной части Ыгыаттинского алмазоносного района (Рисунок 1). К настоящему моменту на территории поля известно одно кимберлитовое тело – Сюльдюкарское (Ан. Т-54/14). Особенностью ассоциации минералов-спутников алмаза Сюльдюкарского кимберлитового поля является широкое распространение хромшпинелидов, их находки фиксируются по всему разрезу осадочных пород, от кор выветривания на кимберлитовмещающем цоколе до современных отложений.

Изучено 659 зерен хромшпинелидов из палеозойских отложений, вскрытых поисковыми скважинами в непосредственной близости и южнее кимберлитового тела.

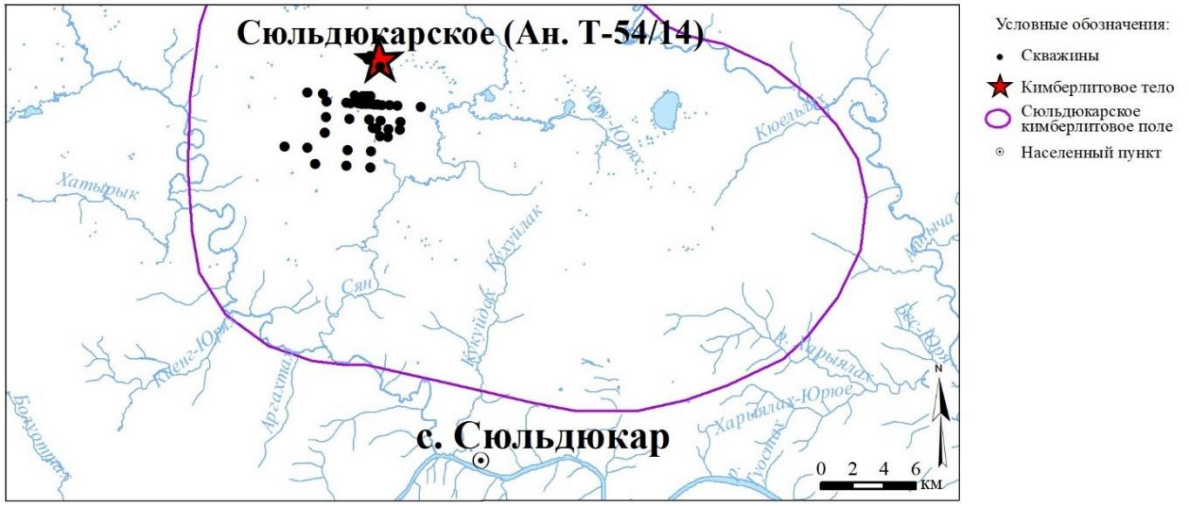


Рисунок 1. Расположение Сюльдюкарского кимберлитового поля.

Хромшпинелиды представлены мелкими (-0,5 мм) октаэдрами, угловатыми зернами и вицинальными октаэдрами, преимущество без признаков механического износа (Рисунок 2).

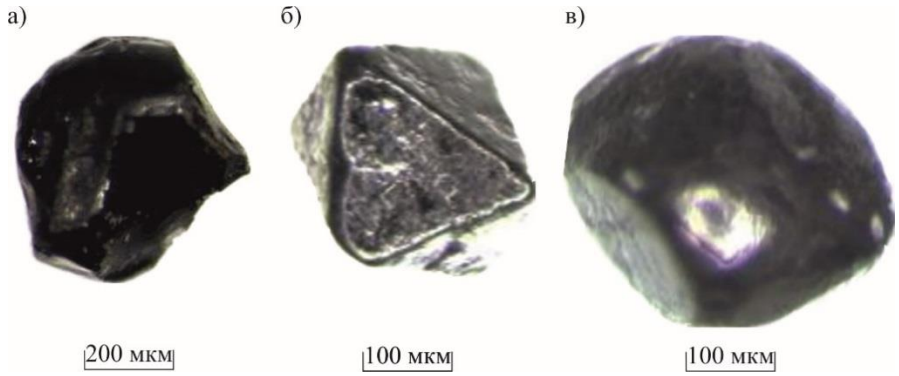


Рисунок 2. Морфологические особенности хромшпинелидов Сюльдюкарского кимберлитового поля: а) угловатое зерно, б) острореберный октаэдр, в) вицинальный октаэдр.

Химический состав хромшпинелидов варьирует в широких пределах: от хромшпинели до высокохромистых пикрохромитов, при этом оставаясь в «кимберлитовых» пределах. Сравнение с выборкой хромшпинелидов из кимберлитов тела Сюльдюкарское, показало, что в ахтарандинских и боруллойских отложениях присутствуют две химико-генетические группы (высокомагнезиальные пикрохромиты и титанистые феррихромиты), не установленные в кимберлитах тела Сюльдюкарское (Рисунок 3).

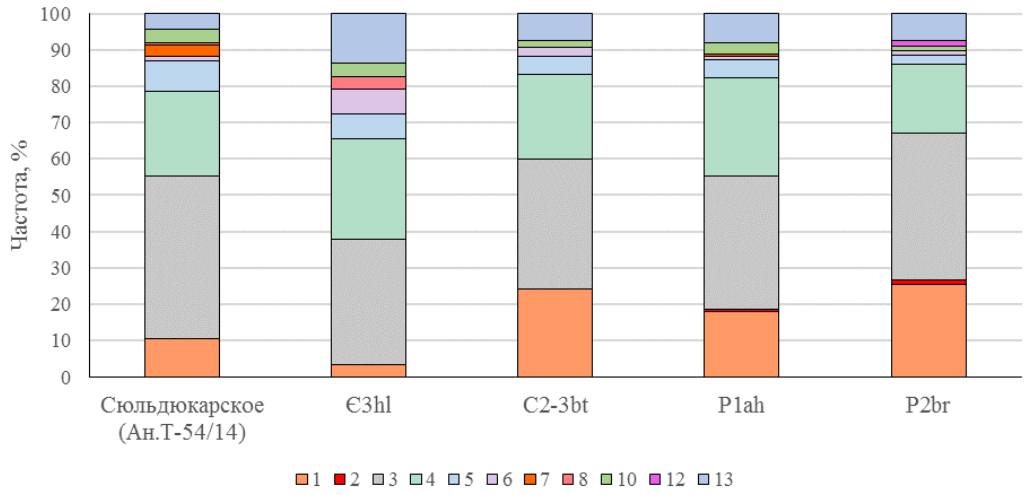


Рисунок 3. Химико-генетические группы хромшпинелидов из кимберлитов тела Сюльдюкарское (Ан. Т-54/14) и палеозойских отложений Сюльдюкарского поля. Номера и названия химико-генетических групп: 1 – включения в алмазе, дуниты и гарцбургиты (пикрохромит); 2 – включения в алмазе, гарцбургиты (высокомагнезиальный пикрохромит); 3 – лерцолиты, в том числе катаклазированные (алюмопикрохромит); 4 – лерцолиты (среднехромистый алюмохромит); 5 – лерцолиты (низкохромистый алюмохромит); 6 – вебстериты (хромшпинель); 7 – лерцолиты и пироксениты (хромшпинель); 8 – магнезиальные алькремиты (хромшпинель); 10 – катаклазированные лерцолиты (феррихромит); 12 – включения в зональных гранатах (титанистый феррихромит); 13 – включения в зональных гранатах (ферриалюмохромит).

Применение к выборке алгоритма «Случайный лес» показало максимальное сходство изученных хромшпинелидов с выборкой из кимберлитов трубки ЦНИГРИ, тогда как сходство с выборкой из кимберлитов тела Сюльдюкарское составляет менее 2,5 % (Рисунок 4).

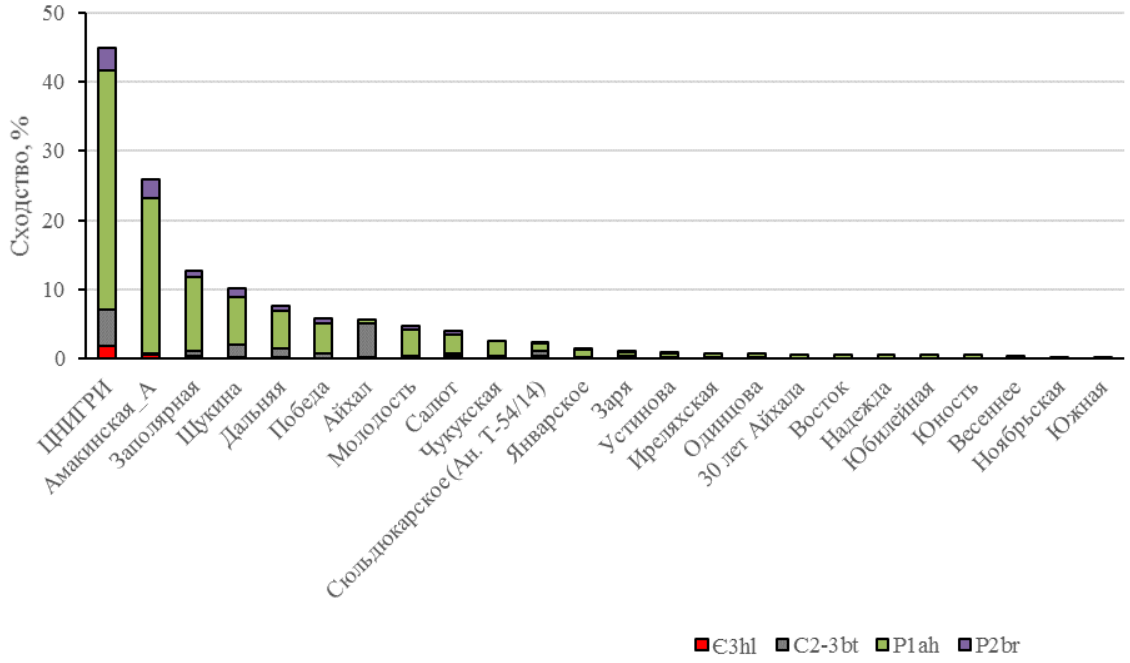


Рисунок 4. Результаты применения алгоритма «Случайный лес» к хромшпинелидам Сюльдюкарского кимберлитового поля.

3. Выводы

Таким образом, хромшпинелиды Сюльдюкарского кимберлитового поля существенно отличаются от обнаруженных в кимберлитах тела Сюльдюкарское (Ан. Т-54/14) можно предполагать наличие на территории Сюльдюкарского кимберлитового поля, как минимум, ещё одного кимберлитового тела.

4. Благодарности

Авторы выражают глубочайшую признательность заведующей прогнозно-методологическим отделом НИГП АК «АЛРОСА» (ПАО) Е.В. Проценко за всемерную поддержку, и старшему научному сотруднику Н.К. Шахурдиной за помощь в редактуре и ценные замечания.

5. Литература:

[1] Afanasiev V.P., Zinchuk N.N., Pokhilenko N.P. Morphology and morphogenesis of kimberlite indicator minerals. Novosibirsk, 2001, 276 pp.

[2] Garanin V.K., Kudryavtseva G.P. et al. Inclusions in diamond and diamondiferous rocks. M., MSU, 1991, 239 pp.

[3] Shitikov V.K., Mastitskiy S. E. Classification, regression and other algorithms Data Mining with using R. Tolyatti, London, 2017, 351pp.

[4] Wickham H., Winston Ch., Lionel H., Pedersen T. L., Takahashi K., Wilke C., Woo K., Create Elegant Data Visualisations Using the Grammar of Graphics, CRAN, 2018, 222 pp.

[5] Tarskikh O.V., Zabelin A.V., Zaitsevskiy F.K., Starostin P.V. Results of the algorithm Random Forest application to predictive search on the example of Alakit-Markha kimberlite field (Yakutia) // Geology and mineral resources of North-East Russia: proceedings of the X All-Russian Scientific conference (Yakutsk, 8-10 April 2020), pp. 402-406

УДК 549.211

РЕНТГЕНОГРАФИЯ И ИК СПЕКТРОСКОПИЯ ЯКУТИТОВ

Саргылана Угапьева[1], Сергей Громилов[2], Андрей Молотков[1],
Валентин Афанасьев[3], Антон Павлушин[1]
1 Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, пр. Ленина, 39, г. Якутск, 677000, Россия
2 Институт неорганической химии им. А.В. Николаева, пр. Академика Лаврентьева, 3, г. Новосибирск, 630090, Россия
3 Институт геологии и минералогии имени В.С. Соболева СО РАН, пр. Академика Коптюга, 3, Новосибирск, 630090, Россия

X-RAY AND IR SPECTROSCOPY OF YAKUTITES

Sargylana Ugap'eva[1], Sergey Gromilov[2], Andrey Molotkov[1],
Valentin Afanasiev[3], Anton Pavlushin[1]
1 Diamond and Precious Metal Geology Institute SB RAS, 39 Lenin Ave., Yakutsk, 677000, Russia
2 Nikolaev Institute of Inorganic Chemistry, SB RAS, 3 Acad. Lavrentieva Ave., Novosibirsk, 630090, Russia
3 V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy, SB RAS, 3 Acad. Koptyuga Ave., Novosibirsk, 630090, Russia

Annotation. Yakutites are identical to impact diamonds from the Popigai Astrobleme. The strength of impact diamond grains is comparable to high-quality synthetic diamonds, abrasive ability of impact diamond powder exceed natural and synthetic technical ones by 1.5-2 times. Yakutites is poorly studied as mineral. A compound study of Yakutites will determine the scope of their technological application and contribute to solving the problem of genesis of placer deposits in the north-east of the Siberian Platform. This paper presents the results of studying the structure and defect composition of yakutites by X-ray analysis and IR spectroscopy. The X-Ray diffraction patterns of studied samples show differences in texture - from single crystals to powder. Reflections of lonsdaleite and diamond appear in the diffraction patterns. According to the content of A and B1 defects, the studied samples are classified as low-nitrogenous diamonds.

1. Введение

Якутиты сопоставимы с импактными алмазами, которые по прочности зерен соответствуют высококачественным синтетическим, по абразивной способности порошки из них превосходят природные и искусственные технические в 1,5 - 2 раза, а полученный на их основе сверхтвердый материал и изделия из него не менее чем в 2,0 - 2,5 раза [1]. Данная разновидность алмаза как минерал слабо изучена, с практической точки зрения представляет интерес как абразивное сырье, с фундаментальной точки зрения как минерал импактного происхождения. Комплексное изучение якутитов позволит определить сферы их технологического применения и способствовать решению проблемы коренного источника россыпных месторождений северо-востока Сибирской платформы.

2. Образцы и методы исследования

Якутиты из россыпи р. Эбелях представлены образцами массивно-зернистого и микроблочного строения [2,3]. Для исследования методами рентгеноструктурного анализа и ИК-спектроскопии якутиты были расколоты. При детальном изучении расколотых фрагментов установлено, что якутиты состоят из нескольких блоков, которые отличаются по морфологии (Рисунок 1).

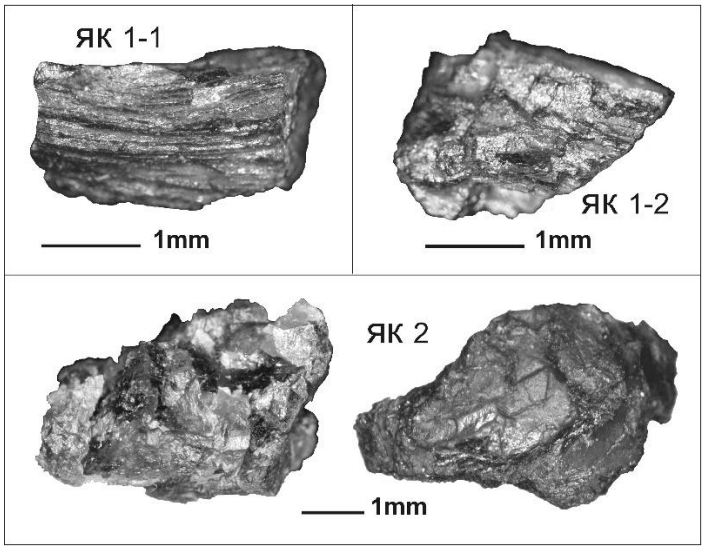


Рисунок 1.
Фото фрагментов якутитов ЯК1 и ЯК2.

Новые данные о структуре якутитов получены на монокристальном дифрактометре Bruker ApexDuo (Cu*K*α–излучение, графитовый монохроматор, CCD-детектор). С помощью инфракрасного комплекса, состоящего из ИК Фурье-спектрометра «ФТ-801» и ИК-микроскопа «Микран-2» изучен примесный состав пластинчатых обломков. Съемка спектров ИК пропускания проводилась в диапазоне 700-4000 $см^{-1}$ со спектральным разрешением 1 $см^{-1}$. Ввиду крайне слабой прозрачности обломков, пропускание в ИК диапазоне сильно ослаблено, а спектры зашумлены. Для накопления устойчивой спектральной картины, количество проходов было задано более двухсот.

3. Результаты исследования и выводы

Дифракционные картины получены от осколков якутитов, размеры которых не превышают 0,5 мм. Лауэграммы исследованных образцов показывают различия в текстуре - от монокристаллов до порошка (Рисунок 2). Если сравнивать дифракционные картины якутитов и внутрикратерных импактных алмазов (ВИА), то монокристаллические рефлексы наиболее характерны для первых. На лауэграммах ВИА они не наблюдаются или слабо выражены [4]. Анализ дифрактограмм якутитов показывает, что рефлексы алмаза значительно уширены, а со стороны малых углов 2θ отражение $(111)_D$ алмаза имеет плечо (перегиб в области 42°), которое соответствует отражению $(100)_L$ лонсдейлита (Рисунок 3). В якутитах следы графита отмечаются КР-спектроскопией [3], но на дифракционных картинах не обнаруживается. Крайне малое содержание графита в якутитах, очевидно связано с тем, что они образовались в эпицентре взрыва при максимальных динамических параметрах, в результате чего практически весь графит перешёл в высокобарические фазы. В процессе выброса прошла закалка этого состояния.

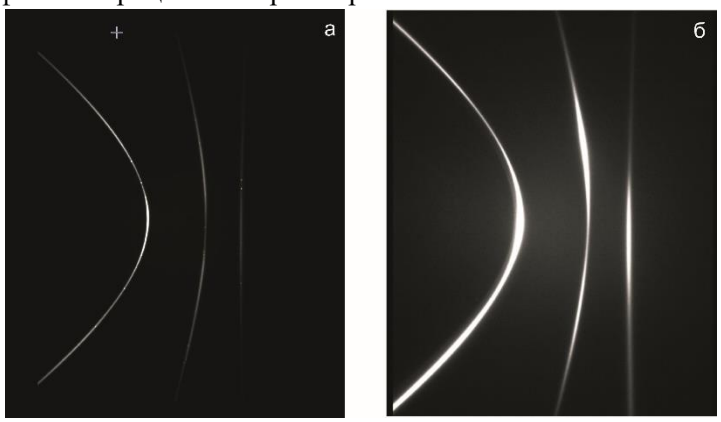


Рисунок 2. Лауэграммы монокристаллического (а) и поликристаллического (б) осколков якутитов

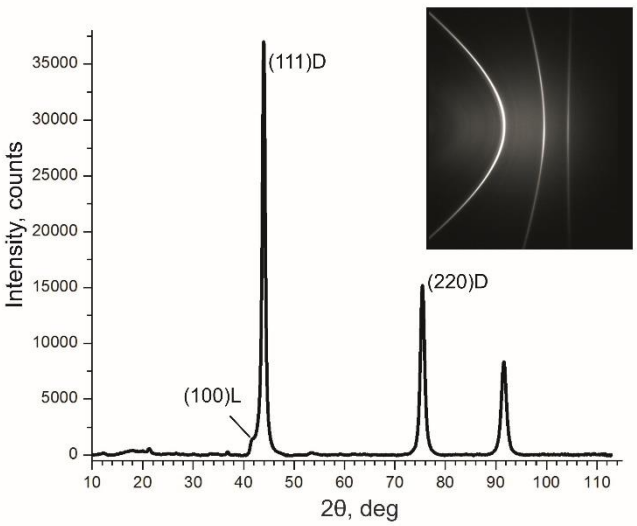


Рисунок 3. Дифрактограмма и дебаеграмма фрагмента якутита

На основе полученных ИК спектров проведен частичный анализ дефектно-примесного состава. Нехарактерным для ИК спектров монокристаллических алмазов, но проявленное в исследованных нами образцах, стало сильное уширение и сглаживание, практически всех спектральных линий, маркирующих дефекты в однофононной области (700 - 1400 $см^{-1}$). Это вероятно связано с несовершенством структуры якутитов и присутствием некотрого количества лонсдейлита.

Для восстановления из зашумленного и искаженного сигнала исходного спектра было применено программное обеспечение Spectrexamination и методика, изложенная в сборнике «Геология алмаза – настоящее и будущее» [5]. Программное обеспечение (любезно предоставленное разработчиком) позволило методом разложения спектра на составляющие, и с учетом деградации картины собственного (алмазного) решеточного ИК поглощения (1400 - 2700 $см^{-1}$), определить приблизительные интенсивности полос ИК поглощения в однофононной области (700 - 1400 $см^{-1}$) спектра (Рисунок 4). Модельно восстановленные ИК спектры показали наличие структурной примеси азота в форме А (пара атомов азота в соседних замещающих положениях) и В1-дефектов (четыре замещающих атома азота вокруг вакансии). По физической классификации совместное наличие этих примесей характерно для природных алмазов смешанного типа laA/B [6]. Появление в области 1000$см^{-1}$ - 1100$см^{-1}$ пика (для як1) и перегиба (для як2), может свидетельствовать о наличии силикатов. В таблице приведены концентрации азотных дефектов, рассчитанные на основе спектральных данных по интенсивности основных полос поглощения 1282$см^{-1}$ и 1175$см^{-1}$ дефектов А и В1 соответственно.

Таблица 1

Образец	Концентрация A (ppm)	Концентрация B1 (ppm)	Сумма дефектов A+B1 (ppm)	%B1 от суммы дефектов A+B1
як1	121	29	150	19
як2	209	46	255	18

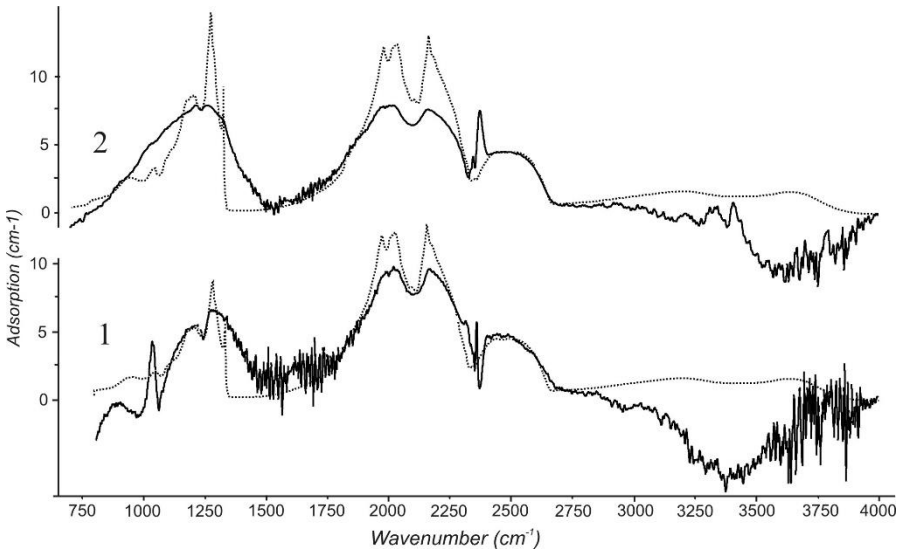


Рисунок 4. ИК спектры обломков якутитов: 1 - як1 и 2- як2 (сплошная кривая - исходный спектр, пунктирная - восстановленный).

Полученные значения нанесены на четырехкомпонентную диаграмму (Рисунок 5), выражающую связь между общей концентрацией азотных дефектов A+B1 (ppm) и степенью (%) агрегированности азота в дефекты B1, а также возможным, модельным временем резиденции алмаза при определенной температуре [7].

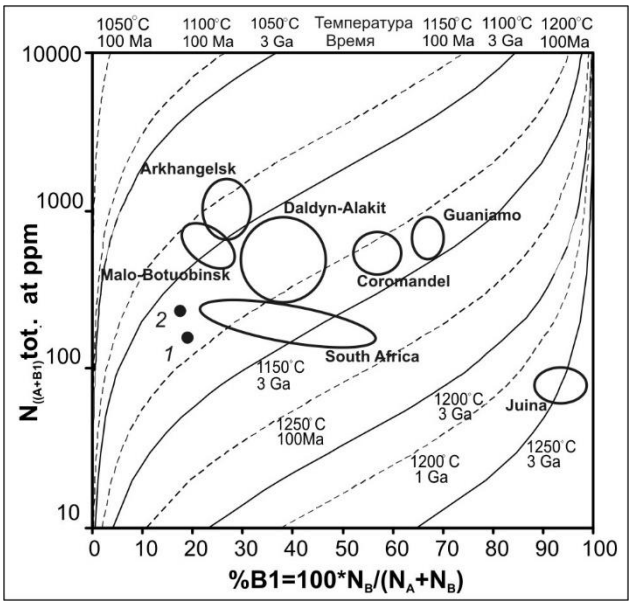


Рисунок 5. Якутиты 1 - як1 и 2- як2, и поля средних значений для различных алмазоносных провинций (по данным Хачатрян Г.К.) на диаграмме Taylor W.R., Milledge H.J.

Из приведенных данных видно, что общее содержание A и B1 дефектов невелико, исследованные образцы относятся к низко-азотистым. Доля дефекта B1, возникающего в ходе длительного высокотемпературного отжига, ниже усредненных значений для известных алмазоносных провинций [8].

4. Благодарности

Работа выполнена в рамках госзадания ИГАБМ СО РАН и при частичной финансовой поддержке проектов РФФИ 18-45-140011 р_а, «Арктика» 18-05-70063.

5. Литература:

[1] Bochko, A.V., Walter, A. A., Gursky, D. S., Eremenko, G. K. Technological properties of impact diamonds // Mineralogical Journal. 1999, vol. 21, no. 2-3, pp.16-22 (in Russian).

[2] Ugap'eva, S.S., Zayakina, N.V., Pavlushin, A.D., Oleinikov, O.B. The results of compound mineralogical studies of yakutites from placer deposites in the Anabar diamondiferous region // Otechestvennaya Geology. 2010, no. 5, pp. 37-44 (in Russian).

[3] Afanasiev, V.P., Ugap'eva, S.S., Yelisseyev, A.P., Gromilov, S.A. Yakutites - impact diamonds of The Popigai astrobleme //Ores and metals. 2019, no. 2, pp. 30-37 (in Russian).

[4] Yelisseyev, A.P., Afanasyev, V.P., Gromilov, S.A. Yakutites from the Popigai Meteorite Crater // Diamond and Related Materials. 2018, vol. 89, pp. 10-17.

[5] Kovalchuk, O.E., Svirdova, N.O., Koptel, V.I. Diamond database and hardware and software complex for their processing // Geology of diamond – present and future, Digest of articles. – Voronezh State University, 2005, pp. 1535-1548 (in Russian).

[6] Bokiy, G.B., Bezpukov, G.N., Klyuev, Yu.A., Naletov, A.M., Nepsha, V.I. Natural and synthetic diamonds. Moscow, Nauka, 1986, 220 pp. (in Russian).

[7] Taylor, W.R., Milledge, H.J. Nitrogen aggregation character, thermal history, and stable isotope composition of some xenolith-derived diamonds from Roberts Victor and Finsch // 6 international kimberlite Conference. Russia, 1995, pp. 620-622.

[8] Khachatryan G.K. An improved method for evaluating nitrogen concentrations in diamond and its practical application // Geological aspects of the mineral resource base of AK "ALROSA": current state, prospects, solutions, Digest of articles. Mirniy, 2003, pp. 319-322 (in Russian).

УДК 550.42

ГЕНЕЗИС АЛМАЗОНОСНЫХ КИМБЕРЛИТОВ

Владимир Шкодзинский
Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, пр. Ленина, 39, г. Якутск, 677000, Россия

GENESIS OF DIAMOND-BEARING KIMBERLITES

Vladimir Shkodzinskiy
Diamond and Precious Metal Geology Institute SB RAS, 39 Lenin Ave., Yakutsk, 677000, Russia

Annotation. According to the data on the hot heterogeneous accretion of the Earth, kimberlite magmas arose from the residual melts of the near-bottom peridotite layer of the magmatic ocean. This origin explains all the numerous features of kimberlites.

1. Введение

Наиболее распространенным представлениям [1] о возникновении кимберлитовых магм путем отделения выплавок в подплавленных на 1 % перидотитовых плюмах противоречат отсутствие кимберлитов в океанических областях и очень высокая вязкость слабо подплавленных пород (порядка 10^{23} пуаз), которая препятствовала отделению выплавок. Полученные в последние десятилетия [2] доказательства горячей гетерогенной аккреции Земли и фракционирования на ней глобального магматического океана объясняют все особенности формирования кимберлитов.

2. Происхождение кимберлитовых магм

При горячем образовании Земли на ней существовал слоистый магматический океан глубиной до 250 км, придонный его слой имел перидотитовый состав. По современным экспериментальным данным фракционирование богатых углекислотой перидотитовых магм при давлении более 2,5 ГПа приводило к образованию кимберлитовых остаточных расплавов. Вследствие кристаллизации слоистого океана магмы сверху вниз придонный перидотитовый слой закристаллизовался сравнительно поздно, что объясняет относительно молодой возраст кимберлитов – в среднем 236 миллионов лет [2]. Раздвижение родоначальной для кимберлитов континентальной литосферы под океаническими областями является причиной отсутствия в них кимберлитов. При таком образовании кимберлитовые магмы и раннедокембрийские комплексы являются продуктом кристаллизации одного и того же глобального магматического океана. Это обусловило размещение кимберлитов на древних кратонах.

Образование из остаточных расплавов объясняет повышенное содержание в кимберлитах расплавофильных калия, воды, углекислоты и легких редких земель. Исходные перидотитовые магмы были высокомагнезиальными. Большая магнезиальность мало изменялась при высокобарическом фракционировании, так как вследствие огромного давления происходила повышенная кристаллизация и осаждение феррофильного граната. Судя по содержанию в кимберлитах почти до тысячи хондритовых норм легких редких земель, кимберлитовые расплавы образовались при затвердевании исходной перидотитовой магмы более чем на 99,9 %. Поэтому их объем в мантии был очень небольшим. Это объясняет относительно небольшой объем кимберлитовых тел. Всеземное распространение глобального магматического океана обусловило повсеместное присутствие остаточных кимберлитовых расплавов в основании континентальной литосферы, является причиной образования кимберлитов почти на всех древних платформах и их рассеянного распределения. Мантийные ксенолиты в кимберлитах являются кумулатами перидотитовых магм, фракционировавших с образованием кимберлитовых остаточных расплавов. Это объясняет широкое распространение их в кимберлитах и иногда присутствие в них алмаза.

3. Генезис алмазов

Алмаз формировался в результате накопления в остаточном расплаве углерода, который почти не входил в состав кристаллизовавшихся минералов. Формирование алмаза началось еще при ультраосновном составе придонного слоя. Это объясняет присутствие в них включений ультраосновного парагенезиса и наиболее древний их возраст (до 3 млрд. лет). Вязкость последних остаточных расплавов увеличилась в тысячи раз. Это приводило к уменьшению скорости диффузии углерода, к возрастанию степени пересыщения им расплавов, к смене послойного тангенциального роста алмазов радиальным и октаэдрической морфологии возникавших кристаллов на ромбододекаэдрическую и кубическую и к образованию разнообразных скульптур на кристаллах. Из-за накопления расплавофильных компонентов в расплавах содержание примесей и азота увеличивалось в тысячи раз от ранних алмазов к поздним. Наиболее высоко алмазоносными были самые глубинные магмы. Вследствие повышенной плотности наиболее мафические магнезиальные и хромистые разновидности перидотитовых магм располагались в самых нижних частях перидотитового слоя. Это объясняет существование положительной корреляции между алмазоносностью кимберлитов и магнезиальностью, и хромистостью содержащихся в них минералов.

4. Происхождение кимберлитовых трубок

На P-T диаграмме фазового состава (Рисунок) линии со стрелками показывают эволюцию магм при подъеме.

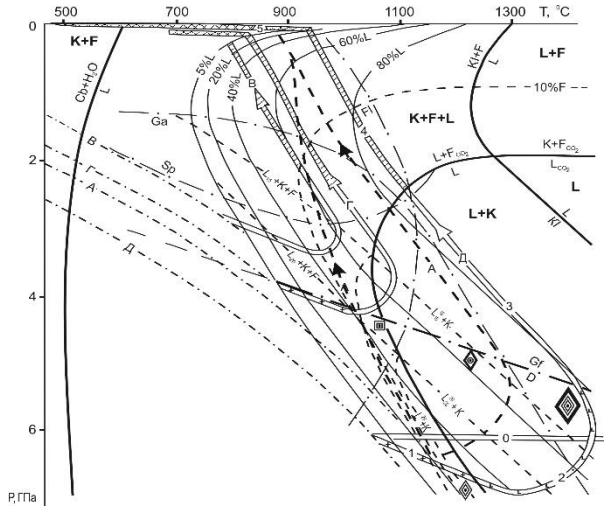


Рисунок. P-T диаграмма фазового состава и эволюции кимберлитовых магм (линии со стрелками A – G) с содержанием по 10 % H_2O и CO_2.

Cb – карбонат, D – алмаз, Ga – гранат, Gf – графит, Sp – шпинель, F – флюид, K – твердые фазы кимберлита, $L^{20}{}_{20}$ – расплав и содержание в нем H_2O (нижний индекс) и CO_2 (верхний). На линиях эволюции: 0 – образование мантии; 1 и 2 – этапы интенсивного соответственно фрикционного и декомпрессионно-фрикционного плавления; 3, 4 и 5 – этапы соответственно декомпрессионного плавления, декомпрессионного затвердевания и эксплозивной дезинтеграции. A – G – линии геотермических градиентов. Рисунки кристаллов – морфология алмазов [2].

В наиболее глубинном поле L + P линии эволюции магм пересекают изоконцентраты расплава с увеличивающимися значениями, что свидетельствует о декомпрессионном плавлении твердых фаз при подъеме. Это объясняет округлую форму большинства ранних минералов в кимберлитах. Плавлением при подъеме обусловлена и широко распространенная более высокая магнезиальность внешних частей кристаллов минералов по сравнению с внутренними. В поле L + P + F линии эволюции магм при подъеме пересекают изоконцентраты расплава с уменьшающимися значениями. Это иллюстрирует существование очень важного для понимания

генезиса кимберлитов явления декомпрессионного затвердевания магм при подъеме. Оно обусловлено уменьшением концентрации летучих компонентов в расплаве вследствие выделения их из него под влиянием декомпрессии. Это приводило к затвердеванию расплава. Под влиянием законсервированного затвердеванием высокого внутреннего давления газов происходила эксплозивная дезинтеграция верхних частей магматических колонн и формирование кимберлитовых трубок и брекчий. Мощность взрывов вследствие большого объема взрывавшегося вещества в тысячи раз превосходила силу взрыва атомной бомбы, сброшенной на Хиросиму. Это объясняет дробление многокилометровых толщ перекрывающих пород, формирование протяженных кимберлитовых трубок и отсутствие кимберлитовых лав. Расширение флюида при взрыве приводило к резкому падению температуры и к отсутствию контактового метаморфизма.

5. Заключение

Таким образом, учет существования магматического океана позволяет объяснить все особенности кимберлитов.

6. Литература:

[1] Dobretsov, N. L. Bases of tectonics and geodynamics. Novosibirsk: NSU Publishing house, 2011. 492 pp.

[2] Shkodzinskiy, V.S. Global Petrology based on current data on hot heterogeneous accretion of the Earth. Yakutsk: SVFU, 2018, 244 pp.

УДК 551.14:552.321.6 (571.56)

СОСТАВ И СТРОЕНИЕ ЛИТОСФЕРНОЙ МАНТИИ ВЕРХНЕ-МУНСКОГО КИМБЕРЛИТОВОГО ПОЛЯ ПО ДАННЫМ ИССЛЕДОВАНИЯ ГЛУБИННОГО КСЕНОГЕННОГО МАТЕРИАЛА

Игорь Яковлев[1], Владимир Мальковец[1,2], Анастасия Гибшер[1,2]
1 Институт геологии и минералогии имени В.С. Соболева СО РАН, пр. Академика Коптюга, 3, г. Новосибирск, 630090, Россия
2 НИГП АК «АЛРОСА» (ПАО), Чернышевское шоссе, 16, г. Мирный, 678175, Россия

COMPOSITION AND STRUCTURE OF THE LITHOSPHERIC MANTLE OF THE UPPER MUNA KIMBERLITE FIELD ACCORDING TO THE STUDY OF DEEP-SEATED MANTLE CARGO

Igor Yakovlev[1], Vladimir Malkovets[2], Anastasiya Gibsher[3]
1 V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy, SB RAS, 3 Acad. Koptyuga Ave., Novosibirsk, 630090, Russia
2 NIGP ALROSA PJSC, 16 Chernyshevskoe Hwy., Mirny, 678175, Russia

Annotation. The paper presents new data on the mineralogical study of peridotite xenoliths and high mineral concentrate from the Komsomolskaya-Magnitnaya kimberlite pipe, which belongs to the Upper Muna kimberlite field. This is one of the least studied diamondiferous pipes of the Siberian platform; however, the pipe contains many unchanged xenoliths of peridotite rocks. We studied a collection of 180 peridotite xenoliths of the Komsomolskaya-Magnitnaya pipe, of which 104 belong to dunite-harzburgite paragenesis, 74 to lherzolite and 4 websterites. Also, we studied a large number of minerals from concentrate material of Komsomolskaya-Magnitnaya kimberlite pipe. A high proportion (~ 30 %) of peridotites with high magnesian olivine (Mg# > 93 mol. %) indicates the presence of a block of highly depleted rocks in the lithospheric mantle. We noted a high proportion of garnets with S-shaped REE distribution spectra (~ 60 %), as well as garnets belonging to the harzburgite-dunite paragenesis in accordance with the CaO-Cr2O3 diagram. It indicates a moderate role of metasomatic changes associated with silicate melts, as well as interaction with carbonatite melts enriched in LREE. The paleogeotherm was constructed with PT parameters estimated using single-clinopyroxene thermobarometry. The paleogeotherm has typical cratonic heat flow values ~34–35 mW/m2, which corresponds to 225–230 km lithospheric thickness, and 110–120 thick “diamond window” for the Upper Muna field at ca. 360 My.

1. Введение

Для разработки эффективных методов поиска и оценки месторождений алмаза важно понимать процессы, при котором образовались не только эти месторождения, но и сами алмазы. В настоящее время достоверно известно, что генезис большинства алмазов из кимберлитов, связан с субконтинентальной литосферной мантией [1]. Предполагается, что процесс образования алмаза связан с метасоматическими процессами, и, в частности, с карбонатитовым метасоматозом, на что указывает химический состав флюидных включений в алмазах [2]. Силикатный метасоматоз, как правило, более поздний, чем карбонатитовый и является причиной растворения алмаза, что может стать причиной убогой алмазоносности киберлитовых тел или отсутствием алмаза в кимберлитовых трубках. Определить степень метасоматической переработки алмазоносного киля, а также мощность “алмазоносного окна” возможно с помощью изучения ксенолитов перидотитов из кимберлитов, а также их дезинтегрированных фрагментов из тяжелой фракции. Ксеногенный материал, вынесенный на поверхность кимберлитами,

является основным источником информации о составе и строении литосферной мантии древних кратонов.

Целью данной работы является исследование особенностей состава и строения литосферной мантии под Верхне-Мунским кимберлитовым полем.

В данной работе мы представляем результаты минералогических исследований ксенолитов перидотитов и концентрата тяжелой фракции из трубки Комсомольская-Магнитная. Трубка является одним из месторождений в пределах Верхне-Мунского кимберлитового поля, расположенного в северо-восточной части Сибирского кратона. Возраст кимберлитов данного поля принимается как среднепалеозойский (D3-C1) [3].

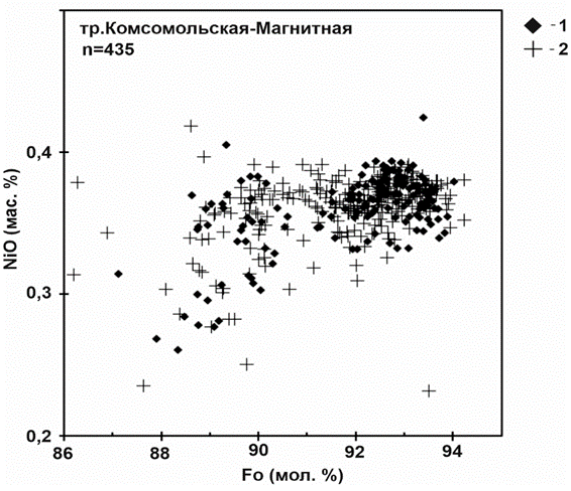
Нами были проведено изучение химического состава минеральных ассоциаций 170 перидотитовых ксенолитов. Изученная коллекция ксенолитов включает 81 дунит (5 хромит-пироповых, 26 пироповых и 22 хромитовых), 75 гарцбургитов (9 хромит-пироповых, 24 пироповых и 11 хромитовых) и 14 лерцолитов (1 хромит-пироповый, 3 пироповых). В трех образцах (два гарцбургита и один лерцолит) присутствует флогопит. Как правило, размер ксенолитов варьирует от 1 до 8 см, однако встречаются образцы более 20 см.

Химический состав минералов определяли методом ЕРМА на электронно-зондовом микроанализаторе JEOL JXA-8100 в Цетре коллективного пользования многоэлементных и изотопных исследований СО РАН (Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева, Новосибирск). Для проверки степени гомогенности и наличия вариаций в составах оливинов для каждого ксенолита анализировалось по пять зерен. При исследовании оливинов ускоряющее напряжение составляло 20 кВ, ток пучка 900 нА для регистрации концентраций примесей и 50 нА – для макрокомпонентов, по специальной методике, позволяющей достигнуть точности 20–30 г/т (две стандартные ошибки) для Ni, Ca, Mn, Al, Ti, Cr и 0,02 мол. % для форстеритовой составляющей (Fo = [100Mg/(Mg + Fe)]) в оливине. Химический состав гранатов, клинопироксенов и хромитов выполняли по стандартным методикам.

2. Результаты исследования оливинов из перидотитовых ксенолитов и концентрата тяжелой фракции трубки Комсомольская-Магнитная

Основным породообразующим минералом ксенолитов перидотитов является оливин. Исследование химического состава оливина предоставляет нам информацию как о степени частичного плавления литосферной мантии (повышение Mg#), так и о более поздних наложенных метасоматических процессах.

Всего было исследовано 880 зерен оливина из 171 перидотитового ксенолита. Исследование показало, что магнезиальность оливинов варьирует в среднем от 88 до 94 %, при этом магнезиальность большинства (64 %) исследуемых зерен превышает 92 % и 30 % зерен имеют магнезиальность >93%. Таким образом, около 30 % зерен попадают в область составов, характерных для включений оливина в алмазах.



На основании магнезиальности оливина можно выделить две группы ксенолитов перидотитов: группа 1 с “типичными” мантийными значениями Mg# 88-90 % и группа 2 с высокодеплетированными составами Mg# 91-94 % (Рисунок 1).

Рисунок 1. Диаграмма Fo-NiO с вынесенными составами оливинов из перидотитовых ксенолитов (1) и концентрата (2) трубки Комсомольская-Магнитная.

3. Результаты исследования гранатов из перидотитовых ксенолитов и концентрата тяжелой фракции трубки Комсомольская-Магнитная

Химический состав гранатов был исследован в 35 ксенолитах. Все исследованные гранаты представлены пиропами. Из них 10 относятся к гарцбургит-дунитовому и 25 к лерцолитовому, гранаты из двух образцов близки по составу к верлитовым.

Для сопоставления также было исследовано 626 зерен граната из шлиховых проб, взятых из концентрата тяжелой фракции трубки Комсомольская-Магнитная (Рисунок 2). На диаграмме Соболева Н.В. CaO-Cr_2O_3 масса гранатов из концентрата тяжелой фракции относится к лерцолитовому парагенезису (~90 %), присутствуют гранаты гарцбургит-дунитового парагенезиса (~6 %), характерные для включений граната в алмазе. Гранатов с составом близким к верлитовым ~4 %. Также следует обратить внимание, что около 30 % гранатов из концентрата имеют в составе менее 2 масс. % Cr_2O_3, что может свидетельствовать об их эклогитовом или пироксенитовом происхождении.

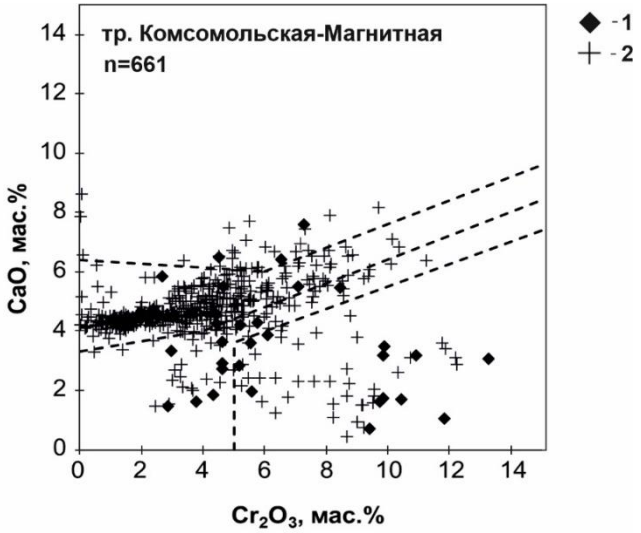


Рисунок 2. Диаграмма CaO-Cr_2O_3 с вынесенными составами пиропов из перидотитовых ксенолитов (1) и концентрата тяжелой фракции (2) из трубки Комсомольская-Магнитная.

По распределению редкоземельных элементов на хондрит-нормализованных спектрах REE можно выделить две группы гранатов. К группе 1 относятся гранаты с типичными для фертильных спектрами распределения редкоземельных элементов, а к группе 2 гранаты с S-образными спектрами, которые характерны для минеральных включений гранатов в алмазах. Такой тип распределения РЗЭ в гранате может быть получен в результате воздействия сильно обогащенных легкими РЗЭ флюидов или расплавов, каковыми являются карбонатитовые расплавы/флюиды.

Наличие достаточно многочисленной группы (66 %) ксенолитов с гранатами группы 2 свидетельствует о высокодеплетированном составе литосферной мантии в области “алмазного” окна.

4. Результаты термобарометрии и построение палеогеотермы под трубкой Комсомольская-Магнитная

Для модельной реконструкции среднепалеозойской палеогеотермы под трубкой Комсомольская-Магнитная использовался мономинеральный клинопироксеновый термобарометр Нимиса, Тэйлора (2000). На рисунке 3 представлены результаты *P-T* данных и полученной геотермы. Наблюдается хорошая сходимость для основной массы точек. В расчете были использованы только те точки, для которых значение давления не превышало 5.5 ГПа, что связано с ограничениями термобарометра Нимиса, Тейлора (2000) [4].

Значение теплового потока составило 34.5 мВ/м^2, а мощность литосферной мантии – 220 км, что хорошо согласуется с результатами, полученными ранее по трубке, Новинка Верхне-Мунского кимберлитового поля (34.1 мВ/м^2 и 225 км) [5].

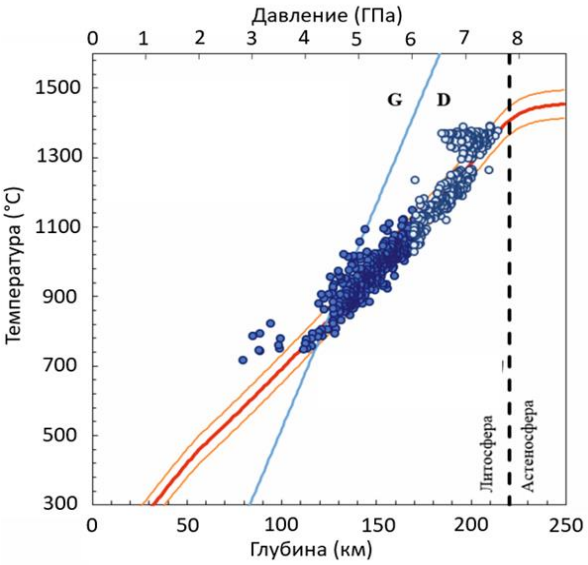


Рисунок 3. Модельная палеогеотрема, рассчитанная с использованием программы FITPLOT. Красная линия – палеогеотерма и ее доверительные интервалы (оранжевые тонкие линии); Пунктирная линия – основание литосферной мантии. G и D – поля стабильности графита и алмаза, соответственно.

4. Выводы

Результаты проведенных минералогических исследований свидетельствуют о наличии блока высокодеплетированных пород в литосферной мантии под Верхнемунским кимберлитовым полем. Наличие достаточно высокой пропорции гранатов алмазоносного гарцбургит-дунитового парагенезиса, а также низкохромистых субкальциевых гранатов наряду с высокой алмазоносностью кимберлитов трубки Комсомольская-Магнитная свидетельствует о низкой степени метасоматической переработки литосферного алмазоносного киля.

На основе данных о мощности литосферной мантии и термического градиента под трубкой Комсомольская-Магнитная, можно сделать вывод, что «алмазное окно» в этой области во время кимберлитового магматизма распространялось с глубин 125 до 220 км. Такой широкий интервал указывает на высокую потенциальную алмазоносность трубки Комсомольская-Магнитная.

5. Благодарности

Геохимические исследования минералов выполнены при поддержке гранта РНФ № 18-17-00249.
Минералогические исследования выполнены при поддержке гранта РФФИ № 20-35-90097.

6. Литература:

[1] Sobolev, N.V., Lavrent'ev, Y.G., Pokhilenko, N.P., and Usova, L.V., Chrome-rich garnets from the kimberlites of Yakutia and their paragenesis: Contributions to Mineralogy and Petrology, 1973, vol. 40, pp. 39–52.

[2] D.A. Zedgenizov, S. Rege, W.L. Griffin, H. Kagi, V.S. Shatsky, Composition of trapped fluids in cuboid fibrous diamonds from the Udachnaya kimberlite: LAM-ICPMS analysis // Chemical Geology, 2007, vol. 240, pp.151–162.

[3] Brahfogel F.F., Zaitsev A.I., Shamshina E.A., The age of kimberlite magmatites is the basis for predicting the diamond content of the territory // Otechestvennaya geologiya, 1997, no. 9, pp. 20-24.

[4] Nimis P., W. Taylor (2000) Single clinopyroxene thermobarometry for garnet peridotites. Part I. Calibration and testing of a Cr-in-Cpx barometer and an enstatite-in-Cpx thermometer. Contrib. Mineral. Petrol. vol. 139, pp. 541-554.

[5] Luca Ziberna, Paolo Nimis, Dmitry Kuzmin, Vladimir G. Malkovets, Error sources in single-clinopyroxene thermobarometry and a mantle geotherm for the Novinka kimberlite, Yakutia // American Mineralogist, 2016, vol. 101, pp. 2222–2232.

УДК 550.385

ДИНАМИКА ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА НИЖНЕЙ И СРЕДНЕЙ АТМОСФЕРЫ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ В КОНЦЕ 2018 Г. – НАЧАЛЕ 2019 Г.

Михаил Васильев[1,2]

1 Институт космофизических исследований и аэрономии им. Ю.Г. Шафера СО РАН – обособленное подразделение ФГБУН ФИЦ Якутский научный центр СО РАН, г. Якутск, пр. Ленина 31, 677027, Россия

2 Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, ул. Белинского, 58, г. Якутск, 677000, Россия

DYNAMICS OF THE TEMPERATURE REGIME OF THE LOWER AND MIDDLE ATMOSPHERE IN CENTRAL YAKUTIA IN THE END OF 2018 - EARLY 2019

Mikhail Vasiliev[1, 2]

1 Yu.G. Shafer Institute of Cosmophysical Research and Aeronomy of SB RAS, 31 Lenin Ave., Yakutsk, 677027, Russia

2 M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, 58 Belinsky St., Yakutsk, 677000, Russia

Annotation. The paper presents the results of the analysis of the dynamics of the temperature regime of the lower and middle atmosphere in Central Yakutia during the maximum development (±10 days) of the major sudden stratospheric warming (SSW) in late 2018 - early 2019. Data on atmospheric radiosensing (st. Yakutsk airport, 62.08N, 129.75E, 103 *m* above sea level, WMO index 24959) and ERA-Interim reanalysis at isobaric heights from 1000-1 *mbar* (37 levels in altitude) with a latitudinal-longitudinal resolution of 1 x 1 degree. Linear and polynomial trends in the mean temperature of the troposphere ($T_{av.\ troposphere}$) and temperature at isobaric heights of 50 (T_{50}) and 10 (T_{10}) *hPa* were used to determine the general nature of the dynamics of the temperature regime (trends of growth and decline, troughs and crests) of the lower and middle atmosphere in the Central Yakutia.

1. Введение

Известно, что ВСП в зимний период является ярким примером атмосферных процессов, при котором проявляется динамическое взаимодействие таких геосфер как нижняя (тропосфера) и средняя (стратосфера) атмосферы. Считается, что изменение динамического режима стратосферы оказывает влияние на циркуляцию нижней атмосферы через отражение планетарных волн (смешанные планетарные и гравитационные волны Россби и Кельвина, соответственно) и их последующее распространение в тропосферу. Возникают ВСП за счет диссипации в верхней стратосфере планетарных волн, генерируемых в тропосфере. В верхнем слое стратосферы и нижней мезосфере начинается потепление во время ВСП, которое развивается вниз до нижней стратосферы. Из тропосферы в стратосферу, в основном, проникают наиболее длинные волны с волновым числом m=1-3. В работе [1] показано, что повторяемость ВСП в целом не зависит от фазы квазидвухлетних колебаний (КДК) зонального ветра в экваториальной стратосфере или уровня солнечной активности (СА). Такая зависимость проявляться только для мажорных («сильных») ВСП типа «С» (со смещением полярного вихря) при сочетании высокого уровня СА и восточной фазы КДК экваториального ветра в слое 50-40 *гПа* или минорных («слабых») ВСП, анализируемых раздельно при сочетании низкого уровня СА и западной фазы КДК. Цель данной работы – выявить общие тенденции в динамике

температурного режима нижней и средней атмосферы в Центральной Якутии во время максимального развития (±10 дней) внезапного (мажорного) стратосферного потепления в конце 2018 г. – начале 2019 г.

2. Данные

В настоящей работе использована база данных лаборатории глобальных систем (GSL – Global System Laboratory) ESRL / NOAA) по радиозондированию атмосферы (ст. Якутск аэропорт. Применены данные ERA-Interim на изобарических высотах от 1000-1 *гПа*. Информация о дне максимального развития мажорного ВСП получена на основе базы данных Chemical Sciences Laboratory / NOAA.

3. Результаты исследования

В рамках требований к объему публикации в таблице 1 представлены одни из основных характеристик, полученных в ходе исследования. Видно (таблица 1), что температурный режим стратосферы на уровне 10 *гПа* до и после максимального развития мажорного ВСП имеет, в целом, общую тенденцию спада, а на уровне 50 *гПа* и тропосферы ($T_{ср.\ тропосферы}$) незначительные тренды роста и спада, соответственно.

Таблица 1

Коэффициенты корреляции *(R)* между $T_{ср.\ тропосферы}$ и температурой на уровне 50 (T_{50}) и 10 (T_{10}) *гПа* до (-10 дней) и после (+10 дней) мажорного события ВСП, а так же уравнения линейных трендов (±10 дней) временных рядов.

Дата	ВСП 02.01.2019 г.	
	-10 дней	+10 дней
R – $T_{ср.\ тропосферы}$ & T_{10}	- 0,55	0,13
R – $T_{ср.\ тропосферы}$ & T_{50}	0,27	- 0,89
Уравнение линейного тренда $T_{ср.\ тропосферы}$	y = -0,02x - 37	
Уравнение линейного тренда T_{10}	y = -2,1x-7,4	
Уравнение линейного тренда T_{50}	y = 0,2x-53	

4. Выводы

Предположительно, динамика температурного режима нижней и средней атмосферы в Центральной Якутии носит региональный (локальный) характер и зависит от месторасположения и периферии ВСП. В средних и высоких широтах Северного полушария в зимний период (январь-февраль) на динамику значений NO_2, O_3 и температуры влияют и географические факторы: положение пункта наблюдений относительно полярного стратосферного вихря на различных стадиях развития ВСП [1].

5. Благодарности

Работа выполнена в рамках государственного задания (номер госрегистрации № АААА-А21-121011990007-1).

6. Литература:

[1] Агеев, В.Ю., и др. Внезапные стратосферные потепления: статистические характеристики и влияние на общее содержание NO_2 и O_3 // Известия РАН. Физика атмосферы и океана, 2017, vol. 53, no 8, pp. 545-555.

УДК 631.4:504.5:622.7

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И КОЭФФИЦИЕНТЫ ВЫВЕТРИВАНИЯ ПОЧВ И ПОЧВОПОДОБНЫХ ТЕЛ ДАЛДЫНСКОГО КИМБЕРЛИТОВОГО ПОЛЯ

Татьяна Васильева, Яна Легостаева
Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, пр. Ленина, 39, г. Якутск, 677000, Россия

GEOCHEMICAL FEATURES AND WEATHERING COEFFICIENTS OF SOILS AND SOIL-LIKE BODIES OF THE DALDY KIMBERLITE FIELD

Tatiana Vasileva, Yana Legostaeva
Diamond and Precious Metal Geology Institute SB RAS, 39 Lenin Ave., Yakutsk, 677000, Russia

Annotation. The geochemical features and processes of weathering of soils and soil-like bodies of the Daldyn kimberlite field are considered. Geochemical coefficients ICV, CIA, subsurface weathering, coefficients of biological activity, salinity, eluviation and oxidation were calculated and analyzed.

1. Введение

Почвенный покров Далдынского кимберлитового поля представлен криоземами (cryosoles), которые имеют маломощный укороченный профиль и характеризуются суглинистым гранулометрическим составом, маломощным и грубогумусным верхним горизонтом, за которым следует неглубокий минеральный слой. Почвы имеют слабокислую реакцию верхних горизонтов и слабощелочную – нижних. В почвенном профиле криоземов часто отмечаются явления криотурбации, которые приводят к дезинтеграции генетических горизонтов и перемешиванию почвенного материала [1,2].

Изучение минералогического состава выполнено в ИГАБМ СО РАН методом рентгенофазового анализа на дифрактометре D2 PHASER, съемка образцов проводилась на CuKα излучении, при напряжении трубки 30 кВ и силе тока 10 мА, интервал съемки 4,5-65° (2θ°), для диагностики минералов использовали базу данных PDF-2. Препараты для съемок готовились из порошковых проб. Валовой анализ определен с помощью классического метода силикатного (химического) анализа в отделе физико-химических методов анализа ИГАБМ СО РАН (аналитик Галенчикова Л.Т.). Определение оксидов элементов в пробах производилось с использованием различных методов (спектрофотометрия, атомно-эмиссионная спектрометрия, ионометрия с ион-селективным электродом, гравиметрия, титриметрия, пламенная фотометрия).

Анализировались индексы химического изменения (CIA) [3], изменчивости состава (ICV) [4], коэффициент выветривания [5], биологической активности и продуктивности почв, дополнительно для дифференциации профиля были определены мольные отношения полуторных оксидов SiO_2/Al_2O_3, SiO_2/Fe_2O_3, SiO_2/R_2O_3 и мольные отношения для щелочных (R_2O) и щелочноземельных (RO) металлов [6,7].

2. Основной раздел

Формирование почвенного покрова Далдын-Алакитского района связано с периодом длительной денудации, в результате которого доминирующее положение приобрели карбонатные породы раннего палеозоя. Они являются почвообразующим субстратом, тем самым определяя карбонатную направленность существующих геохимических процессов с преобладанием Ca-Fe-Mg компонентов природных сред [8].

Минералогический состав изученных почв и почвоподобных тел представлен главным образом кварцем, полевыми шпатами и карбонатами (кальцит, доломит), с небольшим количеством минералов из группы полевых шпатов, хлоритов и слюд [9]. В ходе исследования подтверждается небольшая дифференциация минерального состава почв в их профилях, что,

вероятно, вызвано, процессами криомассообмена. Диагностируемых признаков преобразования минералов в ходе почвообразования, вследствие природных и климатических условий изученного региона достоверно не выявлено, что подтверждается геохимическими коэффициентами.

Анализ данных валового химического состава почвы, позволяет оценить геохимические процессы, связанные с изменением химического состава минеральной части почв, учитывая и влияние техногенного воздействия. Одной из особенностей карбонатных почв, является присутствие карбонатов кальция и магния, которое усложняет оценку распределения в почвенном профиле минеральных компонентов. Поэтому, для более полного отражения изменений в химическом составе минеральной части по сравнению с материнской породой, большинство исследователей предлагают использовать одновременный пересчет на прокаленную и бескарбонатную почву. Это дает возможность элиминировать влияние карбонатов и органического вещества на валовой химический состав почвы и в большинстве случаев установить его действительную профильную дифференциацию [10,11] (Таблица 1).

Таблица 1

Валовое содержание основных оксидов исходных, измененных почв и грунтов, масс.%.

Разрез	Глубина, см	SiO_2	AL_2O_3	Fe_2O_3	K_2O	Na_2O	CaO	MgO	MnO	TiO_2
Криоземы типичные										
Р-8	0-9	53,2	12,997	5,040	4,668	0,495	6,957	1,887	0,124	0,707
	9-19	65,4	13,833	5,720	5,594	0,264	1,031	4,001	0,083	0,724
	19-38	65,6	15,195	6,404	6,169	0,298	0,813	4,976	0,126	0,801
Р-30	0-9	60,1	12,038	5,736	3,526	0,680	4,529	2,946	0,113	0,793
	9-30	69,3	13,674	7,373	3,909	0,843	2,221	4,421	0,092	0,966
	30-40	70,1	13,838	7,363	3,924	0,872	2,608	4,800	0,113	0,920
Р-32	0-20	62,4	14,925	6,499	3,868	0,506	1,937	3,615	0,183	0,830
	20-39	69,8	16,081	6,914	5,203	0,473	0,125	6,531	0,158	0,991
Р-38/1	0-12	53,3	12,416	5,324	3,988	0,320	7,029	2,221	0,132	0,527
	12-28	72,4	13,817	6,473	4,427	0,377	1,341	4,121	0,102	0,769
	28-45	72,7	13,952	6,402	4,326	0,425	1,465	4,554	0,047	0,755
Криоземы техногеннотрансформированные										
Р-11	0-10	62,2	15,915	7,148	2,683	1,217	1,257	0,981	0,087	1,043
	10-35	63,2	16,206	7,542	2,602	1,090	1,266	1,166	0,106	0,984
Р-16/1	10-44	53,6	14,259	5,087	3,710	0,454	6,746	1,705	0,063	0,767
	44-54	64,9	14,607	5,987	4,434	0,484	2,236	1,992	0,124	0,795
Р-31	0-7	28,0	7,663	7,148	1,256	0,322	16,875	1,622	0,097	0,354
	7-37	47,7	13,293	7,016	3,194	0,535	6,768	2,124	0,203	0,720
Р-28/2	0-8(13)	40,8	10,265	4,719	3,040	0,320	16,565	2,564	0,160	0,587
	8(13)-33	62,9	15,436	6,533	5,052	0,370	1,787	4,650	0,089	0,756
Почвоподобные тела										
Р-16/3	0-10	63,5	14,508	6,176	4,057	0,542	1,829	2,495	0,108	0,795
	10-20	63,6	14,718	6,039	4,130	0,540	1,843	2,570	0,084	0,816
Р-21	0-2	44,3	6,561	13,393	1,895	0,175	5,916	12,047	0,111	3,169
	2-13	35,3	4,633	20,752	0,497	0,117	6,046	12,833	0,219	6,722
	40(42)-47	49,3	10,382	8,436	2,752	0,403	4,929	7,894	0,111	1,223
	47-58	52,9	12,534	7,707	3,521	0,394	3,707	6,575	0,049	0,899
Р-31/1	0-12	42,2	10,088	4,965	1,839	0,289	15,578	1,723	0,131	0,604
	12-∞	63,8	13,517	5,651	3,616	0,587	3,236	1,386	0,060	0,910
	Отвал	35,1	12,123	29,471	3,818	0,268	18,842	2,416	0,201	3,483
Р-44/1	0-10	51,6	7,092	9,287	1,735	2,594	7,166	10,710	0,154	0,967
	10-29	46,8	5,566	10,040	1,076	0,655	7,722	12,636	0,187	1,107
Р-44/2	0-37	44,5	4,905	10,911	1,473	0,597	8,830	12,826	0,187	1,417
	37-70	24,7	6,592	6,228	1,880	3,842	8,964	2,568	0,121	0,546
	70-∞	67,6	9,769	6,509	1,833	0,777	4,995	2,865	0,093	1,009
Р-44/3	0-30	46,2	5,386	10,047	1,306	0,671	8,097	12,392	0,163	1,124
	30-58	57,9	11,077	6,773	2,707	0,832	4,931	1,600	0,092	0,911

Результаты определения валового содержания оксидов химических элементов показали, что для всех объектов характерна низкая доля оксида кремния, что является следствием суглинистого состава почв, с заметным уменьшением в гумусовых горизонтах. Содержание оксидов алюминия и железа соответственно 10-16 % и 4-7 % соответственно в исходных и измененных почвах.

Содержание оксидов кальция, магния и калия в среднем 3-7 %, а количество оксида натрия ниже или около 1 %. Накопление оксидов кальция и магния, в то время как содержание оксидов алюминия и кремния уменьшается, вероятно, указывает на процесс их биогенного накопления.
В грунтах содержание оксидов алюминия и железа изменяется в очень широких пределах 4-20 %, оксида натрия – менее 1 %, кроме Р-44/1 и Р-44/2, где в некоторых горизонтах оно выше 2 %. Количество оксидов кальция, магния и калия изменяется в пределах 1-10 %, причем, в разрезах с отчетливым влиянием отвалов кимберлитовых пород, оно резко изменяется в сторону увеличения.
Для характеристики процессов окисления, выщелачивания и аккумуляции, биологической активности были вычислены отношения оксидов исходных, измененных почв и грунтов. Дополнительно анализировались вычисленные коэффициенты выветривания, в которых отражается степень потери мобильных элементов по отношению к немобильным (Таблица 2).

Таблица 2

Отношение оксидов и коэффициенты выветривания почв, измененных почв и грунтов.

Разрезы	Глубина, см	SiO_2 /Al_2O_3	SiO_2 /Fe_2O_3	SiO_2 /R_2O_3	R_2O /Al_2O_3	RO /Al_2O_3	MnO /Fe_2O_3	(Fe_2O_3+ MnO) /Al_2O_3	Retallack	ICV	CIA
Криоземы типичные											
Р-8	0-9	6,95	28,07	5,57	0,45	1,34	0,06	0,26	0,56		
	9 19	8,02	30,39	6,35	0,47	0,87	0,03	0,27	0,75		
	19-38	7,32	27,21	5,77	0,47	0,93	0,04	0,28	0,72	1,29	64
Р-30	0-9	8,47	27,84	6,49	0,41	1,30	0,04	0,32	0,58		
	9 30	8,60	24,97	6,40	0,41	1,11	0,03	0,35	0,66		
	30-40	8,59	25,30	6,41	0,41	1,22	0,03	0,35	0,61	1,49	57
Р-32	0-20	7,09	25,51	5,55	0,34	0,85	0,06	0,30	0,84		
	20-39	7,37	26,84	5,78	0,40	1,04	0,05	0,29	0,69	1,27	71
Р-38/1	0-12	7,28	26,59	5,71	0,39	1,48	0,06	0,29	0,53		
	12 28	8,89	29,74	6,85	0,39	0,93	0,04	0,31	0,76		
	28-45	8,84	30,17	6,84	0,39	1,02	0,02	0,30	0,71	1,29	63
Криоземы техногеннотрансформированные											
Р-11	0-10	6,63	23,11	5,15	0,31	0,30	0,03	0,29	1,65		
	10 35	6,61	22,26	5,10	0,28	0,32	0,03	0,31	1,64	0,91	70
Р-16/1	10 44	6,39	28,04	5,20	0,33	1,16	0,03	0,23	0,67		
	44-54	7,54	28,84	5,98	0,38	0,62	0,05	0,27	0,99	1,10	60
Р-31	0-7	6,20	10,42	3,89	0,25	4,54	0,03	0,61	0,21		
	7-37	6,09	18,07	4,55	0,33	1,33	0,07	0,36	0,60	1,55	44
Р-28/2	0-8(13)	6,75	22,99	5,22	0,37	3,56	0,08	0,32	0,25		
	8(13)-33	6,92	25,60	5,45	0,39	0,97	0,03	0,28	0,73	1,25	62
Почвоподобные тела											
Р-16/3	0-10	7,42	27,32	5,84	0,36	0,66	0,04	0,28	0,97		
	10-20	7,33	27,98	5,81	0,36	0,67	0,03	0,27	0,97	1,09	63
Р-21	0-2	11,47	8,80	4,98	0,36	6,28	0,02	1,33	0,15		
	2 13	12,93	4,52	3,35	0,16	9,38	0,02	2,93	0,10		
	40(42)-47	8,05	15,52	5,30	0,35	2,79	0,03	0,53	0,32		
	47-58	7,16	18,25	5,14	0,36	1,86	0,01	0,40	0,45	1,82	53
Р-31/1	0-12	7,10	22,60	5,40	0,24	3,24	0,06	0,33	0,29		
	12-∞	8,01	30,01	6,32	0,36	0,69	0,02	0,27	0,95	1,14	56
	Отвал	4,91	3,17	1,92	0,38	3,33	0,02	1,58	0,27	4,83	24
Р-44/1	0-10	12,36	14,78	6,73	0,87	5,65	0,04	0,87	0,15		
	10-29	14,26	12,38	6,63	0,40	8,26	0,04	1,20	0,12	6,01	25
Р-44/2	0-37	15,38	10,83	6,35	0,53	9,88	0,04	1,47	0,10		
	37-70	6,37	10,56	3,97	1,27	3,46	0,04	0,63	0,21		
	70-∞	11,74	27,61	8,24	0,33	1,67	0,03	0,44	0,50	1,85	44
Р-44/3	0-30	14,54	12,21	6,64	0,47	8,55	0,04	1,23	0,11		
	30-58	8,87	22,74	6,38	0,39	1,17	0,03	0,40	0,64	1,61	46

Криоземы по данным валового анализа и по результатам вычисления отношений основных оксидов отмечается небольшое уменьшение содержаний оксидов кремния, алюминия и железа снизу вверх по почвенному профилю, что, вероятно, указывает на слабое проявление процесса сиаллитного выветривания. Этот процесс характерен для умеренных широт, где в основном

преобладает слабая миграция соединений алюминия и железа при относительной стабильности кварца [12]. В целом, отмечается слабая элювиально-иллювиальная дифференциация, что, прежде всего, проявляется в незначительном изменении значений молярных отношений SiO_2/R_2O_3, а также относительно равномерному распределению в них оксидов кремния, алюминия и железа. Отмечается слабый вынос щелочных и щелочноземельных оксидов из почвенных горизонтов, кроме разрезов Р-44/1, Р-44/2 и Р-44/3, в которых идет их накопление, характеризующее засоленность отмеченных разрезов. Коэффициенты биологической активности и продуктивности низкие и уменьшаются с переходом от верхних горизонтов к нижним, указывая на более высокую активность гумусового горизонта фоновых почв. В почвоподобных телах эти величины не имеют четкой дифференциации по профилю. Что, скорее всего, зависит от влияния отвалов алмазодобывающей промышленности. Коэффициент выветривания, указывающий на активность миграции химических элементов по почвенному профилю в зависимости от водного режима почв, низкая. Индекс изменчивости состава достаточно однороден и колеблется в пределах 1-3 и указывает на композиционную незрелость материнской породы почв с высоким содержанием полевых шпатов и биотита [4], сформированной в условиях холодного климата. Индекс химического изменения варьирует в пределах 40-71 и указывает на то, что материнская порода является невыветрелой и слабовыветрелой, то есть степень превращения полевых шпатов в глинистые минералы низкая.

3. Выводы

В криоземах наблюдается слабый вынос щелочных и щелочноземельных оксидов, небольшая миграция оксидов алюминия и железа, указывающая на слабый процесс сиаллитного выветривания, низкую биологическую активность и практически отсутствие процессов образования вторичных глинистых минералов, что обусловлено климатическими и геологическими условиями. В то время как в измененных почвах и грунтах содержание некоторых основных оксидов и коэффициентов изменяются в широких пределах, под воздействием техногенной нагрузки.

4. Благодарности

Авторы выражают благодарность за помощь и советы к.г.-м.н. Н.В. Заякиной, за проведение химического анализа Л.Т. Галенчиковой.

5. Литература:

[1] Naumov, E.M. Gradusov, BP. Features of taiga soil formation in the Far North-East of Eurasia. Moscow: Kolos, 1974, 147 pp (in Russian).
[2] Classification and diagnostics of soils in Russia. Smolensk: Oikumena, 2004, 342 pp (in Russian).
[3] Nesbitt, H., and Young, G. M. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites // Nature, 1982, vol. 299, pp. 715-717.
[4] Cox, R., Lowe, D. R., and Cullers, R. L. The influence of sediment recycling and basement composition on evolution of mudrock chemistry in the southwestern United States // Geochimica et Cosmochimica Acta, 1995, vol. 59, no 14. pp. 2919-2940.
[5] Retallack, G. J., Krull, E. S. and Bockheim, J. G. New grounds for reassessing palaeoclimate of the Sirius Group, Antarctica // Journal of the Geological Society, 2001, vol. 158, no. 6, pp. 925-935.
[6] Orlov, D.S. Soil chemistry. Moscow: Higher school, 2005, 558 pp (in Russian).
[7] Mamontov, V.G., Gladkov, A.A., and Kuzelev M.M. A practical guide to soil chemistry. Moscow: Publishing house RSAU-MAA, 2012, 225 pp (in Russian).
[8] Gololobova, A.G., Legostaeva, Ya.B. Ecogeochemical monitoring of soil cover in diamond mining areas in the report of Yakutia // Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Engineering of georesources, 2020, vol. 331, no. 12, pp. 146-157 (in Russian).
[9] Vasilieva, T.I., Legostaeva, Ya.B. Mineralogical composition of natural and technogenically transformed soil of the Daldyn kimberlite field // Geology and Mineral Resources of the North-East of Russia, 2020, pp. 448-452 (in Russian).

[10] Zvereva, T.S. Forms of clay formations and highly dispersed minerals in soddy-calcareous soils // Pochvovedenie, 1964, no. 11b, pp. 34-44 (in Russian).
[11] Poluzerov, N.A. On the method of quantitative assessment of the process of soil formation based on chemical analysis // Pochvovedenie, 1970, no. 9, pp. 26–33 (in Russian).
[12] Zonn, S.V., Karpachevsky, L.O., Stefin, V.V. Forest soils of Kamchatka. Moscow: Academy of Sciences of the USSR, 1963, 256 pp. (in Russian).

УДК 624.131.37

ЗАВИСИМОСТИ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ОТТАИВАЮЩИХ ГРУНТОВ ИСКУССТВЕННОГО ПРИГОТОВЛЕНИЯ ОТ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

Иван Вахрин
Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, ул. Мерзлотная, 36, г. Якутск, 677010, Россия

DEPENDENCE OF DEFORMATION CHARACTERISTICS OF ARTIFICIALLY PREPARED THAWING SOILS ON PHYSICAL PROPERTIES

Ivan Vakhrin
Melnikov Permafrost Institute SB RAS, 36 Merzlotnaya St., Yakutsk, 677010, Russia

Annotation. This article addresses the problem of thaw settlement of permafrost soils. Understanding how this process proceeds is necessary to solve building stability problems when the foundations are used either in a thawed state or designed to provide for thaw penetration during the service life of the structure. With on-going climate warming, research on thaw settlement becomes increasingly important. The purpose of this study is to determine the coefficients of thawing and compressibility of frozen soils, as well as to relate them to physical properties of various soil types. The study soils are fine sand, silty sand, and sandy silt, as defined by grain-size analyses with the sieve and hydrometer methods. A sample preparation procedure is presented for consolidation tests performed to determine thaw deformation characteristics. The physical properties, as well as the coefficients of thawing and compressibility obtained for the soil are given. The relationships for the thawing and compressibility coefficients are presented which have been established over the range of moisture contents from 0 to full saturation at a constant porosity. Based on the regression analysis of the deformation characteristics, their relationships to moisture content for oversaturated silty sand and sandy silt which increase linearly, as well as to porosity are shown.

1. Введение

Мёрзлые дисперсные грунты под действием собственной массы и приложенной нагрузки при оттаивании уменьшаются в объёме. Осадка мёрзлых грунтов основания при оттаивании, особенно неравномерная, приводит к деформациям и разрушениям зданий и сооружений [1]. Деформационные характеристики оттаивающих грунтов выражаются коэффициентом оттаивания, определяющем осадку мёрзлых грунтов при оттаивании под действием собственной массы грунта, и коэффициентом сжимаемости, определяющем осадку оттаявшего грунта под действием приложенной внешней нагрузки. Они используются для расчёта осадки оттаивающих грунтов основания сооружений, возводимых с предварительным оттаиванием или допущением оттаивания в период строительства и последующей эксплуатации сооружений (принцип II). Коэффициенты оттаивания и сжимаемости определяются в компрессионном приборе в условиях невозможности бокового расширения образца грунта [2]. Величины этих коэффициентов зависят от состава и строения мёрзлых грунтов. Поэтому при изучении деформационных свойств оттаивающих мёрзлых грунтов определяют их физические характеристики. Для обеспечения однородности состава и строения грунтов исследования проводились на искусственно приготовленных образцах. Целью исследования является установление зависимости деформационных характеристик оттаивающих грунтов от их физических свойств. Эти зависимости необходимы при решении задачи обеспечения устойчивости зданий и сооружений, возводимых с использованием грунтов основания по принципу II. В условиях их потепления климата – это требование становится ещё более важным.

2. Основной раздел

Деформационные характеристики оттаивающих грунтов изучались на искусственно приготовленных образцах с различной заданной влажностью трёх основных типов дисперсных грунтов – песка, супеси и суглинка. Подготовка образцов грунта для определения физических и деформационных характеристик оттаивающих грунтов выполнялась следующим образом. Отобранный для испытания грунт высушивали при температуре 105 ^{0}C до установления постоянной массы. Часть высушенного грунта использовалась для определения по стандартной методике плотности твёрдых частиц. Другой частью высушенного грунта наполняли кольцо компрессионного прибора. Кольцо с грунтом взвешивали и находили начальную плотность сухого образца. По найденным значениям плотности твёрдых частиц и начальной плотности сухого грунта определяли начальную пористость образца. Затем образец в кольце компрессионного прибора увлажняли. Необходимое количество воды для получения заданной влажности образца грунта определяли по формуле:

$$(1)\ m_{\text{в}} = m_d * w,$$

где w – влажность грунта, m_d – масса образца высушенного грунта.

После этого образец в кольце компрессионного прибора для равномерного распределения воды выдерживался при положительной температуре в течение 24 часов, затем его замораживали. Образец в процессе выдерживания в течение суток для равномерного распределения в нём воды, замораживания и испытания в компрессионном приборе предохраняли от иссушения. Для контроля возможных потерь воды из образцов после компрессионных испытаний кольцо с образцом снова взвешивалось. При изучении осадки мёрзлых грунтов при оттаивании важным показателем физических свойств грунтов является полная влагоёмкость, которая определяется по формуле:

$$(2)\ w_{sab} = \rho_w * \frac{\rho_s - \rho_{d0}}{\rho_s * \rho_{d0}},$$

где ρ_w – плотность воды.

В диапазоне изменения влажности от 0 до полной влагоёмкости только плотность грунта зависит от влажности, остальные физические характеристики грунта остаются постоянными.

В таблице 1 представлены значения физических характеристик песка мелкого, супеси пылеватой и суглинка лёгкого пылеватого в талом состоянии [3, 4].

Таблица 1

Основные физические характеристик исследованных грунтов в талом состоянии.

w, %	ρ, *г/см^3*	ρ_d, *г/см^3*	ρ_s, *г/см^3*	*n, %*	w_{sat}, *д.е.*	w_l, %	w_p, %	I_p, %	Наименование грунта
5,0	1,71	1,63	2,66	38,72	0,237	–	–	–	Песок мелкий
10,0	1,79								
15,0	1,87								
20,0	1,96								
23,7	2,02								
5,0	1,63	1,55	2,70	42,59	0,274	20,7	16,1	4,6	Супесь пылеватая
10,0	1,71								
15,0	1,78								
20,0	1,86								
27,4	1,97								
5,0	1,59	1,51	2,71	44,28	0,292	30,5	21,3	9,2	Суглинок лёгкий пылеватый
10,0	1,66								
15,0	1,74								
20,0	1,81								
25,0	1,89								
29,2	1,95								

Образцы грунта в компрессионном приборе испытывались под ступенчато-возрастающими давлениями. На первой ступени нагрузки по принятой методике определялись коэффициенты оттаивания и сжимаемости [2]. По результатам определений физических и деформационных

характеристик, искусственно приготовленных образцов, для примера рассмотрим зависимости коэффициентов оттаивания и сжимаемости песка и супеси от влажности и пористости (Рисунок 1–3).

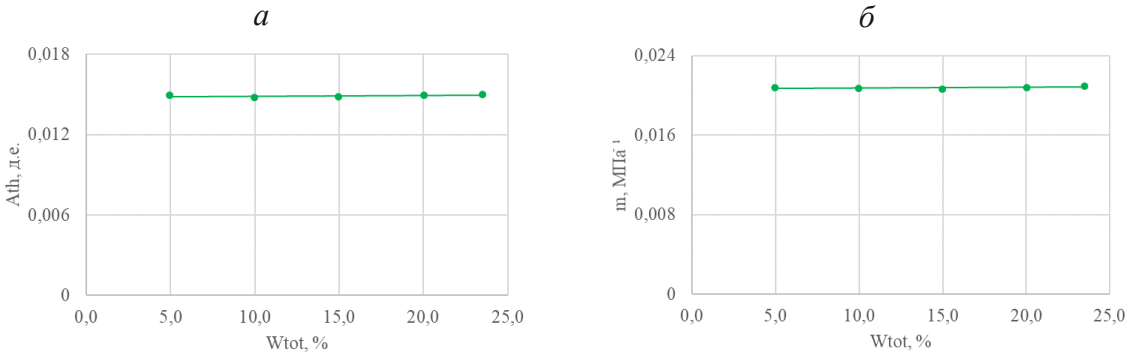


Рисунок 1. Зависимость коэффициентов оттаивания (а) и сжимаемости (б) песка в диапазоне влажности от 0 до полной влагоёмкости

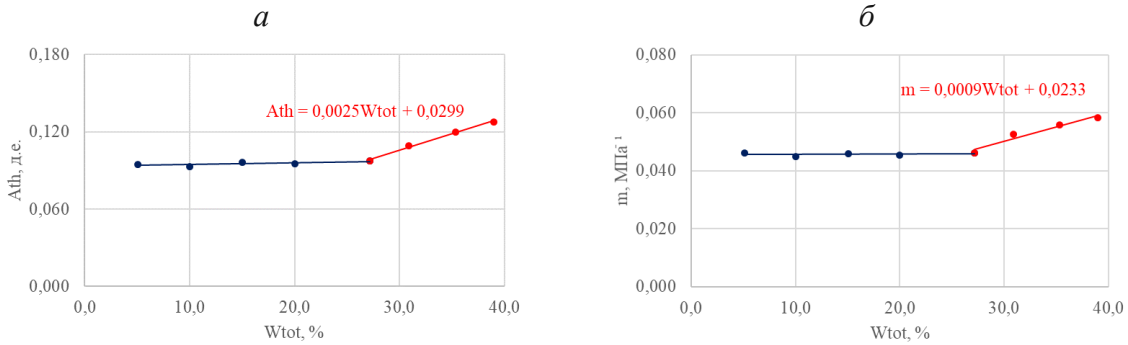


Рисунок 2. Зависимость коэффициентов оттаивания (а) и сжимаемости (б) супеси от влажности

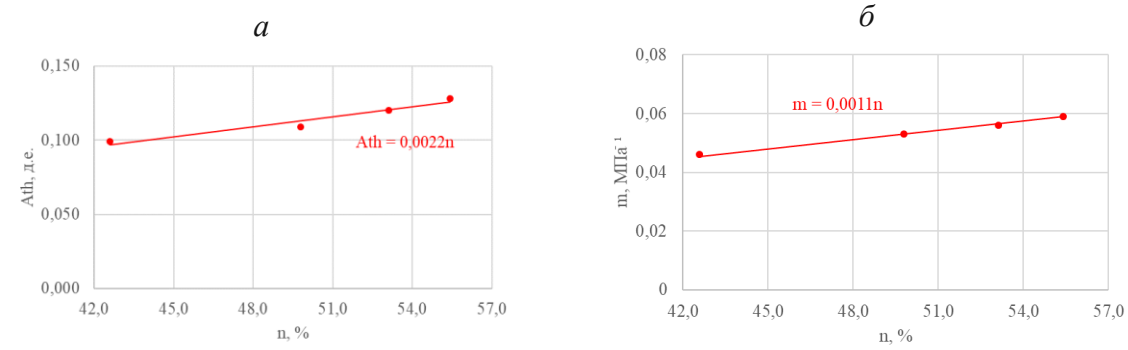


Рисунок 3. Зависимость коэффициентов оттаивания (а) и сжимаемости (б) супеси от пористости

Величины коэффициентов оттаивания и сжимаемости исследованных грунтов в диапазоне изменения влажности от 0 до полной влагоёмкости при одинаковой пористости, как и следовало ожидать, не изменяются (рисунок 1, 2). При влажностях, превышающих полную влагоёмкость в супеси (рисунок 3) коэффициенты оттаивания и сжимаемости линейно повышаются с увеличением влажности грунта. На основе регрессионного анализа значений деформационных характеристик получены зависимости их от влажности и от пористости грунта. Как видно из рисунка 3 изменение деформационных характеристик при изменении пористости грунта выражается одной зависимостью. Поэтому при изучении осадки мёрзлых грунтов при оттаивании рекомендуется пользоваться подобной зависимостью.

3. Выводы

Изучение осадки мёрзлых дисперсных грунтов при оттаивании в современных условиях потепления климата приобретает все большее значение. Экспериментальными исследованиями установлены закономерности изменения деформационных характеристик основных типов мёрзлых грунтов при оттаивании. Получены зависимости коэффициентов оттаивания и сжимаемости от влажности и пористости исследованных грунтов.

4. Литература:

[1] Streletskiy D.A., Shiklomanov N.I., Grebenets V.I. Changes of foundation bearing capacity due to climate warming in Northwest Siberia // Cryosphere earth, 2012, vol. XVI, no. 1, pp. 22-32 (in Russian).

[2] GOST 12248-2010. Soils. Laboratory Methods for Determining the Strength and Strain Characteristics. Moscow: MNTKS, 2011, 162 pp.

[3] GOST 5180-2015. Soils. Methods of Laboratory Determination of Physical Characteristics. Moscow: Standardinform, 2016, 23 pp.

[4] Trofimov V.T., Voznesensky E.A., Korolev V.A. Engineering geology of Russia. Vol. 1. Soils of Russia. Moscow: KDU, 2011, 672 pp.

УДК: 540.4:552.578.2(571.56)

ВОЗМОЖНОСТИ МЕТОДА ИК-ФУРЬЕ СПЕКТРОСКОПИИ В ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

Юлия Глязнецова[1], Руслан Терентьев[2], Ираида Зуева[1], Сара Лифшиц[1], Ольга Чалая[1]
1 Институт проблем нефти и газа ЯНЦ СО РАН, ул. Петровского, 2, г. Якутск, 677980, Россия
2 Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, ул. Белинского, 58, г. Якутск, 677000, Россия

POSSIBILITIES OF THE METHOD OF FTIR SPECTROSCOPY IN GEOECOLOGICAL RESEARCH

Yuliya Glyaznetsova[1], Ruslan Terentyev[2], Iraida Zueva[1], Sara Lifshits[1], Olga Calaya
1 Institute of Oil and Gas Problems YSC SB RAS, 2 Petrovsky St., Yakutsk, 677980, Russia
2 M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, 58 Belinsky St., Yakutsk, 677000, Russia

Annotation. Possibilities of the method of FTIR spectrometry in geoecological studies are discussed in the article. The data on FTIR spectrometry were used for detailed studies of oil pollution composition. The obtained FTIR data on comparative analysis of composition and structure extracts from oil contaminated and background soils and their application for study on bioremediation of oil contaminated soils were considered. The results on FTIR together with some analytical methods can serve a basis for identifying oil pollution of soils and bottom sediments, the timing of its and the degree of destruction as studying the processes of transformation of oil hydrocarbons, assessing the quality of treatment works and the effectiveness of the developed methods of cleaning disturbed lands.

1. Введение

Изучение углеводородной составляющей в почвах – достаточно сложная задача, поскольку углеводороды могут быть как природного, так и антропогенного происхождения, как результат загрязнения нефтью и нефтепродуктами (НП). Многообразие методов количественного определения НП в почвах и донных осадках, а также особенностей химического состава фоновых и нефтезагрязненных почв рассмотрено нами и другими исследователями ранее [1-4].

В данной работе показаны возможности применения метода ИК-Фурье спектроскопии для выяснения геохимического своеобразия экстрактов проб почв, характеризующих естественный природный фон и техногенное загрязнение для решения различных экологических задач при идентификации загрязнений почв нефтяными углеводородами.

2. Результаты

Традиционно метод ИК-спектроскопии используется для количественной оценки суммарного содержания углеводородов по полосам поглощения (п.п.) валентных колебаний метиленовых (CH_2) и метильных (CH_3) групп в области 3300-2800 $см^{-1}$. Метод позволяет проводить быструю диагностику почв, донных осадков и воды на содержание НП, и поэтому получил широкое распространение в практике экологических исследований. Учитывая особенности спектра углеводородных соединений в широком диапазоне волновых чисел 400-4000 $см^{-1}$, метод ИК-Фурье спектроскопии дает возможность идентифицировать индивидуальные углеводородные соединения, позволяет определять структурно-групповой состав органических соединений природного и техногенного происхождения в объектах окружающей среды.

Идея применения метода основана на том, что все органические соединения имеют четко выраженные п.п. в ИК области, причем каждому классу органических соединений характерна вполне определенная область поглощения. Данный метод дает возможность непосредственного изучения сложных смесей без предварительной химической подготовки и несет информацию о присутствии тех или иных структурных групп и их количественном соотношении, что позволяет получить характеристику природного объекта как целого. Последнее обстоятельство очень

важно для решения ряда экологических задач при изучении преобразования химической структуры нефтезагрязненных почв под влиянием различных факторов. Данные детальных исследований состава нефтезагрязнения с применением метода ИК-Фурье спектроскопии могут служить основой для диагностики нефтезагрязнения, степени его деградации, исследования процессов трансформации нефтяных углеводородов, оценке качества рекультивационных работ и эффективности разрабатываемых технологий очистки.

Изучение углеводородного состояния почв и донных осадков начинается с концентрирования различными органическими растворителями. В данной работе содержание углеводородсодержащих компонентов, в том числе НП определяли по выходу хлороформенного битумоида (ХБ), извлекаемого из проб методом экстракции хлороформом. Далее ХБ исследовали методом ИК-Фурье спектроскопии. Спектры получены на ИК-Фурье спектрометре «Protege 460» фирмы «Nicolet» в диапазоне волновых чисел 500-4000 $см^{-1}$, аттестованном в соответствии со стандартами ISO 9000 и 9002 Госстандартом России. Экстракты помещали в разъемные кюветы с окошками NaCl или KBr, толщина поглощающего слоя составляла 33 мк. Расшифровка спектров проведена по атласам ИК-спектров и таблицам волновых чисел [5,6].

При интерпретации ИК-спектров учитываются особенности структурно-группового состава фоново-чистых почв и возможных загрязнителей – нефтей и различных НП.

Характер ИК-спектров ХБ фоновых почв типичен для сингенетичных битумоидов органического вещества современных осадков. Доминирующая в спектрах п.п. 1700-1740 $см^{-1}$ указывает на высокое количество карбонильных групп, а интенсивное поглощение в области 1170 $см^{-1}$ - эфирных связей (рисунок 1, спектры 1, 2, 3). В химической структуре ХБ значительно участие длинных метиленовых цепей (дублет 720 и 730 $см^{-1}$) и очень низкое - соединений с ароматическими циклами (750 и 1600 $см^{-1}$). Всё это позволяет рассматривать данные экстракты как составляющую органического вещества почв, т.е. естественный природный фон. Выход ХБ этих проб изменяется в широких пределах от 592 мг/кг до 7137 мг/кг, что можно ошибочно принять как высокий уровень загрязнения почв НП. Поэтому изучение состава и химической структуры почвенных экстрактов методом ИК-Фурье спектроскопии позволяет избежать ошибочных заключений при диагностике нефтезагрязнения.

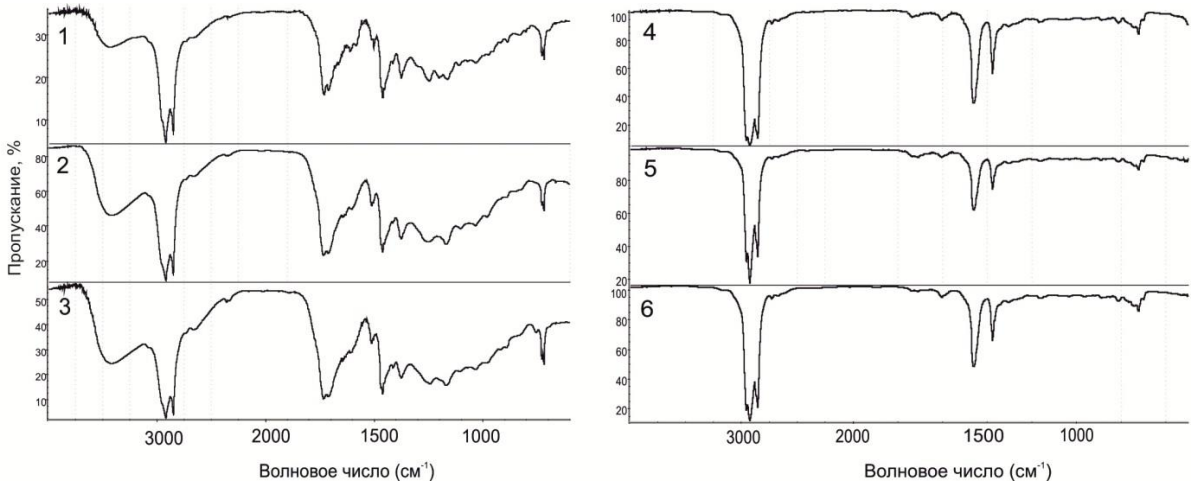


Рисунок 1. ИК-спектры ХБ почв: фоновых с выходами ХБ 592 мг/кг (1); 1857 мг/кг (2); 7137 мг/кг (3) и нефтезагрязненных с выходом ХБ 23887 мг/кг (3); 70495 мг/кг (4);.120112 мг/кг (5).

Спектры 3, 4 и 5 на рисунке 1 относятся к ХБ почв, отобранных на территории одной из нефтебаз после разлива дизельного топлива. Видно, что спектры нефтезагрязненных проб однотипны вне зависимости от содержания НП и их характер однозначно указывает на нефтезагрязнение. Это выражается в низкой роли кислородсодержащих групп и связей и присутствии большого количества нефтяных УВ. Конфигурация ИК-спектров определяется исключительно углеводородной составляющей: преобладанием метиленовых, метильных групп и

ароматических циклов - набором интенсивных п.п. в области 650-1000см$^{-1}$, 1380, 1460 и 1600см$^{-1}$, что характерно для НП и нефтезагрязненных почв.

Таким образом, как преимущество метода следует отметить, что по типу ИК-спектров можно установить природный или техногенный характер состава почв, вне зависимости от уровня концентрации НП в почвах [1]. Даже в пробах с низким выходом ХБ, на уровне фоновых значений по типу спектра можно установить следы присутствия нефтяных углеводородов.

Для правильной оценки качества рекультивационных работ и эффективности разрабатываемых способов очистки нефтезагрязненных почв необходимы данные по химическому составу нефтезагрязнения до и после проведения очистных работ. Только при выявлении направленных изменений в составе загрязнения можно оценить степень деструкции и качество рекультивационных работ [7-9].

Так, например, на территории одной из нефтебаз проводили исследования по изучению трансформации состава загрязнения при биологической очистке почв с применением микробных препаратов. На особенности состава нефтезагрязнения в почвах в процессе очистки указывали изменения химической структуры ХБ. Было установлено изменение характера ИК-спектров ХБ в пробах после очистки в сторону увеличения количества кислородсодержащих соединений, на что также указывало увеличение значений относительных коэффициентов поглощения карбонильных - К1700, гидроксильных К3300 и эфирных групп - К1170 по сравнению с исходными нефтезагрязненными пробами (Рисунок 2).

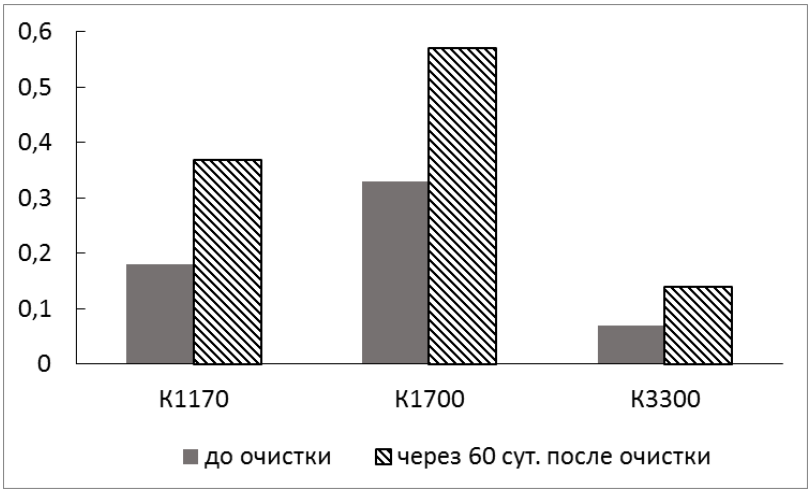


Рисунок 2. Относительные коэффициенты поглощения кислородсодержащих групп в ИК-спектрах ХБ проб до и после очистки почв.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что при биологической очистке образуется больше кислородсодержащих соединений, уменьшается не только остаточное содержание НП, но и происходит существенное изменение химического состава нефтезагрязнения в сторону приближения к фоновому состоянию. Это обстоятельство наглядно демонстрирует возможности ИК-Фурье спектроскопии контролировать степень очистки нефтезагрязненных почв.

3. Выводы

Таким образом, с помощью метода ИК-Фурье спектроскопии можно выяснить химическую структуру экстрактов проб почв и дифференцировать природный фон от нефтезагрязнения. Высокая экспрессность метода позволяет быстро получить достаточную информацию, четко ограничивая круг проб, требующих более детальных и дорогостоящих исследований. Одним из преимуществ метода является возможность установить по типу ИК-спектров техногенный характер экстрактов не только в пробах с высокими выходами ХБ, достигающими высокого уровня загрязнения почв НП, но и в пробах с низким выходом ХБ, на уровне фона.

Различия в ИК-спектрах экстрактов почв, отобранных до и после рекультивационных работ позволяют проследить процессы биодеградации нефтезагрязнения и качество очистки почв.

4. Благодарности

Работа выполнена в рамках проекта Фундаментальных научных исследований № АААА-А21-121011490054-0 «Биогеохимия процессов формирования и разрушения углеводородных флюидов».

5. Литература:

[1] Zueva, I.N., Kashirtsev, V.A., Lifshits, S.Kh., Glyaznetsova, Yu.S. and Chalaya O.N. Research methods of surface hydrocarbon geochemical fields of natural and technogenic origin // Science and education, 2009, no.1(53), pp. 50-54 (in Russian).

[2] Glyaznetsova, Yu.S., Zueva, I.N., Chalaya, O.N. Experience in the Remediation of Oil Polluted Soils of the Arctic Zone of Yakutia // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. vol. 459, 2020. 052010 https://doi.org/10.1088/1755-1315/459/5/052010

[3] Pikovskii, Y.I., Korotkov, L.A., Smirnova, M.A. and Kovach, R.G. Laboratory analytical methods for the determination of the hydrocarbon status of soils (a review) // Eurasian Soil Science, 2017, vol. 50, no. 10, pp. 1125-1137.

[4] Okolelova, A.A., Rakhimova, N.A., Merzlyakova, A.S., Avilova V.S. and Nguen Tien Chung. Determination of oil contetnt in soil instrumental and IR spectroscopic techniques // Fundamental Research, 2014, no.5, pp. 89-92 (in Russian).

[5] Bellamy L. J. The Infrared Spectra of Complex Molecules. (Methuen, London, 1958); Inostrannaya Literatura, Moscow, 1963, 590 pp (in Russian).

[6] Bolshakov G.F. Infrared spectra of saturated hydrocarbons. Part 1. Alkanes. Novosibirsk: Nauka, 1986, 177 pp (in Russian).

[7] Filler, D.M., Snape, I. and Barnes D.L. Bioremidiation of Petroleum Hydrocarbons in Cold Regions. Cambridge University Press. 2008, 373 pp.

[8] Margesin, R., Schinner, F. Biodegradation and bioremediation of hydrocarbons in extreme environments // Applied Microbiology and biotechnology, 2001. 56(5-6), pp. 650-663.

[9] Glyaznetsova, Yu.S., Zueva, I.N. and Chalaya O.N. Control of biological treatment of disturbed lands of cryolithozone at oil spills // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Volume 272, 2. https://doi.org/10.1088/1755-1315/272/2/022106

УДК 631.4:504.5:622.7

ВЛИЯНИЕ ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ И ПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ И МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В МЕРЗЛОТНЫХ ПОЧВАХ

Анна Гололобова[1], Яна Легостаева[2]
1 Научно-исследовательский институт прикладной экологии Севера им. проф. Д.Д. Саввинова Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова, пр. Ленина, 43, г. Якутск, 677980, Россия
2 Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, пр. Ленина, 39, г. Якутск, 677000, Россия

INFLUENCE OF MINING AND PROCESSING ACTIVITIES ON FROZEN SOILS OF THE KHANNYA-NAKYN INTERFLUVES (WESTERN YAKUTIA)

Anna Gololobova[1], Yana Legostaeva[2]
1 D.D. Savvinov Research Institute of Applied Ecology of the North, M.K. Ammosov North- Eastern Federal University, 43, Lenin Ave., Yakutsk, 677980, Russia
2 Diamond and Precious Metal Geology Institute SB RAS, 39 Lenin Ave., Yakutsk, 677000, Russia

Annotation. Permafrost soils of the Nakyn kimberlite field were chosen as an indicator of the impact of mining and processing operations on the components of the natural environment, where diamonds are mined by open-pit mining. The paper presents an analysis of toxic elements in the soil of the territory of the industrial site of the Nyurba mining and processing plant. The degree of soil pollution has been studied. Revealed soil pollution with Mn, Zn, Ni, Cd, Cr, Co. The geochemical series of heavy metals and microelements have been established. Indicators of the level of accumulation of heavy metals can be used in monitoring industrial areas.

1. Введение

Загрязнение почв тяжелыми металлами (ТМ) является глобальной экологической проблемой. Еще более заметны негативные последствия загрязнения на территориях с высокой антропогенной нагрузкой. ТМ в высоких надфоновых концентрациях отличаются экотоксичностью и опасностью, оказывают негативное воздействие не только на почвенный покров (педосферу), но и нарушают функционирование биосферы в целом [1-7]. Для Якутии проблема загрязнения почв ТМ с каждым годом становится все актуальнее в том числе и из-за увеличения объемов добычи полезных ископаемых, которые являются основными источниками загрязнения северных экосистем.

Отличительной чертой района исследования является его расположение на территории сплошного распространения многолетнемерзлых пород. В северных районах почвы, которые считаются «самоочищающимся фильтром» природы, во многом теряют свое обеззараживающее свойство из-за малой мощности профиля, слабого дренажа, ежегодного промерзания, способствующего концентрации в почвенных водах загрязнителей, краткого периода биологической жизни, а также наличия водоупора в виде надмерзлотного горизонта. Эти особенности обусловливают низкую устойчивость мерзлотных почв и ускорение процессов их загрязнения в зонах техногенного давления [8-12]. Следовательно, возникает необходимость проводить оценку загрязнения почв криолитозоны, что является неотъемлемой составной частью комплексных геоэкологических исследований, создающих базу для планирования мероприятий по снижению последствий разработки рудных и россыпных месторождений алмазов в условиях криогенеза.

Целью настоящей работы является оценка влияния алмазодобывающих работ на экологическое состояние почв на примере территории Нюрбинского горно-обогатительного комбината (НГОК).

2. Объекты и методы исследования

Район исследования находится на территории северо-таежных ландшафтов Западной Якутии, в пределах Хання-Накынского междуречья.

Техногенная нагрузка в данной территории представлена горнодобывающей деятельностью и алмазоперерабатывающими предприятиями. Природно-техногенная система включает два карьера по добыче кимберлитовой руды «Нюрбинская» и «Ботуобинская», обогатительная фабрика № 15 (с 1999 г.), геологическая фабрика № 17 (небольшая фабрика, построенная в 2007 г.), обогатительная фабрика № 16 (с 2003 г.), вахтовый поселок на 1000 человек, взлетно-посадочные полосы, склад материалов взрывчатых веществ и источники, связанные с процессами добычи и обогащения, – хвостохранилище, отвалы пустых пород, пульпопроводы и др.

Накынское кимберлитовое поле расположено на сочленении Анабаро-Оленекской антиклизы и Вилюйской синеклизы и приурочено к Вилюйско-Мархинской кимберлитоконтролирующей тектонической зоне глубинных разломов. Территория представляет собой слабопересеченную местность с перепадом высот не более 50 м. Рельеф территории – среднерасчлененное плато.

В структуре почвенного покрова территории промышленной площадки НГОКа распространены следующие подтипы почв: криоземы гомогенные надмерзлотно-глееватые, криоземы гомогенные неоглеенные, криоземы тиксотропные, криоземы глееватые оподзоленные, криоземы гомогенные перегнойно-глеевые, мерзлотные палево-бурые, мерзлотные палевые типичные, мерзлотные дерново-карбонатные, мерзлотные перегнойно-глеевые, мерзлотные аллювиальные дерновые почвы. Доминирующими типами мерзлотных почв являются криоземы, которые являются объектом исследования. По классификации World Reference Base for Soil Resourses (WRB) [13] эти почвы относятся к Cryosols. Криоземы характеризуются маломощным почвенным профилем с ярко выраженными процессами криотурбации, приводящими к нарушению цельности генетических горизонтов и перемешиванию почвенного материала по профилю.

В образцах почв определены подвижные формы Pb, Ni, Mn, Cd, Co, Cr, Zn, Cu и As методом атомно-абсорбционной спектрометрии на МГА-915 ГК Люмэкс в экстрагенте 1 Н HNO_3, который в отличие от H_2O и 1 Н HCl вытяжек извлекает кислоторастворимые элементы, более прочно связанные с почвой [11, 14-17]. Физико-химические показатели определены потенциометрическим методом – pH, методом колориметрии – содержание органического вещества по И.В. Тюрину, общего азота, гранулометрический состав по Качинскому. Полученные количественные данные были обработаны с использованием программ Microsoft Excel 2013, Statistica 6.0, OriginPro 8.5.1. Построение карт выполнено с помощью программы ArcGIS 9.0.

3. Результаты и обсуждение

Криоземы исследуемой территории характеризуются преимущественно легкосуглинистым гранулометрическим составом, с преобладанием фракции мелкого песка (0,25-0,05 мм) и крупной пыли (0,05-0,01 мм). Реакция среды варьирует в широком диапазоне – от кислого (4,1) до слабощелочного (7,4). Наибольшая кислотность характерна для верхних органогенных горизонтов, которая связана с наибольшим содержанием органического вещества. Содержание гумуса по почвенному профилю изменяется в довольно широких пределах: от низкого (0,6 %) до очень высокого (9,0 %).

Минимальные содержания элементов в общей выборке ниже фоновых. Различие между минимальными и максимальными значениями в наибольшей степени наблюдается у Pb (8 раз), в средней степени – Ni, Mn, Co, Cr, Zn, Cu, As (5 раз) и в наименьшей степени - Cd (4 раза). Полученные данные по совокупной выборке проб свидетельствуют о неоднородном характере распределения ТМ и микроэлементов в почве.

В результате накопления ряда элементов-токсикантов прослеживается полиэлементное загрязнение почвенного покрова, уровень которого отражает суммарный показатель Zc (Таблица 1). Чрезвычайно опасная степень загрязнения зафиксирована в районе работ буровой техники,

отвала № 1, около дороги в сторону склада взрывчатых веществ, вертолетной площадки, хвостохранилищ фабрики № 15 и № 16, карьера трубок «Нюрбинская» и «Ботуобинская».

Таблица 1

Суммарный показатель загрязнения (Z_c) в почвенном покрове и геохимический ряд ТМ и микроэлементов в промышленной территории НГОКа.

Точка отбора	Основные источники загрязнения	Суммарный показатель загрязнения, Z_c	Геохимический ряд
Т-57	Около буровой техники	840,8	$Mn_{824,1}>Zn_{5,4}>Pb_{4,4}>Ni_{3,8}>Cd_{3,2}$
Т-19	Отвал №2	83,6	$Mn_{69,7}>Ni_{4,5}>Zn_{4,1}>Cd_{3,4}>Co_{1,9}$
Т-61	Карьер трубки "Ботуобинская"	134,4	$Mn_{119,1}>Zn_{4,9}>Ni_{4,8}>Cd_{3,2}>Co_{2,5}$
Т-32	Хвостохранилище фабрики №16	170,5	$Mn_{160,4}>Zn_{4,7}>Ni_{3,0}>Cd_{2,8}$
Т-34	Карьер трубки "Нюрбинская"	156,7	$Mn_{27,9}>Zn_{8,0}>Ni_{7,7}>Cr_{6,8}>Co_{4,2}>As_{2,0}$
Т-31	Хвостохранилище фабрики №15	158,9	$Mn_{127,0}>Cr_{10,0}>Ni_{7,2}>Zn_{6,0}>Co_{4,6}>Cd_{4,1}$
Т-24	Около дороги	482,4	$Mn_{447,0}>Ni_{14,8}>Zn_{8,3}>Cd_{6,0}>Co_{4,6}>As_{1,7}$
Т-28	Вертолетная площадка	246,8	$Mn_{230,3}>Cd_{8,2}>Zn_{5,2}>Ni_{3,2}$
Т-35	Отвал №1	700,5	$Mn_{669,5}>Ni_{16,1}>Zn_{7,3}>Cd_{4,2}>Co_{3,4}$
Т-33	Фабрика №15	211,0	$Mn_{88,4}>Ni_{8,0}>Zn_{9,4}>Co_{3,5}>Cd3_{,4}$

В меньшей степени загрязнен почвенный покров около отвала № 2, что связано с относительно недавним началом работ в карьере трубки «Ботуобинская».

В геохимическом спектре учитываемых элементов преимущественно отмечается Mn, Zn, Ni, Cd, Cr, Co. Только в районе карьера трубки «Нюрбинская» и около дороги в сторону склада взрывчатых веществ в почве зафиксировано наличие As.

4. Выводы

На основании исследований содержания ТМ в почвенном покрове территории промышленной площадки Нюрбинского горно-обогатительного комбината установлено следующее.

Распределение подвижных форм тяжелых металлов и микроэлементов (Pb, Cd, Cu, Ni, Mn, Zn, Co, Cr, As) по территории исследования имеет неоднородный характер вследствие локальных источников их поступления.

Выявлены индикаторные элементы, отражающие специфику почвенного покрова промышленной зоны НГОКа. Геохимические ряды элементов-токсикантов могут служить основой для последующего мониторинга локальных участков.

5. Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания FSRG-2020-0018 «Изучение особенностей функционирования арктических и субарктических экосистем Якутии в условиях усиления техногенного воздействия и глобального изменения климата» и FUEM-2019-0003 «Эколого-геохимическое изучение техногенных массивов на территории Якутской алмазоносной провинции».

6. Литература:

[1] Mazurek R., Kowalska J., Gąsiorek M., Zadrozny P., Jozefowska A., Zaleski T., Kępka W., Tymczuk M., Orłowska K. Assessment of heavy metals contamination in surface layers of Roztocze National Park Forest soils (SE Poland) by indices of pollution // Chemosphere, 2017, vol. 168, pp. 839-850.

[2] Memoli V., Eymar E., Garcна-Delgado C., Esposito F., Santorufo L., De Marco A., Barile R., Maisto G. Total and fraction content of elements in volcanic soil: Natural or anthropogenic derivation // Sci. Total Environ., 2018, vol. 625, pp. 16-26.
[3] Saha J.K., Panwar N. Screening of soil for assessment of toxicity of heavy metals to organisms // Curr. Sci. India, 2014, vol. 106, pp. 300-304.
[4] Kolesnikov S.I., Timoshenko A.N., Kazeev K.Sh., Akimenko Yu.V., Myasnikova M.A. Otsenka ekotoksichnosti nanochastits medi, nikelya i tsinka po biologicheskim pokazatelyam chernozema // Pochvovedenie, 2019, no. 8, pp. 986-992.
[5] Kolesnikov S.I., Varduni V.M., Timoshenko A.N., Denisova T.V., Kazeev K.Sh., Akimenko Yu.V. Otsenka ekotoksichnosti nanochastits oksidov kobal'ta, medi, nikelya i tsinka po biologicheskim pokazatelyam sostoyaniya chernozema obyknovennogo // Yug Rossii: ekologiya, razvitie, 2020, no. 15(1), pp. 130-136.
[6] Kolesnikov S.I., Kazeev K.Sh., Val'kov V.F. Ekologicheskie funktsii pochv i vliyanie na nikh zagryazneniya tyazhelymi metallami // Pochvovedenie, 2002, no. 12, pp. 1509-1514.
[7] S.I. Kolesnikov, D.I. Moshchenko, A.A. Kuzina, T.A. Ter-Misakyants, E.N. Nevedomyaya, N.A. Vernigorova, K.Sh. Kazeev. Ekologicheskie normativy soderzhaniya tyazhelyh metallov v buryh lesnyh pochvah kryma i kavkaza // Ekologiya i promyshlennost' Rossii, 2021, vol. 1, no. 25, pp. 65-71.
[8] Belosheykina A.V., Talovskaya A.V., Yazikov E.G. Ecological and geochemical assessment of Sorsk mining and processing plant soil cover (republic of Khakassia) // Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering, 2020, vol. 331, no. 1, pp. 44–53 (in Russian)
[9] Makarov V.N. Ecological and geochemical assessment of technogenic impact on the environment of Yakutia // Geography and Natural Resources, 2010, no. 1, pp. 45-48 (in Russian)
[10] Tentyukov M.P. Features of distribution of chemical elements in frozen soils // Earth`s Cryosphere, 2013, vol. 17, no. 3, pp. 100-107 (in Russian)
[11] Gololobova A.G., Legostaeva Ya.B. The stability of frozen soils in conditions of development of mining industry // Water Resources. Forest, Marine and Ocean Ecosystems conference proceedings, 2017, vol. 17, Iss. 32, pp. 655-662. DOI: 10.5593/sgem2017/32 /S13.085
[12] Legostaeva Ya.B. Migration of microelements in the profile of cryozem in north-west Yakutia // Life Science Journal, 2014, vol. 11, Iss.7s, pp. 406-409.
[13] IUSS Working Group WRB. 2006. World reference base for soil resources 2006 // World Soil Resources Reports No. 103. FAO, Rome.
[14] Dyagileva A.G. Environmental assessment of geochemical state technogenic-contaminated soils // International journal of applied and fundamental research, 2013, no. 8, pp. 53-55 (in Russian)
[15] M 03-07-2009. Metodika vypolneniya izmerenie massovoy doli elementov (As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb, V, Zn) v probakh pochv, 147 gruntov i donnykh otlozheniy PND F 16.1:2:2.2.63-09. Moscow, 2009, 40 pp.
[16] Motuzova G.V. Ustoychivost pochv k khimicheskomu vozdeystviyu. Moscow, MGU Publ., 2000. 57 pp.
[17] Syso A.I. Zakonomernosti raspredeleniya khimicheskikh elementov v pochvoobrazuyushchikh porodakh i pochvakh Zapadnoy Sibiri. Novosibirsk, SO RAN Publ., 2007, 275 pp.

УДК 628.1: 628.35

ОЧИСТКА ВОДЫ ДЛЯ ХОЗЯЙСТВЕННО-ПИТЬЕВОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЗАГРУЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Ньургуйаана Егорова[1], Александр Александров[2], Петр Пермяков[1,3]
1 Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, ул. Кулаковского, 50, г. Якутск, 677000, Россия
2 Институт проблем нефти и газа ЯНЦ СО РАН, ул. Петровского, 2, г. Якутск, 677980, Россия
3 ФИЦ «ЯНЦ СО РАН» Институт физико-технических проблем Севера, ул. Октябрьская, 1, г. Якутск, 677890, Россия

NATURAL LOADING MATERIALS FOR WATER TREATMENT

NurguanaEgorova[1], Aleksander Aleksandrov[2], Petr Permyakov[1,3]
1 North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov, 50 Kulakovsky St., Yakutsk, 677000, Russia
2 Institute of Oil and Gas Problems YSC SB RAS, 2 Petrovsky St., Yakutsk, 677980, Russia
3 FRC «YaSC SB RAS»Institute of physical and technical problems of the North. V. P. Larionova SB RAS, 677980, 1 Octyabrsky St., Yakutsk, Russia

Annotation. This article discusses loading materials for water purification in a water supply system. The analyzes of the source water and the results of the purified water with the loading materials of zeolite and activated carbon were carried out. It is shown that they meet the basic hygienic regulatory requirements for use as a filter material in the preparation of drinking and industrial water supply in water treatment facilities.

1. Введение

В последние годы из-за тенденции развития численности населения в населенных пунктах Якутии увеличилась потребность в питьевой воде. В данное время чистая вода является актуальной проблемой из-за увеличения антропогенных воздействий на природу [1]. При этом повышается загрязнение поверхностных водоемов различного рода химическими отходами: нефтепродукты, фенолы, синтетические поверхностно-активные вещества, медь, цинк и др. Для очистки питьевой воды жилищно-коммунальных хозяйств экономически выгодным являются природные загрузочные материалы: кварцевый песок, цеолит, шунгит, актированный уголь и т.д. Целью данной работы является исследование подготовки воды для хозяйственно-питьевого водоснабжения, используя местные загрузочные материалы.

2. Материалы

В качестве исходных местных загрузочных материалов использованы цеолит месторождения Хонгуруу (Якутия, Россия), а также активированный уголь.

1. Цеолиты относятся к новому поколению фильтрующих материалов. Это очень перспективное природное сырьё, для которого характерны высокие технологические параметры и отсутствие негативных последствий при применении в широких масштабах. Цеолиты не набухают в воде, легко обрабатываются и фракционируются, обладают абсорбционными и молекулярно-ситовыми свойствами, абсолютно безопасны для живых организмов. Поэтому могут применяться во всех процессах водоочистки. Уже сегодня природный цеолит успешно используется в бытовых фильтрах. Он не только выполняет функции механического фильтра, но и смягчает воду, повышает pH воды. Потребителями отмечен ряд положительных моментов: цеолит хорошо сорбирует бактерии и вирусы, деликатно действует на необходимые человеку микроэлементы. Цеолит входит в биологическую добавку «Литовит» как медицинский сорбент, поэтому вымывание из фильтра его мелкой фракции не только не опасно, а даже полезно для здоровья.

Физико-химические свойства цеолитовых пород в зависимости от месторождений меняются по типам сырья: содержание цеолитов клиноптилолит-гейландитового и гейландитового состава – 70-98 %; ионообменная емкость - 0,16-1,91 мг-экв/г; адсорбционные свойства по воде (при P/P_s=1,0) - 10,34-12,03 %; термостабильность – 700 °С; оптимальная температура дегидратации - 300-550 °С [2,3].

Усредненный химический состав цеолитов по двум типам сырья (%): SiO_2 - 66,43; TiO_2 - 0,18; Al_2O_3 - 12,03; Fe_2O_3 - 0,92; FeO - 0,26; MnO - 0,03; MgO - 1,47; CaO - 2,50; Na_2O - 1,75; K_2O - 1,35; P_2O_5 - 0,14; п.п.п. - 6,2.

Физико-механические характеристики цеолита месторождений Хонгуруу: плотность - 2,2 г/см^3; истираемость-0,27-0,49 %; измельчаемость-2,1-3 %; пористость-52-57 % [2,3].

2. Активированные угли- пористые углеродные тела, зернистые и порошкообразные, развивающие при контакте с газообразной или жидкой фазами значительную площадь поверхности для протекания сорбционных явлений. По своим структурным характеристикам активные угли относятся к группе микрокристаллических разновидностей углерода — это графитовые кристаллиты, состоящие из плоскостей протяженностью 2-3 нм, которые в свою очередь образованы гексагональными кольцами. Пористая структура активных углей характеризуется наличием развитой системы пор, которые классифицируют по размерам на микропоры (<1,6 нм), мезопоры (1,6-200 нм) и макропоры (>200 нм). Микропоры – наиболее мелкая разновидность пор, соизмеримая с размерами адсорбируемых молекул. Удельная поверхность микропор достигает 800-1000 м^2/г. Для оценки качества зерненных активных углей, используемых в качестве фильтрующе-сорбирующей загрузки в адсорберах различной конструкции, важное значение приобретают их физико-механические характеристики - зернение, насыпная плотность, механическая прочность. Активные угли выгодно зарекомендовали себя на конечной стадии водоподготовки для поглощения различного рода хлор-органических соединении как содержащихся в исходной воде, так и образующихся в ней в больших количествах на предшествующих стадиях водоподготовки [3,4].

3. Результаты и обсуждение

Опытное испытание исходной воды р. Вилюй проведены в блочно-модульной станции водоподготовки для хозяйственно-питьевых нужд села Харыялах (Верхневилюйский район, Республика Саха (Якутия)). Станция предназначена для очистки и обеззараживания воды из внешнего источника (скважина, река, озеро) до соответствия гигиеническим требования к качеству воды.

Осветления воды и доведения ее качества до нормативных показателей происходит на двухступенчатых сорбционных фильтрах ФСЦ1 (природный цеолит) и ФСУ1 (актированный уголь).

Анализ воды проведен в Аккредитованной испытательной лаборатории «Центр гигиены и эпидемиологии в РС(Я)» (г. Якутск).

В таблице 1 и 2 приведены результаты осветления исходной воды (привозная вода из р. Вилюй) и качество после очистки воды.

3. Выводы

Результаты исследований местного природного цеолита (Якутия) и активированного угля показывают, что они соответствуют основным гигиеническим нормативным требованиям для применения в качестве фильтрующего материала при подготовке питьевого и хозяйственно-производственного водоснабжения в водоочистных сооружениях.

Таблица 1

Результаты анализов исходной воды и требуемое качество очищенной воды.

Определяемые показатели	Ед. изм.	Исходная вода р. Вилюй	Норматив для централизованного водоснабжения (СанПиН 2.1.4.1175-02)
Мутность	баллы	13,57	2,6
Цветность	Ед.	106,5	20(35)
pH	Град.	7,42	6-9
Запах	Мг/л	2	2
Жесткость общая	Мг-экв/л	1,88	5-7
Сухой остаток	Мг/л	1,6	1000-1500
Сульфаты	Мг/л	16	500
Хлориды	Мг/л	0,24	350
Нитраты	Мг/л	0,95	45
Железо	Мг/л	0,86	ПДК
Аммиак	Мг/л	0,85	ПДК
Нефтепродукты	Мг/л	0,004	ПДК

Таблица 2

Результаты анализов воды с загрузками природный цеолит и активированный уголь.

Определяемые показатели	Ед. изм.	Результаты испытаний	Величина допустимого уровня
Мутность	баллы	Менее 0,58	Не более 1,5
Цветность	Ед.	Менее 1	Не более 20
pH	Град.	8,10±0,20	6-9
Запах	Мг/л	0	Не более 2
Жесткость общая	Мг-экв/л	3,5±0,5	Не более 7
Сухой остаток	Мг/л	3488±44	Не более 1000
Сульфаты- ионов	Мг/дм^3	10,8±1,1	Не более 500
Хлорид-ионов	Мг/дм^3	134±13	Не более 350
Щелочность	Ммоль/дм^3	4,28±0,51	Не нормируется
Нитрат-ионов	Мг/дм^3	0,37±0,10	Не более 45

4. Благодарности

Работа выполнена в рамках дипломного проекта: Оценка эффективности очистки воды с применением фильтрующих материалов (природные сорбенты и т.д.).

5. Литература:

[1] Ayukaev R.I., Meltzer V.E. Production and use of filtering materials for water purification (Reference manual) - Leningrad: Stroyizdat, Leningrad Branch, 1985, 120 pp (in Russian)

[2] Novgorodov P.G., Alexandrov A.R., Efimov S.E. The study of zeolite deposits Honguruu (Yakutia) as a filter material. // Water treatment. Water treatment. Water Supply, 2012, no. 3, pp.18-23 (in Russian)

[3] Egorova N.E., Aleksandrov A.R., Permyakov P.P. Natural loading materials for water purification //In the collection: Geology and mineral resources of the north-east of Russia. Materials of the IX All-Russian Scientific and Practical Conference: - Yakutsk: NEFU Publishing House, pp. 453-456 (in Russian) - RSCI. http://geo.ysn.ru/

[4] Kalinin Yu.K., Kalinin A.I., Skorobogatov G. A. Karelia shungites - for new building materials, in chemical synthesis, gas purification, water treatment and medicine. - SPb.: UNTSH SPbSU, VVM, 2008, pp 6-68 (in Russian)

УДК 628.16.081.3 : 628.1.033

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ СОРБЕНТОВ В КАЧЕСТВЕ ФИЛЬТРУЮЩЕЙ ЗАГРУЗКИ ДЛЯ ОЧИСТКИ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ

Сергей Ефимов, Александр Александров
Институт проблем нефти и газа ЯНЦ СО РАН, ул. Автодорожная, 20, г. Якутск, 677980, Россия

RESULTS OF THE USE OF NATURAL SORBENTS AS A FILTER FEED FOR DRINKING WATER TREATMENT

Sergey Efimov, Aleksandr Aleksandrov
Institute of Oil and Gas Problems YSC SB RAS, 20 Avtodorozhnaya St., Yakutsk, 677980, Russia

Annotation. The article presents the results of laboratory studies on the treatment of drinking water for various organoleptic and sanitary-hygienic indicators showing the high efficiency of the developed experimental model of the filter with a load of natural filter materials (zeolite, shungite, granular activated carbon). Also shown are the results on the content of residual aluminum after the coagulation process - additional stage before filtration. Recommendations for the regeneration and replacement of filter columns with sorbents are given.

1. Введение

Данная статья является продолжением ранее опубликованных результатов исследований цеолитовых пород месторождения Хонгуруу (Якутия) для целей питьевой водоподготовки, где были рассмотрены физико-химические характеристики и типы сырья; физико-технологические свойства, которые показали, что цеолитовые породы соответствуют требованиям, предъявляемым к фильтрующим материалам [1].

2. Основная часть

Была изготовлена экспериментальная модель фильтра (Рисунок 1), предназначенная для исследования в режиме фильтрации трех последовательно подсоединенных колонок с сорбентами объемом по 1,5 л. Первая колонка состоит из шунгита, вторая - из цеолита, а третья - из гранулированного активированного угля (ГАУ).

Применение шунгита Зажогинского месторождения (Карелия) в качестве фильтрующей загрузки продиктовано тем, что поверхность его зерен обладает свойствами каталитически разлагать содержащиеся в воде токсичные комплексы тяжелых металлов и органического вещества, в т.ч. хлорорганику, фенолы, соединения диоксинового ряда. Также шунгиты имеют ярко выраженные бактерицидные свойства [2].

Гранулированный активированный уголь марки 607 С применяется в качестве фильтрующей загрузки в системах водоподготовки, предназначен для удаления запахов, цвета и снижения содержания растворенных органических веществ.

Сорбционные, ионообменные свойства цеолитовых пород детально исследованы многочисленными авторами [3-5] и они широко используются в качестве сорбента, как в крупных водоочистных станциях, так и в бытовых фильтрах.

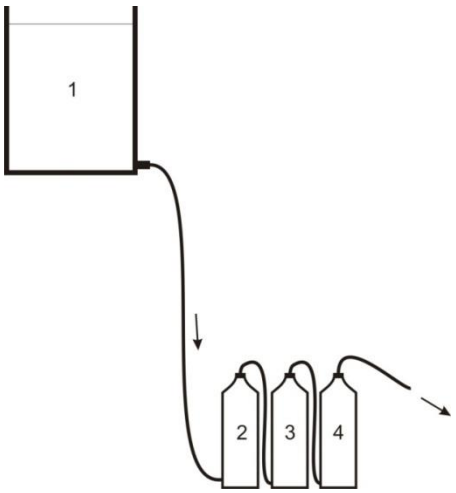


Рисунок 1. Общая схема экспериментального фильтра
1- исходная емкость с очищаемой водой; 2 - шунгит; 3 - цеолит; 4 - ГАУ.

В целях достижения максимальной степени водоочистки перед этапом фильтрования включен предварительный процесс коагуляции. Данный этап необходим в связи с тем, что часто качество воды из поверхностных источников имеет высокую цветность и окисляемость, кроме того, значительно продляется ресурс фильтра.

Для коагуляции очищаемой воды применялись алюмо-калиевые квасцы $KAl(SO_4)_2 \cdot 12\ H_2O$. Коагулянт вносился в исходную емкость в концентрации 6,8 мг/л.

Пробы воды на анализ по остаточному алюминию после очистки на фильтре (нормативы ВОЗ и ЕС – 0,2 мг/л, российский – 0,5 мг/л) регулярно отбирались через каждые 500 л воды: из исходной емкости с очищаемой водой и на выходах из каждой колонки с сорбентом (Таблица 1). По данным результатов анализов концентрация лимитирующего элемента – остаточного алюминия в воде полностью прошедшей процесс очистки не превышает 0,05 мг/л. Ресурс эксплуатации фильтра после очистки 4000 л. воды по остаточному алюминию не превысил нормативы ВОЗ И ЕС – 0,2 мг/л.

Таблица 1

Содержание остаточного алюминия на различных стадиях очистки воды на фильтре

№ пробы	Объем отфильт-рованной воды, л	Скорость фильт-рации, л/час	Алюминий, мг/л			
			После коагуляции и отстаивания	Ступени фильтрации		
				шунгит	цеолит	ГАУ
1	50	3,5	-	0,01	0,14	0,027
2	500	1,4-2,4	4,49	0,38	0,06	0,06
3	1000	2,8	0,40	-	0,09	0,12
4	1500	1,7	0,42	1,80	0,90	<0,05
5	2000	4,8-5,2	-	0,28	0,12	<0,05
6	2500	2,5	1,5	0,14	0,33	<0,05
7	3000	"	0,42	1,01	0,05	<0,05
8	3500	3,2	0,34	0,30	0,30	<0,05
9	4000	3,0	3,09	2,47	0,92	<0,05
ПДК СанПиН 2.1.4.1116-02					0,5	

Стандарт ВОЗ, ЕС	0,2

В Таблице 2 представлены результаты анализов проб воды с различных поверхностных и подземных источников, прошедших очистку на фильтре. Данные свидетельствуют о достаточно высокой эффективности фильтра по снижению цветности, окисляемости, избыточного содержания железа, марганца и аммонийного азота. Микробиологические анализы всех исследованных проб воды показали высокую эффективность работы фильтра. Вода, простоявшая в фильтре в течение почти 3-х месяцев, осталась стерильной.

Таблица 2

Результаты очистки воды на фильтре

№ источ-ника	Цветность	Окисля-емость, мг0_2/л	Жест-кость, мг.экв/л	Содержание, мг/л						
				Ca	Mg	Fe	Mn	Al	NH_4	NO_3
1	92.5	-	9.86*	42	-	-	-	-	0.03	2.74
	6	-	0.41	6	-	-	-	-	отс	1.41
2	<100	6.1	6.5	100	-	4.7	0.44	-	-	-
	0	0.35	-	13.6	-	0.01	0.1	-	-	-
3	120	3.2	0.23*	-	-	3.0	0.45	0.06	-	-
	13.5	-	отс	-	-	отс	0.08	0.1	-	-
4	70	9.6	-	-	-	0.08	-	-	1.56	-
	0	0.8	-	-	-	отс	-	-	отс	-
5	-	-	-	8.32	-	1.0	0.13	-	2.7	-
	-	-	-	45.85	-	0.05	отс	-	отс	-
6	-	-	-	-	-	1.0	0.13	-	1.2	-
	-	-	-	-	-	0.2	отс	-	отс	-
7	236	54.1	6.4	56.4	43.8	0.34	-	0.09	-	-
	отс	2.3	4.8	40	34	отс	-	0.01	-	-
ПДК	20	5	1.5-7			0.3	0.1	0.5		

Примечание: Верхняя строка анализов – исходная; нижняя после очистки на фильтре.
* мутность

В целях продления срока службы, зависящего от качества очищаемой воды, фильтр должен подвергаться регенерации после пропуска 1000 л.

Колонка с шунгитом может быть регенерирована от адсорбированного остаточного алюминия и захваченных загрязнений (частички хлопьев, механических примесей) обработкой теплым (50-60 ºС) 4% раствором уксусной кислоты. Для этого надо слить воду из колонки. Затем залить ~ 0,75 л подготовленной уксусной кислоты. Дать простоять 2-4 часа. Промыть заранее запасенной отфильтрованной водой (5 л) до исчезновения запаха кислоты.

Цеолит для регенерации необходимо промыть в колонке отфильтрованной водой обратным током (сверху – вниз) со скоростью 3-4 л/час в течение 1-1,5 часов. Цеолит, после очистки 3000 - 4000 литров воды, требует замены на колонку с новой порцией сорбента.

Колонка с ГАУ после очистки ~2000 л воды требует замены новым материалом.

3. Выводы

Разработанный экспериментальный фильтр с загрузкой из минеральных сорбентов (шунгит, цеолит и ГАУ) по результатам анализов органолептических свойств, санитарно-химических и микробиологических показателей воды из различных поверхностных и подземных питьевых источников показал свою достаточную эффективность. При этом дополнительный этап коагуляции $KAl(SO_4)_2 \cdot 12\ H_2O$ позволяет достичь высокой степени очистки воды. Остаточный алюминий после пропуска через фильтр 4000 литров воды не превышает пределы допустимых нормативов.

4. Благодарности
Работа выполнена в рамках НИОКТР «Биогеохимия процессов формирования и разрушения углеводородных флюидов», № АААА-А21-121011490054-0.

5. Литература:
[1] Novgorodov, P.G., Aleksandrov, A.R. and Efimov, S.E. Research of the zeolite of the Khonguruu deposit (Yakutia) as a filter material // Vodoochistka. Vodopodgotovka. Vodosnabzhenie, 2012, no. 3, pp. 18-23.
[2] Kalinin, A.I. et al. Technology for obtaining high-quality drinking water based on the modeling of natural processes of self-purification // "Water: ecology and technology": Materials of the International Congress, Moscow, 1994, pp.401-425.
[3] Tarasevich, Yu.I. Natural sorbents in water purification processes. Kiev: Nauk. Dumka, 1981, 207 pp.
[4] Chelishchev, N.F., Bernstein, B.G. and Volodin, V. F. Zeolites – a new type of mineral raw materials. Moscow: 1987, 176 pp.
[5] Horunzhina, S.I. and Pozdnjakovskij, V.M. Natural zeolites in the production of beverages. Kemerovo: JSC Kuzbassvuzizdat, 1994, 240 pp.

УДК 551.345, 556

ИЗМЕНЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК РЕЧНОГО ЛЬДА НА СЕВЕРО-ВОСТОКЕ РОССИИ

Анастасия Землянскова, Наталия Нестерова, Ольга Макарьева
Северо-Восточная научно-исследовательская мерзлотная станция Института мерзлотоведения им. П. И. Мельникова СО РАН, ул. Портовая, 16, г. Магадан, 685000 Россия

CHANGES IN THE CHARACTERISTICS OF RIVER ICE IN THE NORTH-EAST OF RUSSIA

Anastasiya Zemlyanskova, Nataliia Nesterova, Olga Makarieva
North-Eastern Permafrost Station of Melnikov Permafrost Institute SB RAS, 16 Portovaya St., Magadan, 685000, Russia

Annotation. The analysis of changes in the characteristics of river ice was carried out on the basis of the developed database for the rivers of the North-East of Russia for 24 hydrological gauges. For the period 1951-2018, the maximum ice thickness was reduced at 11 gauges by an average of 40 cm, while the date of reaching the highest values remains almost unchanged. The period of formation of the river ice thickness of 60 cm and 90 cm required for operation of winter roads for cars and trucks respectively for had shifted by almost a month. The results obtained can be used to plan the transportation of goods to remote settlements in the region.

1. Введение

В арктических районах и районах крайнего севера в зимний период, когда водный путь недоступен, функционируют зимники. Зимник – автомобильная дорогая, эксплуатация которой возможна только в зимнее время при минусовой температуре. Ледовая переправа, прокладывается по льду рек, озер, водохранилищ или морей только после тщательной проверки толщины ледяного покрова. Зимние дороги проектируются и создаются ежегодно в таких странах, как Канада, Китай, США, Россия, Финляндия, Норвегия и Швеция. В условиях изменения климата происходит сокращение сроков эксплуатации зимников. В работе [1] отмечается, что на территории Канады для самых тяжелых транспортных средств проезд по зимникам будет невозможен к концу XXI века.

На территории Северо-Востока России зимники проложены по рекам Колыма, Яна и Индигирка. Только в Республике Саха (Якутия) протяженность автозимников составляет более 9 тысяч километров, которые обеспечивают сообщение между центром и улусами, используются для доставки жизнеобеспечивающих товаров. Для этой территории на отдельных реках, таких как Лена, Чара, Учур, наблюдается существенное изменение характеристик ледового режима, а на других (Тимптон, Нюкжа) проявляется пока достаточно слабо [2]. В среднем продолжительность ледостава уменьшается на 5 – 15 дней. Дата начала ледостава наступает в среднем на 3 – 4 дня позже, а дата окончания ледостава раньше на 5 – 8 дней.

Цель работы – провести анализ изменений характеристик ледового режима рек Северо-Востока России (1951-2018 гг.) на основе разработанной базы данных, а также оценить влияние этих изменений на транспортную доступность и связность удаленных арктических районов.

2. Материалы и методы

Для оценки изменений толщины льда на реках Северо-Востока по разработанной базе данных [3] использовались три статистических непараметрических критерия (Манна-Кендалла, Петтитта и Тейл-Сена). На различных по площади водосборах в данной работе были отобраны репрезентативные ряды. Выбраны следующие критерии репрезентативности: 1) длина анализируемого ряда более 20 лет; 2) разница в количестве значений до 1980 и после 1980 не превышает 50 %; 3) наличие данных в современный период (после 2000 г.). Всего для территории

Северо-Востока России проанализированы данные 24 гидрологических постов по следующим характеристикам: максимальная толщина льда, дата наступления максимальной толщины, а также изменение даты наступления толщины льда 60 и 90 см. Данные величины обусловлены строительными нормами для проезда колесных автомобилей массой 15 и 35 тонн соответственно [4].

3. Результаты

В Таблице представлены результаты проведенной статической обработки.

Таблица

Изменение характеристик ледового покрова рек с длительным рядом наблюдений до 2018 г. без значительных пропусков в данных.

Номер поста	Площадь водосбора, км^2	Изменение максимальной толщины льда, см	Изменение максимальной толщины льда, %	Отклонение от средней даты достижения максимума	Количество дней для 60 см	Количество дней для 90 см
1001	42600	**-108**	**-53**	0	**16**	**17**
1578	32000	**-16**	**-14**	*4*	**30**	**64**
1801	361000	**-31**	**-29**	0	**38**	**40**
1802	413000	**-26**	**-19**	-2	**19**	**24**
1805	635000	**-30**	**-21**	0	**24**	**33**
3414	45300	**-23**	**-16**	0	**12**	**36**
3489	83500	**-98**	**-52**	***-2***	***16***	***37***
3861	224000	**-38**	**-25**	0	**19**	**32**
1508	11400	**-24**	**-30**	-5	16	**59**
1010	99400	*16*	*14*	0	**27**	**-14**
1398	121000	**-18**	**-17**	0	**27**	19
1176	13600	-15	-14	0	**29**	0
1497	47300	18	14	*3*	**21**	0
1596	49600	-4	-4	-2	**32**	45
1566	25100	**-34**	**-35**	**-8**	0	-17
1018	287000	7	7	0	0	0
1504	18600	**55**	**59**	**9**	-12	19
3430	23900	**26**	**16**	0	0	0
3445	89600	-25	-11	0	0	0
3483	40000	**59**	**36**	0	0	**-49**
3488	51100	-24	-11	0	0	0
3503	7630	**98**	**39**	*3*	0	-13
3881	17700	-5	-5	0	0	0
3882	29000	-21	-16	0	0	6

* Ячейки, заполненные серым цветом, соответствуют статистически значимым трендам при p <0,10; при p <0,05 – жирным шрифтом; при 0,05 <p <0,10 – курсивом; красным – положительный тренд для максимальной толщины льда и отрицательный для количества дней достижения 90 см

На 11 из 24 исследуемых постах наблюдается значимое сокращение максимальной толщины ледового покрова при уровне значимости p <0,10. В среднем уменьшение составляет 40 см (28 %) и изменяется от 16 см (р. Ясачная – с. Нелемное, бассейн р. Колымы) до 108 см (р. Колыма – с. Оротук). Уменьшение максимальной толщины льда не сопровождается сдвигом даты наступления этого максимума. На 5 постах наблюдается увеличение толщины ледового покрова со средним значением 50,1 см (32,8 %). В основном эти изменения происходят в бассейнах рр. Яна и Индигирка и связаны с образованием наледей на участке поста.

За последние пятьдесят лет произошло значимое смещение дат образования толщины льда в среднем на 24 дня (от 12 до 36 дней) на 13 из 24 гидрологических постах для 60 см и на 38 дней (от 17 до 64 дня) на 9 постах для 90 см. Более раннее становление льда 90 см наблюдается на 2

постах (на 14 и на 49 дней), что также связано с образованием наледей, которые являются фактором, осложняющим функционирование зимних ледовых трасс.

4. Выводы

Освоение новых территорий и транспортировка полезных ископаемых реализуется благодаря зимним дорогам. К тому же затраты на создание зимних дорог может быть в разы дешевле, чем поддержание постоянной всесезонной транспортной артерии. Сокращение сроков функционирования зимников может повлечь за собой значительный экономический ущерб.

По результатам проведенной работы на реках Северо-Востока России дата начала использования естественных транспортных артерий может сдвинуться на месяц и более. Необходимо учитывать этот фактор при составлении графика работы автозимников и применять методы искусственного намораживания толщины льда на реках для увеличения сроков их использования.

5. Благодарности

Исследования проводятся при поддержке РФФИ – проект №19-55-80028.

6. Литература:

[1] Mullan, D., Swindles, G., Patterson, T., Galloway, J., Macumber, A., Falck, H., Crossley, L., Chen, J. & Pisaric, M. Climate change and the long-term viability of the World's busiest heavy haul ice road. Theoretical and Applied Climatology, 2017, vol. 129, pp. 1089–1108.

[2] Lobanov, V.A., Goroshkova, N.I. Characteristics of ice regime of the rivers of the Sakha Republic (Yakutia) and their climate changes. Uchonye zapiski rshu, 2019, 55, pp. 86-98. doi: 10.33933/2074-2762-2019-55-86-98.

[3] Makarieva, O.M., Nesterova, N.V., Fedorov, A.N., Zemlyanskova, A.A. (2020): Basin area and monitoring observations for rivers at the North-East of Russia (including the Kolyma River basin, the Chukchi Peninsula and the Okhotsk Sea River basins), 1940-2018. *PANGAEA*, https://doi.pangaea.de/10.1594/PANGAEA.925456 *(dataset in review)*, *In:* Makarieva, O et al. (2020): River ice thickness, air temperature and monthly precipitation at the North-East of Russia (including the Kolyma River basin, the Chukchi Peninsula and the Okhotsk sea river basins), 1940-2018. *PANGAEA*, https://doi.org/10.1594/PANGAEA.925461.

[4] Design, Construction, and Maintenance of winter in Siberia and the USSR Far East. Document Number: 137-89.

УДК 551.345, 556

МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА ПЛОЩАДИ И ОБЪЕМОВ АНМАНГЫНДИНСКОЙ НАЛЕДИ (МАГАДАНСКАЯ ОБЛАСТЬ, РОССИЯ)

Анастасия Землянскова[1], Ольга Макарьева[1], Андрей Шихов[2],
Владимир Алексеев[3], Наталия Нестерова[1], Андрей Осташов[1]
1 Северо-Восточная научно-исследовательская мерзлотная станция Института мерзлотоведения им. П. И. Мельникова СО РАН, ул. Портовая, 16, г. Магадан, 685000, Россия
2 Пермский государственный национальный исследовательский университет, ул. Букирева, 15, г. Пермь, 614068, Россия
3 Институт мерзлотоведения им. П. И. Мельникова СО РАН, ул. Мерзлотная, 36, г. Якутск, 677010, Россия

TENPORAL DYNAMICS OF AREA AND VOLUME OF THE ANMANGYNDA AUFEIS (MAGADAN REGION, RUSSIA)

Anastasiya Zemlyanskova[1], Olga Makarieva[1], Andrey Shikhov[2],
Vladimir Alexeev[3], Nataliia Nesterova[1], Andrey Ostashov[1]
1 North-Eastern Permafrost Station of Melnikov Permafrost Institute SB RAS, 16 Portovaya St., Magadan, 685000, Russia
2 Perm State University, 15 Bukireva str., Perm, 614068, Russia
3 Melnikov Permafrost Institute SB RAS, 36 Merzlotnaya St., Yakutsk, 677010, Russia

Annotation. The analysis of changes in the characteristics of the Anmangynda aufeis was carried out on the basis of historical observation data (1962-1991), the results of decoding the Landsat and Sentinel satellite images (2000-2019) and the UAV survey (2020). During the period 1962-2020, the maximum area of aufeis decreased by 1 km^2 (15 %). At the same time, there were no directional changes of the series of maximum volume of aufeis, consisting of the observed and calculated values. A change in the intra-annual dynamics of aufeis is noted, which is manifested in an earlier and complete destruction of aufeis body. It is necessary to renew and develop comprehensive research on Anmangynda aufeis to study the processes of aufeis formation under conditions of climate change.

1. Введение

Наледи – это возобновляемый водно-ледовый ресурс, который до конца не изучен и практически не используется в промышленных целях [1]. В настоящее время на Северо-Востоке России формируется более 7000 гигантских наледей, по предварительным оценкам наледные ресурсы региона в современном климате составляют не менее 10,6 км^3 или 5,0 мм наледного стока [2]. В последние десятилетия данные дистанционного зондирования свидетельствуют об изменчивости динамики наледей в различных природно-климатических условиях, в том числе на Северо-Востоке России [3,4,5,6]. Однако, несмотря на отдельные работы [7,8], полевые исследования наледей практически не ведутся. В условиях нехватки фактических наземных данных значительный интерес представляет анализ материалов исторических наблюдений.

Анмангындинская наледь, расположенная в Тенькинском районе Магаданской области, является уникальным научным объектом, не имеющим аналогов в мире. Здесь в период 60-90 х гг. прошлого века проводились комплексные исследования процессов формирования гигантской наледи, достигающей размеров до 6,6 км^2.

Бассейн р. Анмангында (400 км^2) считается репрезентативным для территории Северо-Востока России, поэтому результаты анализа исторических материалов, дополненных современными данными, могут быть обобщены в региональном плане.

Цель исследования – провести оценку многолетнего изменения динамики характеристик (площади и объема) Анмангындинской наледи на основе исторических и современных данных наблюдений.

2. Материалы и методы

В работе используются исторические материалы наблюдений за циклом развития Анмангындинской наледи в период 1962-1991 гг. [9,10], в том числе данные о площади и объемах наледи в период ее максимального развития и в разные сезоны года.

На основе данных космических снимков Landsat и Sentinel получены данные о площади наледи за несколько лет в период 2000-2019 гг., методика выделения ледяных полей описана в [4]. Данные о характеристиках наледи в 2020 г. получены авторами в результате полевых исследований, в том числе на основе применения БПЛА для съемки наледи [11].

Наличие облачности не всегда позволяет использовать снимки Landsat в период максимального развития наледи. Для приведения площадей, полученных по снимкам, к максимальному значению был применен метод Б.Л. Соколова [12]. Объем наледей за современный период был рассчитан по формуле (1):

$$(1)\ W = 0{,}75\mathrm{F}^{1{,}12}$$

где W и F – объем и площадь наледи тыс. м^3 и тыс. м^2 соответственно [13].

3. Результаты и выводы

В Таблице представлены данные о максимальной площади и объеме Анмангындинской наледи за период 1962-2020 гг. По историческим данным [9, 10] площадь наледи может достигать величины более 6 км^2 (1,5 % от площади бассейна), а объем – до 15,7 млн. м^3. В последние двадцать лет максимальная площадь наледи имеет тенденцию к снижению (Рисунок 1). Несмотря на то, что в 2002 г. площадь наледи составила 5,8 км^2, что сравнимо с максимальными значениями (6,8 км^2 1978 г.), линейный тренд свидетельствует об уменьшении площади за период 1962-2020 гг. на 1 км^2 (15 % от максимальной наблюденной величины). При этом анализ исторических (наблюденных) и современных (рассчитанных) данных об объеме наледи не выявил уменьшения объемов за тот же период.

Таблица

Максимальная площадь и объем Анмангындинской наледи за период 1963-2020 гг.

Дата	**29.04. 1963**	**30.04. 1964**	**20.05. 1965**	**10.05. 1966**	**10.05. 1967**	**30.04. 1968**	**15.04. 1969**	**16.05. 1970**	**15.05. 1971**	**03.05. 1972**	**25.05. 1973**
Площадь, км^2	6,0	6,3	5,4	5,1	6,6	5,8	6,2	6,3	4,3	4,1	4,5
Объем, млн. м^3	10,2	9,4	9,8	8,9	11,7	9,6	15,7	10,5	6,2	5,8	5,9
Дата	**05.05. 1974**	**06.05. 1975**	**06.05. 1977**	**08.05. 1978**	**11.05. 1979**	**25.04. 1981**	**25.04. 1982**	**27.04. 1983**	**24.04. 1984**	**26.04. 1985**	**30.05. 1986**
Площадь, км^2	4,1	4,2	5,7	6,8	5,2	5,1	4,6	5,2	5,7	5,2	5,2
Объем, млн. м^3	5,3	5,9	9,2	9,2	7,8	8,5	7,6	7,2	8,2	6,5	5,8
Дата	**28.04. 1987**	**24.05. 1990**	**07.05. 2000**	**13.05. 2002**	**27.04. 2013**	**13.05. 2015**	**04.05. 2018**	**02.05. 2019**	**10.05. 2020**		
Площадь, км^2	5,0	4,3	5,5	5,8	5,4*	4,9*	3,8*	4,7*	3,3*		
Объем, млн. м^3	6,8	6,4	11,6	12,4	11,3	10,3	7,8	9,7	6,4		

******площадь наледи восстановлена на основе метода Б.Л. Соколова [12]*

Несоответствие изменений площади и объемов наледи может быть связано с изменением внутригодовой динамики наледи. Ранее она являлась перелетовывающей, то есть часть наледи (до 4 %) не стаивала и включалась в процесс наледеобразования на следующий год. Так, 30 августа 1965 г. площадь наледи составляла 0,68 км^2, а в сентябре могла достигать 0,3 км^2 (15.09.1968 г.). В 1989 г. 27 сентября площадь наледи составила 0,05 км^2. В современный период в августе-сентябре наледная поляна не покрыта льдом, об этом свидетельствуют космические снимки за 2019 г. (Рисунок 2) и данные натурных наблюдений 2020 г. [11]. Таким образом, в связи с тем, что время существования наледи в годовом цикле сократилось, параметры формулы (1) могут не соответствовать современной климатической ситуации.

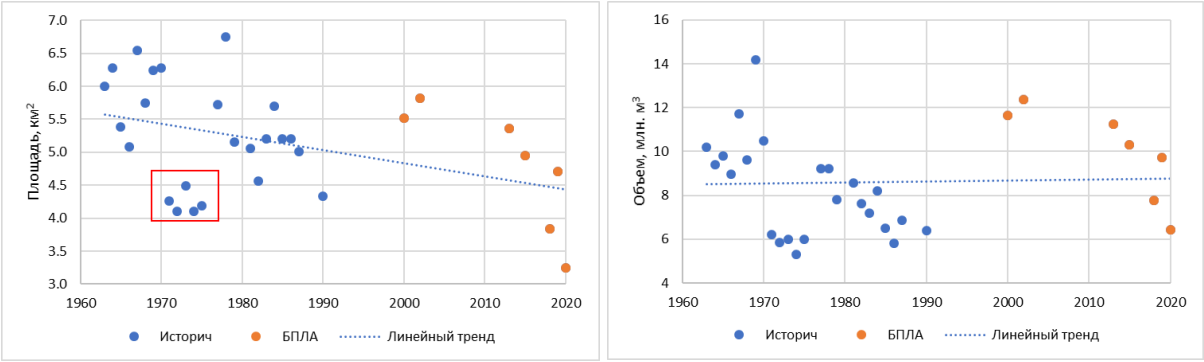


Рисунок 1. Динамика максимальных величин площади и объема Анмангындинской наледи, 1962-2020 гг. Красным прямоугольником выделены данные пониженной точности.

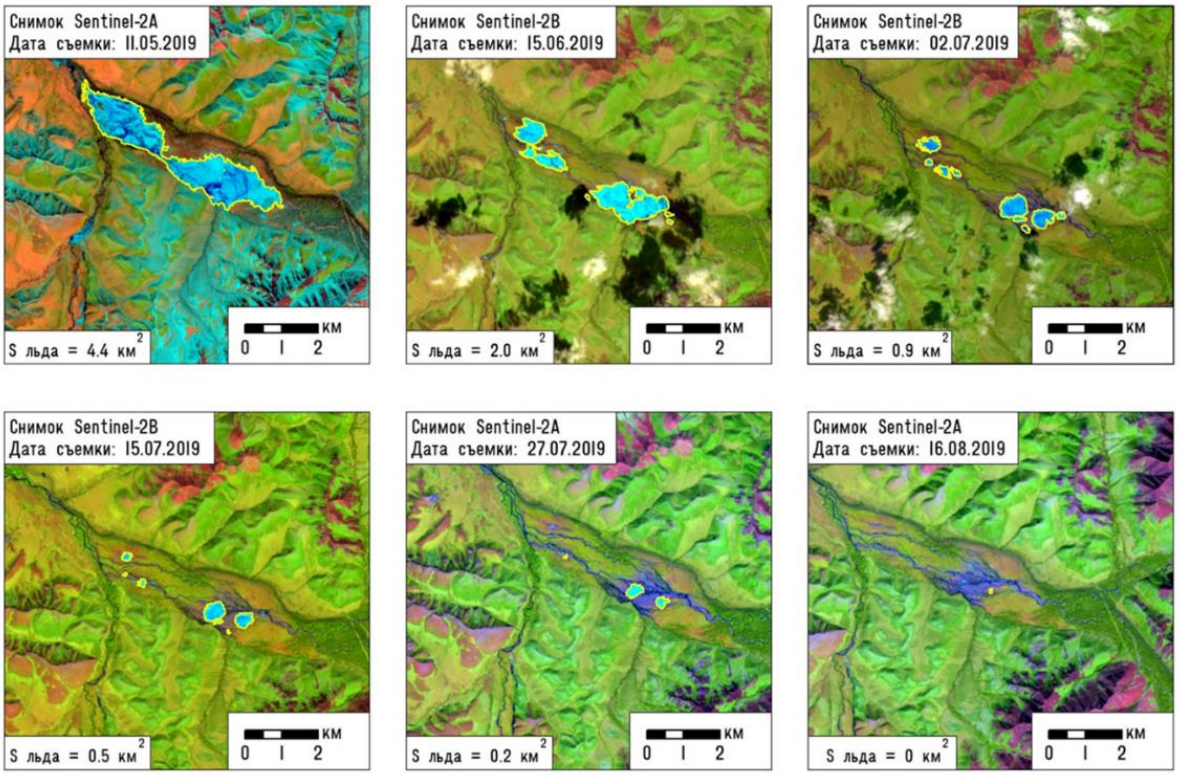


Рисунок 2. Процесс разрушения Анмангындинской наледи в 2019 г. по снимкам Sentinel-2.

Развитие комплексных исследований на Анмангындинской наледи внесет значительный вклад в понимание процессов взаимодействия подземных и поверхностных вод в условии криолитозоны, позволит повысить надежность проектирования и строительства инфраструктуры на Северо-Востоке России, где острой проблемой является ограниченность современных данных о процессах формирования наледей и стока рек.

Использование современных методов исследования и приборов даст возможность автоматизировать получение данных. По итогам успешной реализации возобновления наблюдений на историческом наледном стационаре, будет рассмотрена возможность организации мониторинга других ледяных объектов в различных климатических условиях.

5. Благодарности

Исследования проводятся при поддержке РФФИ – проекты № 20-05-00666 А, №19-55-80028, полевые работы в 2020 году выполнены при поддержке Русского Географического Общества – проект «Атлас гигантских наледей-тарынов Северо-Востока России».

6. Литература:

[1] Alekseev, V. R.: Naledi, Novosibirsk, Nauka Publication, Moscow, 1987 (in Russian).

[2] Makarieva O., Nesterova N., Shikhov A., Ostashov A., Alexeev V., Zemlyanskova A. Aufeis resources and their role in water balance of North-Eastern Eurasia, Hydrol. Earth Syst. Sci. (review).

[3] Alekseev, V. R.: Long-term variability of the spring taryn-aufeises, Ice and Snow, 2016, no. 56(1), pp. 73-93 (in Russian)

[4] Makarieva O., Shikhov A., Nesterova N., and Ostashov A. Historical and recent aufeis in the Indigirka River basin (Russia), Earth Syst. Sci. Data, 2019, no. 11, pp. 409-420, https://doi.org/10.5194/essd-11-409-2019.

[5] Crites H., Kokeji S., Lacelle D. Icings and groundwater conditions in permafrost catchments of northwestern Canada. Sci Rep. 2020, no. 10, 3283.

[6] Morse P. and Wolfe S. Geological and meteorological controls on icing (aufeis) dynamics (1985 to 2014) in subarctic Canada. Geophysical Research: Earth Surface, 2015, no. 120, pp. 1670-1686.

[7] Chesnokova, A., Baraër, M., and Bouchard, É.: Proglacial icings as records of winter hydrological processes, The Cryosphere, 14, 4145–4164, https://doi.org/10.5194/tc-14-4145-2020, 2020.

[8] Gagarin, L., Qingbai, W., Melnikov, A., Volgusheva, N., Tananaev, N., Jin, H., Zhang, Z., and Zhizhin, V.: Morphometric analysis of groundwater icings: Intercomparison of estimation techniques, Remote Sensing, 12(4), 692, doi:10.3390/rs12040692, 2020.

[9] Report of the results of water balance studies with an aufeis component in the Anmangynda River basin. Magadan, 1977 (in Russian).

[10] Report of aufeis observations for the winter period 19XX-19XX, Magadan, 1981-1991 (in Russian).

[11] Makarieva, O.M., Nesterova, N.V., Ostashov, A.A., Zemlyanskova, A.A., Tumskoy, V.E., Gagarin, L.A., Ekaykin, A.A., Shikhov, A.N., Olenchenko, V.V., Khristoforov, I.I.: Perspectives of the development of complex interdisciplinary hydrological and geocryological research in the North-East of Russia, Vestnik of SPbSU. Earth Sciences, 66(1). https://doi.org/10.21638/spbu07.2021.105, 2021.

[12] Sokolov, B. L.: Naleds and river runoff. Gidrometeoizdat, Leninrgad, 190, 1975 (in Russian).

[13] Sokolov, B. L., Sarkisyan, V. O. Underground nutrition of mountain rivers. - Leningrad, Gidrometeoizdat Publication, 239, 1981 (in Russian).

УДК 551.89

К ВОПРОСУ РАЗВИТИЯ МЕТОДА МИКРОМОРФОЛОГИЧЕСКОГО АНАЛИЗА РЫХЛЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

Анна Куть
Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, ул. Мерзлотная, 36, г. Якутск, 677010, Россия

TO THE ISSUE OF MICROMORPHOLOGICAL ANALYZE OF QUARTZ GRAINS DEVELOPMENT

Anna Kut
Melnikov Permafrost Institute SB RAS, 36 Merzlotnaya St., Yakutsk, 677010, Russia

Annotation. In the paper important stages of micromorphological analyze of quartz grains are adduced. Current method position in lithological and facial investigation were analyzed. It is recorded, technical progress in XXI century contributed to method development. Electron-microscope investigation led the method to absolutely new level. In due time, method was developed for reconstruction of quaternary sediment accumulation environment. Since the 70s Investigation of grain's surface began to apply for studying of cryogenesis manifestation in sediment. The most popular is electron microscope applying. But at the present time modern methods were accepted, such as computer tomography. It significantly extended its applying. In recent time form and roundness of grains they used for soil mechanical properties assessment in building construction. Also, it was observed, volume of foreign publications is higher, then in Russia.

Метод микроморфологического анализа рыхлых отложений широко используют специалисты в различных областях геологии и географии для анализа обстановки осадконакопления, определения генезиса отложений, способа и дальности транспортировки образуемого материала. Метод основан на утверждении, что каждая среда, через которую проходит материал оставляет на поверхности частицы характерные следы – элементы воздействия механических и химических процессов такие как форма, степень окатанности зерен и набор диагностических элементов на их поверхности.

Микроморфологическое изучение поверхности частиц имеет несколько аспектов. Во-первых, изучение формы и окатанности частиц. Взаимосвязь этих параметров с условиями среды их переноса и накопления была подтверждена многими исследователями [1]. Было установлено, что форма и размер частиц – это результат воздействия окружающей среды, но процессы транспортировки и накопления частиц, как правило, их изменяют. Окатанность – это степень сглаженности очертаний частиц при их транспортировке и переотложении. Степень окатанности показывает обстановку, дальность и длительность переноса.

За более чем вековые исследования была установлена взаимосвязь характера поверхности частиц с генезисом рыхлых отложений [2,3]. Различными исследователями был собран огромный материал по диагностическим признакам, характерным для флювиальных, эоловых, морских, озерных, ледниковых отложений. Было доказано, например, что при переносе в динамичном водном потоке во взвешенном состоянии частицы приобретают расчлененный рельеф со сглаженными очертаниями, глянцевую поверхность и образуются мелкоямчатый микрорельеф на выступающих частях, раковистые сколы, параллельная полосчатость, блоки расклинивания.

Описанные выше элементы часто встречаются на поверхности зерен, отобранных из отложений на различных геоморфологических уровнях в среднем течение долины р. Лена в пределах Лено-Алданского междуречья [4]. Автором были отмечены диагностические элементы, соответствующие различным режимам водной обстановки, от динамичного водного потока до условий застойного водоема, в пределах Центральной Якутии. Перемещаясь в водном потоке во взвешенном состоянии частицы практически не контактируют и контуры сглаживаются водным

потоком. Для таких зерен характерно развитие мелкоямчатого микрорельефа на выступающих частях (Рисунок 1 А, Б) и процессы растворения на поверхности углублений. При сальтации в более динамичном водном потоке частицы соударяются и поверхность вследствие осложняется блоками расклинивания (Рисунок 1 В), аркообразными ступенями, раковистыми сколами (Рисунок 1 Г) и V-образными микроуглублениями. В условиях застойного водоема на поверхности зерен происходит образование глинистой корочки, которая маскирует элементы, приобретенные в процессе переноса и накопления (Рисунок 1, Д). Изменение скорости водного потока часто приводит к интенсивному размыву берегов и увеличению объема поступающего материала. Недавно освобожденные из коренных пород зерна характеризуются угловатыми очертаниями, острыми краями и гранями, ярко выраженной параллельной полосчатостью на поверхности сколов (Рисунок 1 Е). Подобные зерна были отмечены автором в отложениях среднего течения рек Лена и Вилюй.

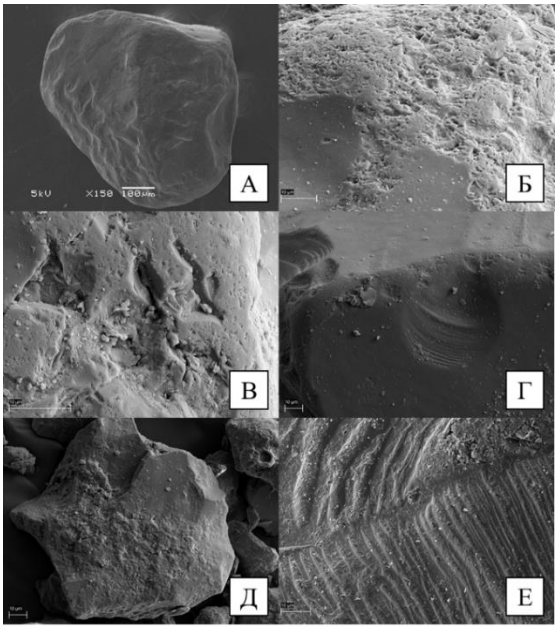


Рисунок. 1. Текстурные элементы на поверхности кварцевых зерен, соответствующие водной обстановке с различной скорости потока:

А – зерно водного происхождения; Б – мелкоямчатый микрорельеф как результат переноса во взвешенном состоянии; В – блоки расклинивания; Г – аркообразные ступени на поверхности раковистого скола; Д – глинистая корочка, образованная в результате накопления частицы в застойном водоеме; Е – параллельная

Еще одним аспектом является экспериментальное изучение изменения поверхности частиц в различных обстановках переноса. Ф. Куенен и В. Дж. Пердок в 50-60-х годах изучал влияние природных химических растворов и накопление отложений в специфических условиях, таких как, например, пустынях, в прибрежной зоне, при промерзании и оттаивании пород [5,6]. Авторы экспериментально доказали, что главную роль в водном потоке в образовании хорошо окатанных зерен с блестящей поверхностью играет химическое воздействие. В результате моделирования эоловых и пляжевых условий Д. Кринслеем и Т. Такахаши были установлены элементы поверхности, характерные для столкновения частиц в воздушном потоке, размер которых соотносится со скоростью ветра и увлажненностью [7]. Ими также было выполнено сравнение ледниковых зерен из естественной обстановки и зерен, полученных путем перетирания смеси льда и обломков чистого дробленного кварца под гидростатическим давлением, имитирующих ледниковые условия [8]. Также экспериментальные исследования показали, что следы, характерные для субаквальной среды, появляются на зернах после 50-ти часов пребывания в водном потоке. После 400 часов зерна приобретают основные признаки водной обработки [9]. А.А. Величко [10] было выполнено моделирование эоловой обработки песчаных зерен. Им было установлено, что после 700 часов (30 дней) обработки при скорости 8,6 м/с, окатанность зерен существенно возрастала.

Одно из направлений анализа – изучение влияния криогенеза, т.е. циклов промерзания-оттаивания, и исследование поверхности разрушенных зерен минералов для определения наиболее характерных деформаций [11,12]. Была установлена связь между минеральным и гранулометрическим составом и режимами промерзания-оттаивания отложений. При этом различные минералы имеют свою устойчивость к процессу криогенного выветривания [13]. Подобные исследования для территории Якутии носят единичный характер [14]. Это направление требует отдельного внимания.

За более чем вековую историю развития микроморфологического анализа рыхлых отложений, этот метод основательно вошел в комплекс литолого-фациальных исследований и инженерно-геологических изысканий. Метод доказал свою состоятельность, а получаемые результаты имеют большое значение при реконструкции обстановки осадконакопления, оценке степени разрушения частиц при криогенезе и анализе степени изменения свойств грунтов, в строительстве и эксплуатации инженерных сооружений. К настоящему времени собран обширный материал о форме зерен и их поверхности как индикаторов среды транспортировки и накопления отложений. Была проделана большая работа по идентификации микротекстур на поверхности кварцевых частиц и зерен тяжелых минералов, выделены и классифицированы механические и химические элементы, соответствующие ледниковым, эоловым, озерным, флювиальным, моренным и морским условиям седиментации, а также криогенному преобразованию осадков. Были изучены отложения плейстоцена и голоцена, и в меньше степени мезозоя и кайнозоя.

Литература:

[1] Russel, R.D., Taylor, R.E., 1937, Roundness and shape of Mississippi River sand: Jour. Geology, vol. 45, pp. 225-267.

[2] Mahaney, W.C., 2002. Atlas of sand grain surface textures and applications. Oxford University Press, Oxford, 237 pp.

[3] Krinsley DH, Doornkamp JC. 1973. Atlas of quartz sand surface textures. Cambridge University Press. 92 pp.

[4] Spektor, V.V., Huijun, Jin, Torgovkin, N.V., Maksimov, G.T., Spektor, V.B., Syromyatnikov, I.I., 2020 Structural features of Pleistocene cryogenic deposits in the Lena and Amga Rivers Plain (Central Yakutia) // Arctic and Subarctic Natural Resources, vol. 25, no. 3, pp. 49–62. doi.org/10.31242/2618-9712-2020-25-3-5.

[5] Kuenen, Ph. H. 1960b. Experimental abrasion. 4. Eolian action. J. Geol. no. 68, pp. 427-49.

[6] Kuenen, Ph. H., Perdok, W.G. 1962. Experimental abrasion 5. Frosting and defrosting of quartz grains. Journal of Geology 70, pp. 648-658. https://doi.org/10.1086/62686.

[7] Krinsley D., Takahashi T. Surface textures of sand grains: an application of electron microscopy // Science, 1962, vol.135, no. 3507, pp. 923-925.

[8] Krinsley D., Takahashi T. (6). Surface textures of sand grains - an application of electron microscopy: glaciation // Science, 1962, vol.138, no. 3546, pp. 1262-1264.

[9] Georgiev V.M., Khrischev K. Experimental modelling of subaqueous mechanical abrasion of eolian quartz grains // 27th IGG, Moscow, 1984, vol. 2, pp. 61-62.

[10] Velichko A.A., Gribchenko Yu.N., Timireva S.N. Modelirovanie eolovoy obrabotki peschanyh zeren // Litologiya i polezniy iskopaemye, 1997, no. 4, pp. 431-439.

[11] Rogov V.V. Osobennosti morphologii chastic kriogennogo eluvia // Kriosphera Zemli. 2000, vol. 4, no. 3, pp. 67-73.

[12] Konishchev V.N., Rogov V.V. Cryogenic processes in loess. Geography, environment, sustainability. 2017; 10(2): 4-14. https://doi.org/10.24057/2071-9388-2017-10-2-4-14 .

[13] Shmelev D.G. Kriogenez ryhlyh otlogeniy polyarnyh oblastey Zemli: Diss. k.g.n. M., 2015, 155 pp.

[14] Konishchev V.N., Rogov V.V. Cryogenesis role in the formation of deposits of Ice complex. 2016. Materialy conferencii geokriologov Rossii. 2016, vol. 7, pp. 302-308.

УДК 550.42:504.054: 631.41

ТЕКТОНИЧЕСКАЯ ОБСТАНОВКА И ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ СИТУАЦИЯ НАКЫНСКОГО КИМБЕРЛИТОВОГО ПОЛЯ

Яна Легостаева[1], Владимир Попов[2], Анна Гололобова[3], Инга Козлова[4], Даниил Ноев[2]
1 Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, пр. Ленина, 39, г. Якутск, 677000, Россия
2 Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, ул. Белинского, 58, г. Якутск, 677000, Россия
3 Научно-исследовательский институт прикладной экологии Севера им. проф. Д.Д. Саввинова Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова, пр. Ленина, 43, г. Якутск, 677980, Россия
4 Национальный исследовательский Томский государственный университет, пр. Ленина, 36, г. Томск, 634050, Россия

TECTONIC AND ECO-GEOCHEMICAL SITUATION OF THE NAKYN KIMBERLITE FIELD

Yana Legostaeva[1], Vladimir Popov[2], Inga Kozlova[3], Anna Gololobova[4], Daniil Noev[2]
1 Diamond and Precious Metal Geology Institute, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, 39 Lenina Ave., Yakutsk, Russia, 677980
2 M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, 58 Belinsky St., Yakutsk, 677000, Russia
3 D.D. Savvinov Research Institute of Applied Ecology of the North, M.K. Ammosov North- Eastern Federal University, 43 Lenin Ave., Yakutsk, Russia, 677980
4 National Research Tomsk State University, 36 Lenin Ave., Tomsk, 634050, Russia

Annotation. The territory of the Nakyn kimberlite field, which is characterized by the Middle Paleozoic intense faulting, is considered. The coefficients of geochemical accumulation of Li, Be, P, Sc, Mn, Ni, Ga, As, Y, Ag, Sn, Sb, La, Yb, Pb, Bi in soils is calculated and analyzed, which allow us to draw a conclusion about the formation of a natural geochemical anomaly in the soil cover, which is a reflection of the intensive development of superimposed epigenetic changes in rocks.

1. Введение

Около 20 % алмазов добывается компанией АЛРОСА в Нюрбинском горно-обогатительном комбинате (ГОК), осваивающем территорию Средне-Мархинского алмазоносного района, где в настоящее время ведутся работы на карьерах «Нюрбинский» и «Ботуобинский». Коренные месторождения алмазов локализуются в узлах центральной зоны разломов с рифтоподобными структурами, выходящими из Патомско-Вилюйского авлакогена [1]. Сложная тектоническая обстановка определила кимберлитовый и трапповый магматизм, и, как следствие, формирование природных геохимических аномалий, находящих свое отражение в почвенном покрове. К зонам разломов тяготеют элементы с надфоновыми (надкларковыми) значениями, которые в основном представлены тяжелыми металлами или микроэлементами, обладающими биогенными свойствами. Многие из них (Tl, Di, As, Cd, Hg, Cu, Zn, Pb, Ti, V и другие) в повышенных концентрациях характеризуются токсичными свойствами по отношению к организмам, и тем самым обуславливают эколого-геохимические риски при алмазодобыче на окружающую среду региона.

2. Основной раздел

Накынское кимберлитовое поле расположено в Средне-Мархинском алмазоносном районе, находящемся в области сочленения юго-восточного склона Анабарской антеклизы и северо-западного борта Вилюйской синеклизы – двух крупных структур Сибирской платформы. Кимберлитовые трубки расположены в осевой линии серии субпараллельных глубинных

разломов единой Вилюйско-Мархинской кимберлитоконтролирующей системы северо-восточного простирания с разломами Среднемархинской зоны северо-западной ориентировки [2,3]. Таким образом, в плане они представляют собой ортогональную сеть разломов различного генезиса и возраста, формирующих структуру тектонической блоковости. Разломы Вилюйско-Мархинской тектонической зоны выполнены траппами среднепалеозойского возраста. Рудные тела кимберлитов, дайки долеритов и их контролирующие тектонические структуры перекрыты 70-80 метровой толщей юрских отложений [4]. В составе депонирующих сред современных ландшафтов (делювиально-элювиальные отложения, почвы, воды, донные осадки, растительность) вдоль сети разломов выявляются линейные геохимические аномалии. С Вилюйско-Мархинской зоной глубинных разломов связаны северо-восточные линейные аномалии с повышенными концентрациями по сравнению с фоном следующих элементов: Li, Be, P, Sc, Mn, Ni, Ga, As, Y, Ag, Sn, Sb, La, Yb, Pb, Bi. Для северо-западных систем линейных аномалий наблюдается лишь незначительное возрастание таких элементов как Li, Be, P, Sn, Sb, La, W. Наличие аномалий и их пространственная корреляция с системой разломов указывает на глубинный характер их происхождения, скорее всего, связано с перемещением газов к дневной поверхности.

Добыча полезных ископаемых неизменно сопряжена с глубоким изменением окружающей среды и её трансформацией. Эксплуатации крупнейших алмазоносных трубок Западной Якутии осложняется поступлением рассолов из подмерзлотных высоконапорных водоносных горизонтов, их безопасное удаление в подземные хранилища является краеугольной задачей обеспечения благоприятной экологической обстановки. Поднятые с глубин горные породы накапливаются в обширных хвостохранилищах, складируются в отвалы вскрышных пород высотой около 100 метров. Таким образом, образуются твердые и жидкие отходы, сопровождаемые неконтролируемым поступлением в почвенную толщу, водные объекты и экосистемы значительных количеств химических элементов и их соединений, выведенных на дневную поверхность из недр Земли, а их дальнейшее распространение формирует геохимические аномалии и риски. В зоне деятельности Нюрбинского ГОКа на дневной поверхности в ходе горных работ оказывается комплекс микроэлементов, таких как Cr, Co, Ni, Mn, Li, Be, Sn. Для почв – криоземов территории исследования характерна биогенная аккумуляция Ni, Mn и Cd в верхнем слое почвы и Cr, Ni, Co, Mn, Cu – в надмерзлотном почвенном горизонте [5,6].

Освоение алмазоносных районов сопровождается геологическими поисковыми работами различной детальности, при которых применяются буровые, геофизические, горные работы, прорубается сеть просек. В алмазоносных районах выполнены беспрецедентные по новизне, объёму и детальности гидрогеологические, инженерно-геологические, геокриологические и геоэкологические исследования.

3. Выводы

Сопряжения горно-геологических и физико-географических условий с различными аспектами освоения алмазных ресурсов определяет спектр и характер распространения химических веществ в природной среде и их опасность для экосистем. При нарушении почвенно-растительного слоя происходит гравитационное перемещение почвенно-грунтового материала по склонам с криогенным солифлюкционным растеканием глинистых масс, перемешиванием их состава, активизацией геохимических процессов. Породы, оказавшиеся на поверхности, подвержены криогенному выветриванию. Кроме этого, нарушение почвенного покрова или его уничтожение являются катализатором геохимических процессов миграции вещества, особое внимание надо уделять в зонах разломов, а в границах антропогенных ландшафтов служат причиной формирования техногенных геохимических аномалий. В пределах последних наиболее интенсивно выражены процессы водной миграции, приводящие к аккумуляции или рассеянию наиболее подвижных микроэлементов, выносу биогенных элементов, засолению, выщелачиванию почв и резкому нарушению природного равновесия.

4. Литература:

[1] Yagnyshev, B.S. Ecology of the Yakutia zone (geochemistry of geosystems: state and problems): monograph. / Yagnyshev B.S., Yagnysheva T.A., Zinchuk M.N., Legostaeva Y.B. // Yakutsk: YANTS SO Publishing House, 2005, 432 pp.

[2] Gorev, N.I., Gerasimchuk, A.V., Protsenko, E.V., Tolstov, A.V. Tectonic aspects of the structure of the Vilyui-Markha zone, their use in forecasting kimberlite fields // Science and Education, 2011, vol. 3, pp. 5-10.

[3] Ivanov, D.V., Tolstov, A.V., Ivanov, V.V. Strukturno-tektonicheskie kriterii poiskov kimberlitovyh tel v Alakit-Marhinskom pole // Rudy I metally, 2019, vol. 2, pp. 55-60.

[4] Cheremnykh, A.V., Gladkov, A.S., Cheremnykh, A.S. Experimental study of the formation of a network of ruptures of the Nakyn field of the Yakut diamond province // Bulletin of the Siberian Branch of the Earth Sciences Section of the Russian Academy of Natural Sciences. Geology, exploration and development of mineral deposits, 2017, vol. 40, no. 1, pp. 66-82.

[5] Dyagileva, A.G., Legostaeva, Ya.B. The influence of technogenesis on the ecological state of permafrost soils (on the example of the Nyurba mining and processing plant) // Vestnik NEFU, 2013, vol. 10, no. 2, pp. 79-84.

[6] Legostaeva, Ya.B., Popov, V.F., Gololobova, A.G. Geochemical risks of diamond mining in Siberia Published // The 3rd International Electronic Conference on Geosciences session Geoscientific Research for Natural Hazard & Risk Assessment. URL: https://sciforum.net/conference/IECG2020/submissions/view.

УДК 631.41:551.345(571.56)

ОСОБЕННОСТИ БИОДЕГРАДАЦИИ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕНИЯ В МЕРЗЛОТНЫХ ПОЧВАХ ЯКУТИИ

Сара Лифшиц, Юлия Глязнецова, Ольга Чалая, Ираида Зуева
Институт проблем нефти и газа ЯНЦ СО РАН, ул. Петровского 2, г. Якутск, 677980, Россия

FEATURES OF OIL POLLUTANT BIODEGRADATION IN PERMAFROST SOILS OF YAKUTIA

Sara Lifshits, Yulia Glyaznetsova, Olga Chalaya, Iraida Zueva
Institute of Oil and Gas Problems YSC SB RAS, 2 Petrovsky St., Yakutsk, 677980, Russia

Annotation. Oil contamination of soils is now one of the most widespread. The goal of the research was to study the features of the transformation processes of oil pollution in the permafrost soils of Yakutia in a field experiment. It has been shown that permafrost soils have a low potential for self-restoration. Biodegradation processes are activated only in the third year after the accident. As a result, microorganisms do not have time to cope with the toxic products of transformation of oil components, and they accumulate in soils.

1. Введение

В настоящее время нефть и нефтепродукты являются приоритетными загрязнителями окружающей среды [1]. Попадая в почву, легкие углеводороды испаряются. Более тяжелые сорбируются почвенным слоем и начинают подвергаться процессам деструкции под влиянием физико-химических факторов среды и биодеградации. В регионах с умеренным климатом активизация собственной углеводородокисляющей микрофлоры наблюдается через 2-3 месяца после загрязнения [2]. В почвах криолитозоны процессы биодеградации протекают значительно медленнее из-за длительных отрицательных температур в приповерхностном почвенном слое. Для успешной очистки мерзлотных почв от нефтезагрязнений важно изучение процессов трансформации углеводородных поллютантов в естественных условиях. Целью данной работы явилось изучение особенностей процессов трансформации нефтезагрязнения в мерзлотных почвах Якутии в натурном эксперименте на примере территории бывшего нефтепровода «Талакан-Витим». В 2006 г. на территории нефтепровода «Талакан-Витим» произошла крупномасштабная авария, вследствие чего сотни тонн нефти вылились в окружающую среду. Для исследований был выбран участок загрязненной территории, с которой каждый год отбирались пробы почв для исследований. Пробы отбирали методом «конверта» согласно ГОСТ [3]. Уровень нефтезагрязнения определяли весовым методом по выходу холодных хлороформенных экстрактов (ХЭ). Далее выделенные ХЭ изучали методами ИК-Фурье спектроскопии, жидкостно-адсорбционной хроматографии и хроматомасс-спектрометрии. Данный комплекс исследований позволяет не только идентифицировать нефтезагрязнение, но и изучать процессы его трансформации [4].

2. Результаты и их обсуждение

Результаты исследований показали, что уровень нефтезагрязнения на каждом из исследуемых участков резко колебался по годам наблюдений. В отсутствии новых разливов это может свидетельствовать о высокой способности углеводородных поллютантов к миграции. Следует отметить, что и через 14 лет после аварии остаточное содержание нефти в почвах все еще оставалось высоким. Изучение ХЭ показало, что в их составе доля углеводородных фракций постепенно уменьшалась и росло содержание асфальтово-смолистых компонентов. В углеводородных фракциях наблюдалось перераспределение алифатических углеводородов. На рисунке 1 показана динамика перераспределения индивидуальных насыщенных углеводородов по годам наблюдений.

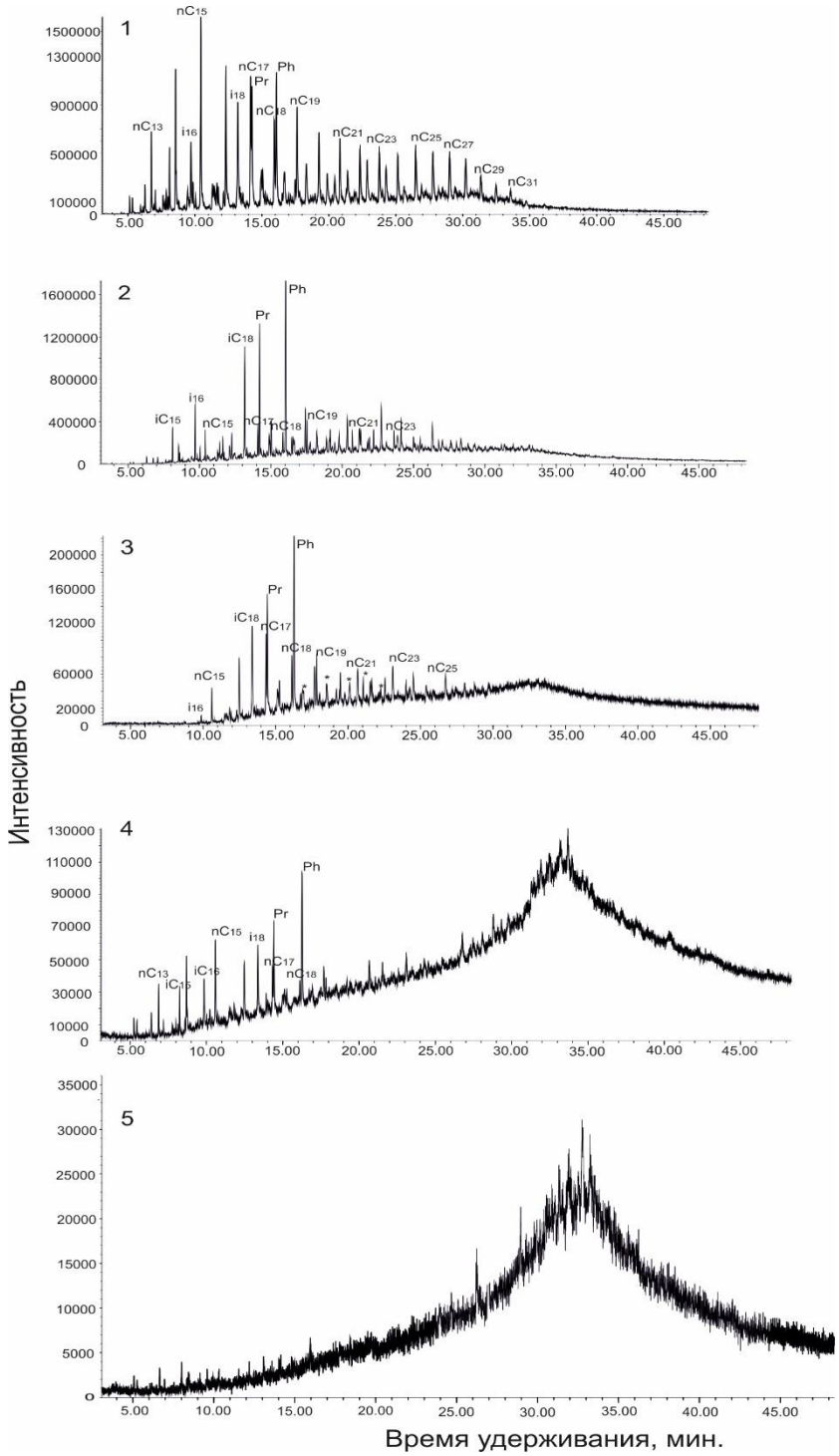


Рисунок 1. Масс-фрагментограммы (m/z 57) насыщенных УВ проб почв, отобранных в разные годы: 2006 г. (1); 2009 г. (2); 2011 г. (3); 2015 г. (4); 2018 г. (5).

Видно, что в первый год после аварии распределение насыщенных алифатических углеводородов близко к нефтяному. Затем в результате процессов трансформации нефтяных компонентов в составе углеводородных фракций падает содержание относительно низкомолекулярных н-алканов, а в последние годы мониторинга, и изопреноидов. Известно, что микробиологическое окисление углеводородов начинается с n-алканов, в первую очередь nC_{17} и nC_{18} [5, 6]. Поэтому отношение суммы изопреноидов пристана и фитана к сумме nC_{17} и nC_{18} называют коэффициентом биодеградации. На рисунке 2 показана динамика изменения этого коэффициента.

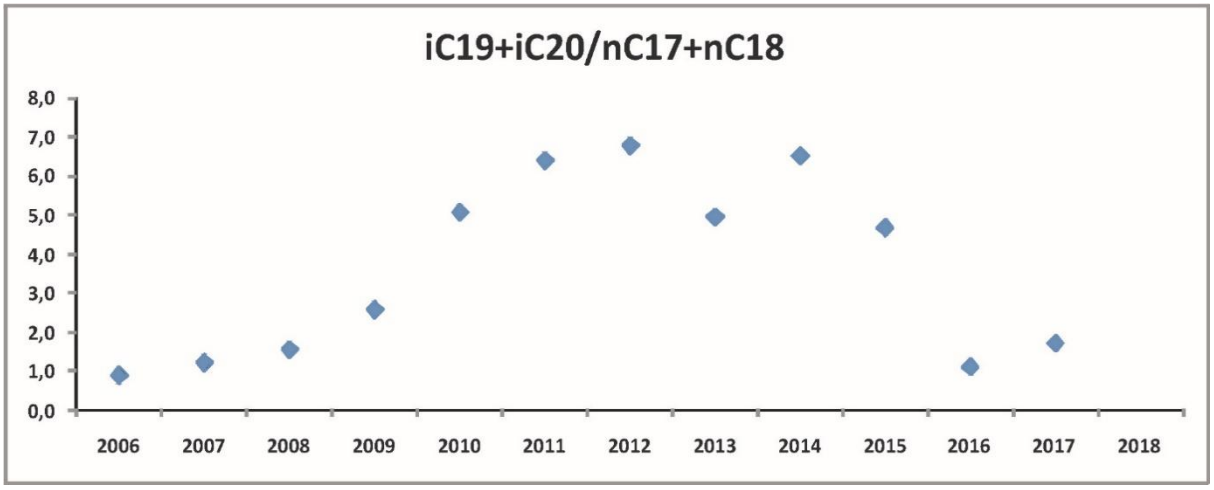


Рисунок 2. Динамика изменения коэффициента биодеградации.

Видно, что в первые два года после аварии (2007 и 2008 гг.) этот коэффициент хоть и начал расти, но незначительно. Соотношение было близко к таковому в нефти. И лишь с 2009 г. началось его заметное увеличение. Отсутствие избирательности в процессах окислительной деструкции нефтезагрязнения в первые два года после аварии свидетельствует о том, что эти процессы протекали преимущественно под влиянием физико-химических факторов среды, а не микробиологического окисления. Т.е. активность собственной углеводородокисляющей почвенной микрофлоры в первые два года после аварии была невелика. И лишь на третий год в процессах окислительной деструкции начало преобладать микробиологическое окисление. Таким образом, процессы самовосстановления мерзлотных почв от нефтезагрязнений протекают медленно, вследствие чего в почвах начинают накапливаться смолистые компоненты ароматического строения, которые токсичны для почвенных биоценозов [7]. Это свидетельствует о необходимости своевременного проведения очистных мероприятий мерзлотных почв от нефтезагрязнений.

3. Выводы

Исследования, проведенные в натурном эксперименте на территории бывшего нефтепровода «Талакан-Витим», показали, что процессы самовосстановления мерзлотных почв протекают медленно. Заметная активизация собственной углеводородокисляющей почвенной микрофлоры отмечается лишь на третий год после аварийного разлива нефти. В почвах начинают накапливаться токсичные смолистые продукты трансформации нефти, что свидетельствует о необходимости своевременного проведения очистных мероприятий.

4. Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-31-00001».

5. Литература:

[1] Husain, S. Microbial metabolism of high molecular weight polycyclic aromatic hydrocarbons. // Remediation, 2008, vol. 18, pp. 131–161. https://doi.org/10.1002/rem.20165.

[2] Oborin, A.A., Khmurchik, V.T., Ilarionov, S.A., Markarova, M.Yu., Nazarov, A.V. Oil-contaminated biocenoses. Permskiy gosudarstvenniy univercitet UB RAS; Perm, 2008, 511 pp (in Russian).

[3] Nature protection. Soils. Methods for sampling and preparation of soil for chemical, bacteriological, helmintological analysis. (2018). GOST 17.4.4.02-2017 from January 1, 2019. Moscow, Russia: Standartinform Rossiyskoy Federatsii. 12 pp (In Russian).

[4] Glyaznetsova, Yu.S., Zueva, I.N., Chalaya, O.N., Lifshits, S.Kh. Features of Bitumoids Composition of Bottom sediments of the Coastal Zone of the East Siberian Sea // IOP Conf. Series:

Earth and Environmental Science, 2018, vol. 193, № 1, 012009. DOI: 10.1088/1755-1315/193/1/012009.
[5] Petrov Al. A. Petroleum hydrocarbons. Moskow: Nauka, 1984, 263 pp (in Russian).
[6] Jovančićević, B., Antić, M., Pavlović, I., Vrvić, M., Beškoski, V., Kronimus, A., Schwarzbauer, J. Transformation of Petroleum Saturated Hydrocarbons during Soil Bioremediation Experiments // Water Air and Soil Pollut, 2008, vol. 190, pp. 299–307. DOI:10.1007/s11270-007-9601-z.
[7] Lifshits S. Kh., Glyaznetsova Yu. S., Chalaya O. N., Zueva I. N. Self-restoration of oil-contaminated soils of the permafrost zone on the example of the territory of the former oil pipeline "Talakan - Vitim" // Interexpo GEO-Siberia. XIV Int. scientific. Congress, April 23–27, 2018, Novosibirsk: Intern. scientific. conf. “Subsoil use. Mining. Directions and technologies of prospecting, exploration and development of mineral deposits. Economy. Geoecology": Novosibirsk: SGUGiT, 2018, vol. 1, pp. 199-206. https://elibrary.ru/download/elibrary_36399856_14686715.pdf

УДК 551.345

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ г. ЯКУТСКА

Виктория Лунецкайте[1], Татьяна Чжан[1], Андрей Литовко[2]
1 Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, ул. Белинского, 58, г. Якутск, 677000, Россия
2 Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, ул. Мерзлотная, 36, г. Якутск, 677010, Россия

ENGINEERING AND GEOCRYOLOGICAL CONDITIONS OF THE NORTHERN PART OF YAKUTSK

Victoria Luneckaite [1], Tatiana Chzhan[2], Andrey Litovko[2]
1 M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, 58 Belinsky St., Yakutsk, 677000, Russia
2 Melnikov Permafrost Institute SB RAS, 36 Merzlotnaya St., Yakutsk, 677010, Russia

Annotation. The research area is located in the northern part of the city of Yakutsk. In the geological structure of the work site up to a depth of 25,0 m, technogenic and modern alluvial deposits of the first above-floodplain terrace of the Lena River take part. Technogenic deposits are represented by bulk soils. They consist of sands of various sizes (mainly dusty) of various degrees of water saturation, with layers of sandy loam and loam. The research area is located in complex and heterogeneous hydrogeological and permafrost-ground operating conditions of various engineering structures, including civil aviation, industrial facilities, and water disposal systems.

1. Введение

В северной части города Якутска расположены крупные социальные и промышленные объекты, включая сооружения гражданской авиации. При эксплуатации таких объектов необходимо особое внимание оказывать на геотехнический мониторинг сооружений, включая геотермические наблюдения за состоянием грунтов основания здания и прилегающей территории, своевременное выявление неблагоприятных экзогенных процессов, контроль за развитием недопустимых деформаций инженерных сооружений.

2. Основной раздел

Территория исследований, площадью 4 км^2, расположена в подрайоне IA северной строительной климатической зоны (СП 131.13330.2018, актуализированная редакция СНиП 23-01-99 «Строительная климатология»). Основное влияние на формирование климата территории исследования в зимний период оказывает отрог барического азиатского антициклона, обусловленного вторжением с арктических областей холодных воздушных масс. Формирование высокого давления начинается уже с октября и сопровождается резким похолоданием. Климат — резко континентальный. Характерна продолжительная зима, длящаяся до 7 месяцев (октябрь-первая половина апреля). Температура воздуха может понижаться в отдельные дни от минус 50 до минус 60 градусов Цельсия.

Район работ в геоморфологическом отношении находится в долине Туймаада на второй надпойменной террасе реки Лена. Современный облик рельефа определил взаимоотношение неотектонических движений и процессов денудации. Изучаемая территория находится в пределах I надпойменной террасы р. Лены. Сама терраса сложена аллювиальными отложениями, представленными песками с супесчаными и суглинистыми прослоями.

В верхней части инженерно-геологического разреза территории находятся техногенные отложения, представленные насыпными грунтами. Они состоят из песков различной крупности (преимущественно пылеватыми) различной степени водонасыщения, с прослоями супесей и суглинков.

Современные аллювиальные отложения территории представлены слабозасоленными суглинками различной степени текучести с примесью органических веществ, с прослоями и линзами пластичных и текучих супесей, пылеватыми, мелко-среднезернистыми песками.
Водовмещающими породами являются современные аллювиальные отложения (разнозернистые пески, супеси и галечники) и верхняя часть подстилающих их нижнеюрских песчаников. Мощность таликов в подрусловых отложениях может достигать 50 м и более. Воды напорно-безнапорные, питание их осуществляется за счет инфильтрации речных вод. По химическому составу воды подрусловых таликов хлоридно-гидрокарбонатные магниево-натриевые с минерализацией 0,5-0,6 г/дм^3. Химический состав надмерзлотных грунтовых вод на застроенной части района работ характеризуется повышенным содержанием хлоридов и сульфатов, минерализация достигает 0,7-1,1 г/дм^3.
Годовые колебания температуры полностью охватывают грунты деятельного слоя, захватывая и часть подстилающих его пород. Положение подошвы горизонта годовых теплооборотов заметно изменяется от участка к участку, и эти изменения зависят от ландшафтно-фациальной принадлежности приповерхностных отложений.
В пределах рассматриваемой территории распространены многочисленные мелкие озера и заболоченные территории. Наряду с заболачиванием территории к негативным процессам относится подтопление грунтов оснований сооружений. Эти два процесса часто взаимосвязаны, их развитие сопровождается активизацией таких негативных геокриологических процессов, как наледеобразование, термосуффозия, термокарст, пучение и др. Подверженные этим негативным воздействиям здания и инженерные сооружения получают различные деформации. Водоотводящие системы, введенные в эксплуатации в середине прошлого века и призванные бороться подтоплением территории, практически не справляются со своей задачей, т. к. зачастую забиты мусором или являются устаревшими, требующих своей замены.

3. Выводы

На исследуемой территории для получения более полной информации геотехнической обстановки необходимо установить за более значимыми объектами постоянный мерзлотно-строительный контроль, включающий в себя режимные геотермические наблюдения, наблюдения за осадками сооружений исследуемых объектов. Для борьбы с подтоплением и заболачиванием территории необходимо восстановить водоотводящие системы.

УДК 556.4: 551.345

РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ В ВОДЕ СУБТЕРМАЛЬНОГО ИСТОЧНИКА (ВОСТОЧНАЯ ЯКУТИЯ)

Владимир Макаров
Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, ул. Мерзлотная, 36, г. Якутск, 677010, Россия

RARE EARTH ELEMENTS IN WATER OF A SUBTHERMAL SOURCE (EASTERN YAKUTIA)

Vladimir Makarov
Melnikov Permafrost Institute SB RAS, 36 Merzlotnaya St., Yakutsk, 677010, Russia

Annotation. The article presents new data on the content of rare-earth elements in the water of the Sytygan-Sylba subthermal spring located in the permafrost zone in the north-east of Yakutia. Very low REE contents in the water of the Sytygan-Sylba spring were found. In terms of the level of REE contents and the ratio with the spectra of river waters and ground ice, the source waters are thermal waters of the groundwater discharge zone, which have little connection with background regional surface waters and ice. The characteristics of the REE spectrum, as well as the anionic composition and low contents of macrocomponents, suggest that the source is located in the zone of discharge of fractured waters.

1. Введение

Источник Сытыган-Сылба (N 62º 45′39,5″ E 144º13′55,5″) находится в Оймяконском районе Республики Саха (Якутия) РФ на высоте около 1050 м над уровнем моря. Топоним «*Сытыган-Сылба*» переводится с якутского, как «*гнилая (тухлая) медленно текущая (вода)*», первоначальное эвенское – *Хуксичан* (эв. *Нуксичан*), т. е. горячий. Источник Сытыган-Сылба был открыт в 1926 году геологом С.В. Обручевым [1]. В разное время исследователями [2-4] анализировался общий химический состав воды источника. Температура воды в течение года изменяется от 24,5ºС до 26,6 ºС. Характерно постоянство расхода воды источника, дебит которого около 0,25 л/с. По составу воды к источнику Сытыган-Сылба наиболее близко Тальское месторождение термальных вод, на базе которого работает бальнеологический курорт Талая [5]. Основной целью данной работы являлось интерпретация содержания элементов редкоземельной группы в исследуемых водах. Определение РЗЭ выполнено в Институте проблем технологии микроэлектроники и особочистых материалов РАН (АСИЦ ИПТМ РАН).

2. Природные условия района

Источник Сытыган-Сылба расположен в южной части Оймяконского нагорья. Речная сеть Оймяконья принадлежит бассейнам рек верхнего течения р. Индигирки, берущим начало в хр. Сунтар-Хаята. Источник приурочен к склону увала, сложенного верхоянским комплексом. В гидрогеологическом плане район относится к Алысардахскому криогеологическому межгорному артезианскому бассейну Яно-Колымского крионапорного бассейна [6]. Мощность мерзлых пород составляет более 300-500 м. Сильная тектоническая раздробленность пород и наличие крупных тектонических разломов определили широкое распространение подмерзлотных трещинно-жильных вод и локальных выходов подземных вод. [7].

3. Результаты и обсуждение

Химический состав вод источника Сытыган-Сылба остается стабильным в течение почти столетнего периода наблюдений. Это смешанные по составу анионов воды: гидрокарбонатно-сульфатно-хлоридные натриевые, слабощелочные (pH 8,2-8,48), с повышенным содержанием кремния - 21-81 мг/л, мало минерализованняе (0,40…0,51 г/л). Вода слабо газирует: CO_2 – 48,4,

H_2S – 0,45 мг/л. Повышенные концентрации мезоэлементов в термальном источнике характерны для Sr – 0,16, Li – 1,39, B - 1,68 и F - 19,6 мг/л. Среди микроэлементов сидерофильной группы значимой концентрацией в водах обладают Fe - 56-240 и Mo - 0,443 мкг/л. Литофильные элементы представлены (мкг/л): Br (275), Sr (160-212), Al (24,9), Mn (3,1), Li (1,39-2,05), B (1,68), Ba (1,1). В группе халькофильных элементов особого внимания заслуживают (мкг/л): Ga (1,8), Zn (1,2), As (0,850), Ge (0,762), Pb (0,140) и Sb (0,105). Геохимические характеристики термальных вод источника: присутствие сульфатов и аномальное содержание рудных элементов: Ge, Mo, W, As и других, могут быть признаками ореольных вод, близкого присутствия рудных скоплений [8].

Содержание редкоземельных элементов и иттрия в исследуемых термальных водах показано в таблице. Концентрация РЗЭ в целом низкая: ≥0,0n мкг/л. Основная часть РЗЭ в растворе представлена легкими (>80%). Столь небольшая концентрация РЗЭ в водах может быть обусловлена щелочными значениями pH источника, контролирующими содержание РЗЭ в воде и определяющими уменьшение их количества [9].

Таблица

Содержание РЗЭ и иттрия в термальных водах источника, мкг/л.

Элемент	Содержание	Элемент	Содержание	Элемент	Содержание
La	0,0165	Eu	0,0023	Er	0,0019
Ce	0,0501	Gd	0,0086	Tm	<0,0008
Pr	0,004	Tb	0,00086	Yb	<0,0008
Nd	0,0215	Dy	0,006	Lu	<0,0008
Sm	0,0049	Ho	<0,0008	Y	0,0227
Коэффициент	Значение	Коэффициент		Значение	
Σ(РЗЭ+Y)	0,1394	Σ ТРЗЭ		0,0019	
Σ ЛРЗЭ	0,0921	Ce*		1,34	
Σ СРЗЭ	0,0227	Eu*		1,48	

Спектр распределения нормированных по NASC РЗЭ характеризуется повышенным содержанием легких, умеренно обогащен средними и обеднен тяжелыми РЗЭ. Суммарное содержание РЗЭ очень низкое. Отмечается слабая цериевая и выраженная европиевая аномалии. Подобная картина распределения РЗЭ с ярко выраженной Eu аномалией типична для гидротермальных растворов [10,11]. Высокая положительная аномалия Eu может быть косвенным признаком термального воздействия в процессе формирования жидкой фазы, хотя нельзя исключить возможность того, что обогащение европием происходило при диагенезе морских отложений в анаэробных условиях. Отсутствие тяжелых РЗЭ может быть, связано с наличием геохимического барьера (влияние надмерзлотных вод, хемосорбция на глинистых минералах) при разгрузке. Характеристики спектра РЗЭ, а также анионный состав и низкие содержания макрокомпонентов, указывают на расположение источника в зоне разгрузки трещинных вод.

О связи термального источника с надмерзлотыми и поверхностными водами можно судить по сопоставлению спектра РЗЭ воды источника и образцов повторно-жильных льдов (ПЖЛ), пластового льда и речной воды (рисунок) полученными в Восточной Якутии [12] и нормированных по стандарту NASC [13]. К сожалению, данных о распределении РЗЭ в компонентах зоны гипергенеза в регионе практически не имеется. Поэтому при интерпретации полученных данных были использованы результаты исследований В.В. Ивановой в бассейне р. Адыча [12]. В этом районе, как и в районе источника, широко распространены терригенные отложения и гранитоиды, для них характерна идентичность химического состава атмосферных осадков [14]. Эти данные позволяют предполагать близкие условия формирования химического состава природных вод зоны гипергенеза.

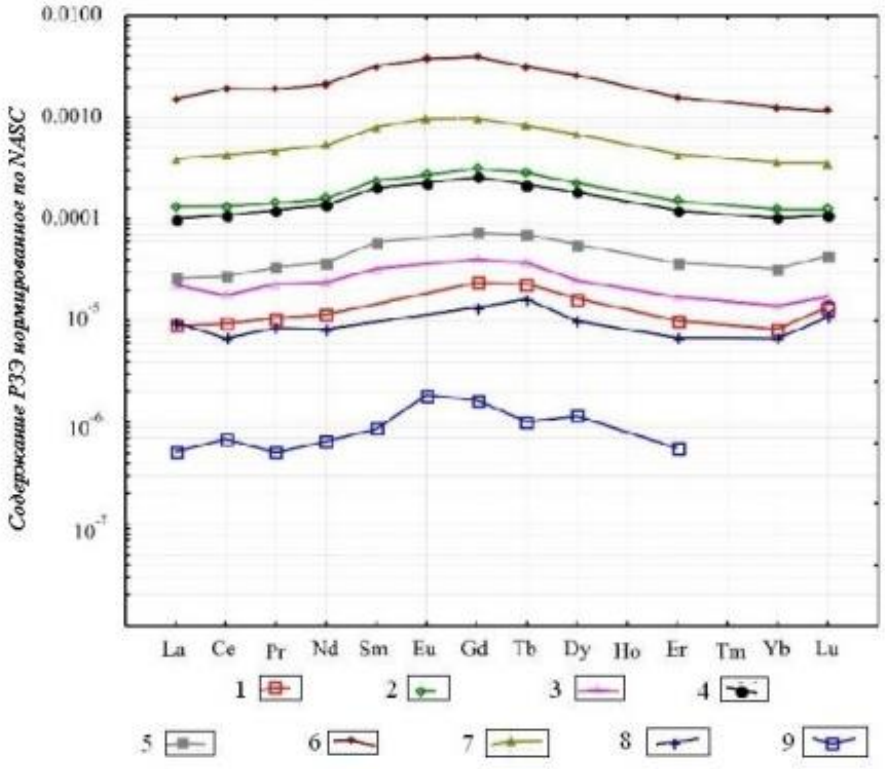


Рисунок. Спектр РЗЭ источника, подземных льдов и речной воды
1 - Река Адыча; 2,3 - пластовые льды; 4-8 – повторно-жильные льды;
9 - источник Сытыган-Сылба.

Спектр РЗЭ повторно-жильных и пластовых льдов отражает химический состав почвенных растворов из надмерзлотной верховодки проникающих в лед. Положительная европиевая аномалия льдов связана с составом грунтовых вод, увеличением концентраций химических элементов в результате концентрирования (криогенного или рудного) и результатами гидролиза алюмосиликатных минералов.

Поверхностные воды региона обеднены ЛРЗЭ (La/Sm колеблется от 0,16 до 5,84, в среднем – 0,604) и имеют сильно отрицательные аномалии Ce (Ce^* колеблется от 0,02 до 1,25, в среднем – 0,277), и положительные аномалии Eu (Eu^* колеблется от 0,295 до 1,77, в среднем – 0,764) [11]. Линия спектра воды источника Сытыган-Сылба расположена ниже речных вод и ПЖЛ (Рисунок). Содержания РЗЭ в этой воде очень низкие (нг/л). По уровню содержаний РЗЭ – это воды зоны разгрузки подземных вод, мало связанные с фоновыми поверхностными водами и льдами.

4. Заключение

Проанализировано содержания РЗЕ в воде источника Сытыган-Сылба. Установлены очень низкие (нг/л) содержания РЗЭ в воде источника. Характеристики спектра РЗЭ, а также анионный состав и относительно низкие содержания макрокомпонентов, позволяют предположить, что источник расположен в зоне разгрузки трещинных вод и мало связан с фоновыми региональными поверхностными водами и льдами. Исходя из химического состава и геологических условий участка выхода термального источника Сытыган-Сылба, подземные воды относятся к слабоминерализованным кремнистым термам глубинного происхождения, имеющим сезонное питание за счет поступления более минерализованных надмерзлотных вод.

5. Литература:

[1] Obruchev, S.V. Istochnik Sytygan_Sylba na r. Indigirke (YAASSR). Kurortnoye delo, 1927, no. 4, pp. 8. (in Russian).

[2] Shvetsov, P.F. Podzemnyye vody Verkhoyano-Kolymskoy skladchatoy oblasti i osobennosti ikh proyavleniya, svyazannyye s nizkotemperaturnoy vechnoy merzlotoy M.: Izd-vo AN SSSR, 1951, 280 pp (in Russian).
[3] Cherepanova, A.P. Novyye dannyye po mineral'nomu istochniku Sytygan-Sylba (Yakutskaya ASSR). Issledovaniya merzlykh tolshch i kriogennykh yavleniy. Yakutsk: In-t merzlotovedeniya SO AN SSSR, 1988, pp. 90-97 (in Russian)
[4] Trofimova, T.P. Khimicheskiy sostav vody mineral'nogo istochnika «Sytygan-Sylba». Sbornik Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Sankt-Peterburg, Izd-vo «Kul'tInformPress, 2013, pp. 147-149 (in Russian)
[5] Gidrogeologiya SSSR. T. XXVI. Severo-Vostok SSSR [Hydrogeology of the USSR. T. XXVI. North-East of the USSR]. - M.: Nedra, 1972, 296 pp (in Russian)
[6] Gidrogeologiya SSSR. Tom XX. Yakutskaya ASSR [Hydrogeology of the USSR. Volume XX. Yakut ASSR]. - M.: Nedra. 1970, 384 pp (in Russian)
[7] Parfenov, L. M. / Pod red. M.I Kuz'mina, Tektonika, geodinamika i metallogeniya territorii Respubliki Sakha (Yakutiya). M.: MAIK «Nauka/Interperiodika». 2001, 571 pp (in Russian).
[8] Makarov, V.N. Geokhimicheskiye polya v kriolitozone. Yakutsk: Izdatel'stvo Instituta merzlotovedeniya SO RAN, 1998, 116 pp (in Russian)
[9] Sholkovitz, E.R. The aquatic chemistry of rare earth elements in rivers and estuaries // Aquat. Geochem., 1995, no. 1, pp. 1–34.
[10] Dubinin, A.V. Geokhimiya redkozemel'nykh elementov v okeane. M.: Nauka, 2006, 359 pp (in Russian)
[11] Haas, J.R., Shock, E.L., Sassani, D.C. Rare earth elements in hydrothermal systems: estimates of standard partial modal thermodynamic properties of aqueous complexes of the rare earth elements at high pressures and temperatures // Geochim. Cosmochim. Acta 1995, no. 59, pp. 4329-4350.
[12] Ivanova V.V. Geokhimicheskiye osobennosti spektrov redkozemel'nykh elementov v otlozheniyakh Vostochnoy Sibiri kak novyy indikator izmeneniya klimata pozdnego pleystotsena v zone periglyatsial'nogo litogeneza. – Avtoreferat. dis. doc. geol.-min. sciences. - St. Petersburg: 2019, 47 pp (in Russian)
[13] Gromet, L.P., Dymek, R.F., Haskin, L.A., Korotev, R.L. The North American Shale Composit: Its composition, major, and trace element characteristics // Geochim. et Cosmochim. Acta,1984, no. 48, pp. 2469-2482.
[14] Makarov, V.N. Geokhimiya snezhnogo pokrova tayozhnykh i gornykh merzlotnykh landshaftov Yakutii // Led i sneg, 2014, no. 1 (125), pp. 73-80 (in Russian)

УДК 551.345, 556

РЕСУРСЫ НАЛЕДЕЙ ПОДЗЕМНЫХ ВОД СЕВЕРО-ВОСТОКА РОССИИ

Ольга Макарьева[1], Андрей Шихов[2], Владимир Алексеев[3], Наталия Нестерова[1], Андрей Осташов[1], Анастасия Землянскова[1]

1 Северо-Восточная научно-исследовательская мерзлотная станция Института мерзлотоведения им. П. И. Мельникова СО РАН, ул. Портовая, 16, г. Магадан, 685000 Россия

2 Пермский государственный национальный исследовательский университет, ул. Букирева, 15, г. Пермь, 614068 Россия

3 Институт мерзлотоведения им. П. И. Мельникова СО РАН, ул. Мерзлотная, 36, г. Якутск, 677010, Россия

RESOURCES OF GROUNDWATER-FED AUFEIS AT THE NORTH-EAST OF RUSSIA

Olga Makarieva[1], Andrey Shikhov[2], Vladimir Alexeev[3], Nataliia Nesterova[1], Andrey Ostashov[1], Anastasiya Zemlyanskova[1]

1 North-Eastern Permafrost Station of Melnikov Permafrost Institute SB RAS, 16 Portovaya St., Magadan, 685000 Russia

2 Perm State University, 15 Bukireva St., Perm, 614068 Russia

3 Melnikov Permafrost Institute SB RAS, 36 Merzlotnaya St., Yakutsk, 677010 Russia

Annotation. Based on the analysis of Landsat satellite images (2013-2019) the number and characteristics of giant aufeis in the basins of the large rivers of the North-East were estimated. Areas of aufeis were adjusted to acquire the maximum value before the beginning of ablation period. Total maximum area of aufeis was estimated as 4529 km^2 in the basins of the Yana, Indigirka, Kolyma and the rivers of Chukchi Peninsula. Estimated aufeis resources of the large river basins vary from 0,4 to 4,25 km^3 (or 3,7 – 11 mm) for individual catchments. They are at least 10,6 km^3 in total or 5 mm of water depth in average for the study area. The contribution of aufeis runoff to streamflow in different seasons was calculated for 58 hydrological gauges (area 523 – 526000 km^2). Aufeis annual runoff varies from 0,3 to 29 mm (0,1 – 22 %, average 3,8 %) with the share in winter runoff amount about 6 – 712 % (average 112 %) and the spring freshet 0,2 – 43 % (average 7,1 %). The dynamics of aufeis formation is directly related to winter runoff, which changes are observed in different parts of the cryolithozone. The presented results are relevant for studying the impact of climate change on groundwater in the permafrost regions.

1. Введение

Наледи подземных вод широко распространены на территории Северо-Востока. Это – ледяные поля, ежегодно возникающие в долинах рек криолитозоны в результате послойного намораживания излившихся подземных вод [1]. Площадь отдельных наледей колеблется от нескольких гектаров до десятков квадратных километров.

Цель исследования – дать современную оценку наледных ресурсов Северо-Востока России, а также рассчитать потенциальный вклад наледного стока в формирование водного баланса рек в различные фазы гидрологического режима. Новизна работы заключается в использовании современных данных о распространении наледей в бассейнах рек Северо-Востока России, которые ранее были систематизированы на основе материалов 40-50-х годов 20 века и до настоящего времени не обновлялись [2].

2. Методы

Оценка современного распространения наледей Северо-Востока выполнена на основе анализа снимков Landsat за период 2013-2019 гг. Метод дешифрирования снимков, используемый для выделения наледей и оценки их площади подробно описан в [3]. Для компенсации фактора

использования поздних снимков (когда часть наледей могла уже разрушиться) было проведено уточнение площади наледей, полученных по космическим снимкам, с целью приведения величин к максимальным значениям, наблюдаемым в период перед началом таяния. За основу был взят метод расчета уменьшения относительных значений площадей наледей различного размера в течение теплого периода года в зависимости от числа дней после начала таяния, предложенный в [4]. На основе полученных данных о максимальной площади наледей был выполнен расчет наледных ресурсов по формуле (1):

$$(1)\ W = 0{,}75\mathrm{F}^{1{,}12}$$

где W и F – объем и площадь наледи тыс. м^3 и тыс. м^2 соответственно [5].

Для каждого водосбора были рассчитаны величины годового стока, а также слои стока за период зимней межени (октябрь-апрель) и весеннего половодья (май-июнь). Для зимнего периода была рассчитана доля стока, которая расходуется на формирование наледи, исходя из объема наледных вод, оцененных по формуле (1). Доля наледных вод в формировании стока весеннего половодья рассчитывалась в предположении, что за период май-июнь происходит таяние 70% объема наледи [4].

3. Результаты

На основании уточненных данных о площади наледей установлено, что наледность в бассейнах крупных рек Северо-Востока изменяется от 0,19 в бассейне реки Колыма до 0,55 % в бассейне реки Индигирка. В Таблице 1 представлены величины наледных ресурсов в бассейнах крупных рек в единицах объема (км^3) и слоя (мм). Наибольшие ресурсы наледей по абсолютным значениям характерны для бассейнов рек Индигирка (4,25 км^3 или 11 мм), Колымы (2,2 км^3 или 3,7 мм) и Яны (1,1 км^3 или 4,5 мм). Несмотря на относительно небольшие площади, значительные запасы наледей обнаружены в бассейне реки Пенжина и рек Чукотского полуострова: Анадырь (0,85 км^3 или 5,1 мм), Амгуэма (0,20 км^3 или 7,7 мм), Пенжина (0,4 км^3 или 5,1 мм). Общие ресурсы наледей в бассейнах Чукотского полуострова составляют не менее 2,6 км^3.

Гигантские наледи площадью более 1 км^2 вносят основной вклад в формирование ресурсов наледей. Объем льда в гигантской наледи в долине на реки Сюрюктях (бассейн реки Индигирка), площадь которой предположительно может достигать 134 км^2, оценивается величиной 0,5 км^3. Водные ресурсы наледей почти эквивалентны динамическим запасам подземных вод, выходящих на поверхность в условиях сплошной вечной мерзлоты на Северо-Востоке России. В целом в современных климатических условиях общие ресурсы наледей Северо-Востока составляют не менее 10,6 км^3 или 5 мм наледного стока.

Таблица 1

Ресурсы наледей подземных вод в бассейнах крупных рек Северо-Востока.

Река	Площадь бассейна, км^2	Наледность, %	Площадь наледей, км^2	Объем наледей, км^3	Слой наледного стока, мм
Яна	224000	0,23	506	1,1	4,5
Индигирка	305000	0,55	1663	4,25	11
Колыма	643000	0,19	1085	2,2	3,7
Анадырь	156000	0,26	398	0,85	5,1
Амгуэма	26400	0,39	102	0,20	7,7
Пенжина	73500	0,26	189	0,4	5,1
Всего	1 950 000	0,23	4529	10,6	5

Для 58 гидрологических створов (с площадью бассейна от 523 до 526000 км^2), обеспеченных данными о стоке воды продолжительностью не менее 5 лет в период 1940-2017 гг., рассчитан вклад наледного стока в формирование гидрологического режима рек. Средний многолетний сток в рассматриваемых бассейнах изменяется от 94 мм до 421 мм, при этом зимний сток (октябрь-апрель) от 1,2 до 29 мм, сток половодья (май-июнь) от 31 до 260 мм. В Таблице 2

представлены рассчитанные величины вклада наледного стока в сток рек в разные сезоны года для крупнейших рек Северо-Востока. Годовой сток наледей для разных рек составляет от 3,7 до 11 мм (или 1,7-6,6 %). В зимний период основная часть речного стока расходуется на формирование наледей. Объем накопленной наледи воды составляет от 6 % до 712 % (в среднем 112 %) зимнего стока для рек Северо-Востока. В весенний период вклад наледных вод составляет от 0,2 % до 43 % (в среднем 7,1 %) стока половодья. Наибольший вклад наледей в годовой сток оценивается для рек Агаякан (28,7 мм или 14,1 % годового значения) и реки Мома (28,7 мм или 21,6 % годового значения) в бассейне реки Индигирка.

Таблица 2

Вклад наледей в формирование гидрологического режима крупных рек Северо-Востока.

Река – створ	*H, мм	Hw, мм	Hs, мм	S, км^2	W, тысяч м^3	H1, мм	P1, %	P2, %	P3, %
Колыма – Колымское 1	199	20,0	85	981,0	2030285	3,7	1,9	18,0	3,1
Индигирка – Воронцово	166	7,4	51	1663,2	4251536	10,9	6,6	147,0	15,0
Яна – Юбилейная	156	4,7	58	505,4	1109556	4,5	2,9	96,0	5,4
Анадырь – Утесики	258	13,0	116	398,1	838361	5,1	2,0	39,0	3,1
Амгуэма – 174 км	321	8,2	132	101,9	210213	7,7	2,4	94,0	4,1
Пенжина – Каменское	324	24,0	194	189,0	400000	5,6	1,7	23,5	2,0

** H – средний многолетний сток рек, Hw – сток рек в зимний период (октябрь – апрель), Hs – сток весеннего половодья (май – июнь), S – площадь наледей, W – объем наледей, H1 – наледный сток, P1, P2 и P3 – вклад наледного стока в годовой, зимний и весенний сток рек соответственно.*

4. Дискуссия

Несмотря на широкое распространение наледей и их значительную роль в динамике водообменных процессов криолитозоны Северо-Востока России в последние десятилетия их изучение практически прекратилось [6]. Гораздо большее внимание в современной литературе уделяется изучению ледникового покрова и его влияния на формирование стока рек в условиях изменения климата [7-9].

Например, в бассейне р. Индигирка площадь ледников составляет лишь 0,05% от общей площади бассейна [10], в то время как наледность составляет 0,55%, то есть в 11 раз выше. За период 1970-2003 гг. потери объемов ледникового покрова на хребтах Сунтар-Хаята в бассейне р. Индигирка оцениваются в 1,4 км^3 [7], составляя только 0,8 мм дополнительного стока в год в замыкающем створе р. Индигирка [11]. Эта величина на порядок ниже величины наледного стока в бассейне р. Индигирка.

Реакция наледей на изменение климата будет различной в зависимости от целого комплекса различных механизмов природной системы, включая изменения функционирования подземных вод, поверхностного стока, климатических факторов. Динамика формирования наледей напрямую связана с зимним стоком рек, изменения которого наблюдаются в различных частях криолитозоны мира [11,12]. Для малодоступных арктических регионов результаты исследований динамики наледей на отдельных репрезентативных полигонах, обобщенные для более крупных территорий на основе данных космических снимков, могут помочь в понимании процессов трансформации гидрологического цикла и криолитозоны в целом [13].

5. Благодарности

Исследование выполнено при поддержке РФФИ, проекты №№ 19-55-80028 и 20-05-00666.

6. Литература:

[1] Alekseev, V. R.: Naledi, Novosibirsk, Nauka Publication, Moscow, 1987 (in Russian).

[2] Kadastr k karte naledey Severo-Vostoka SSSR Masshtaba 1:2 000 000. Cadastre to the map of the north-east of the USSR Scale 1:2 000 000. Central complex thematic expedition of the North-Eastern geological department. Magadan, 1958, 398 pp (in Russian)

[3] Makarieva O., Shikhov A., Nesterova N., and Ostashov A. Historical and recent aufeis in the Indigirka River basin (Russia), Earth Syst. Sci. Data, 2019, no. 11, pp. 409-420, https://doi.org/10.5194/essd-11-409-2019.
[4] Sokolov, B. L.: Naleds and river runoff. Gidrometeoizdat, Leninrgad, 190, 1975 (in Russian).
[5] Sokolov, B. L., Sarkisyan, V. O. Underground nutrition of mountain rivers. - Leningrad, Gidrometeoizdat Publication, 239, 1981 (in Russian).
[6] Alekseev, V. R.: Long-term variability of the spring taryn-aufeises, Ice and Snow, 2016, no. 56(1), pp. 73-93 (in Russian)
[7] Ananicheva, M. D.: Estimation of the areas, volumes and heights of the boundary of the feeding of glacier systems of the Northeast of Russia from the space images of the beginning of the 21st century, Ice and Snow, 2014, no. 1, pp. 35–48.
[8] Bliss A., Hock R., and Radic V. Global response of glacier runoff to twenty-first century climate change, J. Geophys. Res.-Earth, 2014, 119, 717–730, https://doi.org/10.1002/2013JF002931.
[9] Huss M. and Hock R. Global-scale hydrological response to future glacier mass loss, Nat. Clim. Change, 2018, 8, pp. 135–140, https://doi.org/10.1038/s41558-017-0049-x.
[10] GLIMS and NSIDC: Global Land Ice Measurements from Space glacier database. Compiled and made available by the international GLIMS community and the National Snow and Ice Data Center, Boulder CO, 2005. U.S.A. https://doi.org/10.7265/N5V98602.
[11] Makarieva O., Nesterova N., Post D.A., Sherstyukov A., and Lebedeva L. Warming temperatures are impacting the hydrometeorological regime of Russian rivers in the zone of continuous permafrost, The Cryosphere, 2019, 13, 1635-1659, https://doi.org/10.5194/tc-13-1635-2019.
[12] Tananaev N.I., Makarieva O.M., and Lebedeva L.S. Trends in annual and extreme flows in the Lena River basin, Northern Eurasia, Geophys. Res. Lett., 2016, 43, pp. 10764–10772, https://doi.org/10.1002/2016GL070796, 2016.
[13] Makarieva, O.M., Nesterova, N.V., Ostashov, A.A., Zemlyanskova, A.A., Tumskoy, V.E., Gagarin, L.A., Ekaykin, A.A., Shikhov, A.N., Olenchenko, V.V., Khristoforov, I.I.: Perspectives of the development of complex interdisciplinary hydrological and geocryological research in the North-East of Russia, Vestnik of SPbSU. Earth Sciences, 66(1). https://doi.org/10.21638/spbu07.2021.105, 2021.

УДК 551.036

ФЛЮВИАЛЬНАЯ ПЕРЕРАБОТКА БЕРЕГОВ РЕК ЯКУТИИ

Юрий Мурзин
Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, ул. Мерзлотная, 36, г. Якутск, 677010, Россия

FLUVIAL REWORKING OF RIVER BANKS IN YAKUTIA

Yuri Murzin
Melnikov Permafrost Institute SB RAS, 36 Merzlotnaya St., Yakutsk, 677010, Russia

Annotation. Northern Yakutia is characterized by continuous permafrost 300–400 or more in thickness with temperatures of -6 to -10 °C. The occurrence of permafrost affects the rate of thermal erosion of river banks. Many investigators believe that permafrost inhibits fluvial erosion, while others think it has an enhancing effect. Observations of thermal erosion along the lower reaches of the Indigirka, Adycha and Kolyma Rivers have shown the following. Where the exposed banks consist of silts with a basal cryostructure and thick ice wedges, the retreat rates can be as high as 60 m per year. If silty sands with a massive cryostructure and thin ice wedges are exposed, bank recession occurs much slower, at average rates of less than 1 m per year.

1. Введение

Для севера Якутии характерно сплошное развитие многолетнемёрзлых горных пород мощностью 300–400 и более метров с температурой -6, -10 °С. Наличие мёрзлых пород влияет на скорость термоэрозионной переработки берегов. Многие исследователи считают, что мёрзлые породы тормозят флювиальную переработку берегов [1,2,5,9]. Другие полагают, что мерзлота усиливает их переработку [6]. Исследования, проведённые нами в низовьях рек Индигирки, Адычи и Колымы, показали, что в зависимости от конкретных условий влияние мерзлоты различное.

2. Основной раздел статьи

В низовьях р. Индигирки выделяются три геоморфологических уровня, которые хорошо согласуются с элементами четвертичного рельефа: высокая и низкая поймы, морская и прибрежная равнина и едомная возвышенность (аллювиальная равнина). Высокая и низкая поймы, а также прибрежная равнина с высотами 2–5 м занимает большую часть низовья р. Индигирки. Едомная возвышенность с высотами 20–40 м представляет собой небольшие по площади останцы сложной конфигурации, расчленённые процессами термоэрозии, термокарста и термоабразии.

В 1985 г, в низовьях р. Индигирки, у пос. Полярный (сейчас этот посёлок называется Русское Устье), нами был обследован береговой обрыв Русско-Устьинской протоки. Посёлок Полярный расположен на берегу двух проток: Русско Устьинской и Шамановки. В начале летнего периода 1985 г. Русско-Устьинская протока размыла узкую перемычку, отделяющую её от протоки Шамановки, в результате чего посёлок оказался на мысу, размываемым водами двух проток. Резко усилился размыв берегового обрыва. За летний период 1985 г, на этом участке протоки, кромка берегового обрыва отступила на 60 м. Было разрушено несколько жилых строений.

Исследования показали, что в тех местах, где р. Индигирка подмывает едомные поверхности, благодаря термоэрозии, скорость разрушения береговых обрывов резко увеличивается. Это определяется следующими обстоятельствами.

Тонкодисперсные отложения едомной поверхности содержат два яруса ледяных жил. Первый (верхний) ярус представлен современными растущими ледяными жилами. При ширине 1 м они достигают высоты 3–4 м. Второй (нижний) ярус – это древние ледяные жилы. При ширине около 4 м они начинаются с глубины 3–4 м и уходят под урез воды в реке. По классификации Э. Д.

Ершова и др. [3], такие льдистые отложения по размываемости относятся к классу катастрофических.

Так как едомная поверхность представляет собой наиболее высокую и сухую поверхность (в отличие от окружающей заболоченной тундры), она весьма активно осваивается. Антропогенное вмешательство в ряде случаев сопровождается прогрессирующим проявлением термокарста (вытаиванием верхних частей ледяных жил). При наличии уклонов поверхности в сторону реки происходит эрозионное расчленение территории по термокарстовым просадкам.

Сильное течение в протоках, достаточно большие глубины (10 м) и наличие подруслового талика способствуют вытаиванию древних ледяных жил, залегающих в береговых массивах ниже уровня реки. Достаточно высокий уровень воды, частые паводки и нагонные ветры усиливают эффект термоэрозионного расчленения поверхности.

Всё это вместе взятое приводит к тому, что в низовьях р. Индигирки (у пос. Полярный) там, где она подмывает отложения едомной поверхности, скорость разрушения береговых обрывов резко возрастает и превышает 10 м/год, в отдельных благоприятных случаях эта скорость может достигать 60 м/год. Таким образом, термоэрозия является одним из ведущих процессов (наряду с термоабразией и термокарстом) в разрушении едомной поверхности и отступании берегов [7,8].

В 1980–1990 гг. в нижнем течении р. Адычи нами были проведены наблюдения за термоэрозионной переработкой берегов. Река Адыча, прорезая хр. Кисилях, образует здесь узкую корытообразную долину шириной до 1 км. Установлено, что скорость отступания берегового обрыва в излучинах р. Адычи не превышает 1 м/год. Невысокая скорость разрушения берегов обусловлена двумя факторами. Первая – малая мощность рыхлых отложений, высота которых не превышает 3–5 м. Подстилаясь русловыми галечниками, эти отложения при средних и низких уровнях воды часто располагаются выше уровня воды. Второй – отложения в береговых обрывах представлены пылеватыми песками с массивной криогенной текстурой и маломощными ледяными жилами. Известно, что наиболее интенсивно размываются суглинки с линзовидной и базальной криогенными текстурами. В нижнем течении р. Адычи суглинистые отложения с высокой льдистостью имеют ограниченное распространение. На наш взгляд, следует ожидать увеличение скорости термоэрозионной переработки берегов в местах вскрытия рекой этих льдистых отложений.

В 1983–1985 гг. нами были проведены наблюдения за переработкой берегов в дельте р. Колымы, у пос. Походск, расположенного в устье Походской виски, левого берега Походской Колымы. Протока образует здесь излучину протяжённостью около 5 км. Вдоль берега проходит наиболее глубокая часть реки глубиной до 26 м.

В береговом обрыве Походской виски, чуть выше посёлка, вскрываются тёмно-серые оторфованные суглинки с линзовидной и атакситовой криогенными текстурами и крупными ледяными жилами (шириной до 2 м), уходящими под урез воды.

В береговых обнажениях Походской Колымы отложения представлены тёмно-серыми пылеватыми песками с массивной криогенной текстурой и ледяными жилами, ширина которых составляет 1,0–1,5 м. Эти отложения перекрываются оторфованным горизонтом мощностью 0,5–0,6 м.

Наблюдения показали, что за два летних периода 1984–1985 гг. Кромка берегового уступа Походской Колымы отступила на 6,5 м, сравнительно невысокая скорость размыва отложений обусловлена оторфованным горизонтом, который тормозит термоэрозионную переработку берегов. Следует ожидать усиления разрушения берегов, когда вскроются льдистые отложения, отмеченные нами у пос. Походск, в береговом обрыве Походской виски, что создаёт потенциальную угрозу посёлку и особенно кладбищу, где сохранились захоронение людей умерших от чёрной оспы.

3. Выводы

Наблюдения, проведённые за термоэрозионной берегов в низовьях рек Индигирки, Адычи и Колымы показали следующее. В тех случаях, когда в береговых обрывах вскрываются суглинистые отложения с базальной криогенной текстурой и мощными ледяными жилами,

скорость отступания кромки обрыва может достигать 60 м. в год. Если в береговых обрывах вскрываются пылеватые пески с массивной криогенной текстурой и маломощными ледяными жилами скорость отступания кромки берегового обрыва резко сокращается и в среднем не превышает 1 м в год.

4. Литература:

[1] Bogomolov A.L., Zaets G.M., Korotaev V.N. et al. The main processes forming the Indigirka River delta // Soil Erosion and Channel Processes. - Moscow: 1979, vol. 7, pp. 146-159 (in Russian)

[2] Grigoriev N.F. The role of cryogenic factors in the formation of coastlines in Yakutia // Permafrost and Related Phenomena in the Yakut ASSR. - Moscow: USSR Acad. Sci. Press, 1962, pp. 68-78 (in Russian).

[3] Ershov E.D., Malinovsky D.V., Kuchukov E.Z. et al. Thermal Erosion of Soils. - Moscow; Moscow State University Press, 1982, 194 pp (in Russian)

[4] Litvinov A.Ya. Thaw settlement of silts in the Yana-Indigirka coastal lowland // Materials on Foundations of the Earth's Crust Frozen Zone Research. - Moscow: USSR Acad. Sci. Press, 1960, vol. V, pp. 56-72 (in Russian)

[5] Lyubimov B.N. Experience of compiling a map rock erodibility in the European part of the USSR // I All-Union Inter-University. Conf. "Patterns of Manifestation of Erosion and Channel Processes in Various Natural Conditions": Abstracts. - Moscow: Moscow State University Press, 1972, pp. 52-54 (in Russian)

[6] Makkaveev N.I. River Channel and Erosion in its Basin. Moscow; USSR Acad. Sci. Press, 1955, pp. 146 (in Russian).

[7] Murzin Y.A. Fluvial reworking of the Ice Complex in the lower reaches of the Indigirka River // Climate, Soils, and Permafrost. - Novosibirsk; Nauka, 1991, pp. 157-162 (in Russian)

[8] Murzin Y.A. Fluvial reworking of river banks in Northern Yakutia // Proceedings of the VIII International Scientific and Practical Conference “Dynamics and Thermics of Rivers, Reservoirs and Seacoasts. Moscow, RUDN, November 24-27, 2014, vol. 2, pp. 108 – 113 (in Russian)

[9] Samoilov I.V. River Mouths. Moscow; Geografgiz, 1952, p. 526 (in Russian)

[10] Tolstov A.N. Some data on bank erosion in the lower reaches of the Indigirka River // Issues of Yakutia’s Geography. - Yakutsk, 1962. – Vol. 2, pp. 123-127 (in Russian)

[11] Shur Y.L., Petrukhin N.P., Slavin-Borovsky V.B. Coastal erosion in the permafrost zone // Cryogenic Processes. Moscow; Nauka, 1978, pp. 57-73 (in Russian)

УДК 502.656

ПРОБЛЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВЕННОЙ ПИТЬЕВОЙ ВОДОЙ НАСЕЛЕНИЯ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ: СОСТОЯНИЕ И РЕШЕНИЯ

Сабир Мустафин[1], Константин Стручков[2] Александр Трифонов[3]
1 Башкирский государственный университет, ул. Заки Валиди, 32, г.Уфа, 450076, Россия
2 Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, ул. Кулаковского, 50, г. Якутск, 677000, Россия
3 Ленинградский государственный университет им. А.С. Пушкина, Петербургское шоссе, 10, г. Санкт-Петербург, Пушкин, 196605, Россия

PROBLEMS OF PROVIDING QUALITY DRINKING WATER POPULATION OF THE ARCTIC ZONE: STATUS AND DECISIONS

Sabir Mustafin[1], Konstantin Struchkov[2], Alexander Trifonov[3]
1 Bashkir State University, 32 Zaki Validi St., Ufa, 450076, Russia
2 M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, 50 Kulakovskiy St., Yakutsk, 677000, Russia
3 Pushkin Leningrad State University, 10 Petersburg Hwy., St. Petersburg, 196605, Russia

Annotation. The analysis of the current state of the provision of high-quality drinking water to the population of the Arctic zone of the Russian Federation (RF) is carried out.
The territories of the Republic of Sakha (Yakutia), the Chukotka and Nenets administrative districts and the Arkhangelsk region are classified as the most problematic in terms of sustainable provision of high-quality drinking water. It is shown that an effective comprehensive solution to the problem of providing high-quality drinking water to the population of the Arctic zone can be achieved through the implementation of strategic measures of the federal project "Clean Water" of the national project "Ecology".

1. Введение

Общий объем забора (изъятия) водных ресурсов из природных водных объектов РФ составляет 80 км^3 в год. В РФ в 2019 году питьевой водой из нецентрализованных источников водоснабжения пользовались 8,421 млн. человек, из которых сельских жителей более 6,641 млн. чел., городских порядка 1,779 млн. чел. За период 2012-2019 гг. на 3,181 млн. чел. увеличилась численность населения, обеспеченного питьевой водой из систем нецентрализованного водоснабжения и на 2,39 %, сократилась доля источников, не отвечающих санитарно-эпидемиологическим требованиям.

Ассоциированная заболеваемость, связанная некачественной питьевой водой, в 2019 г. формировалась на территории 83 субъектов Российской Федерации. Показатель дополнительных случаев заболеваемости находился в диапазоне 133,3-5705,2 дополнительных случаев на 100 тыс. населения [2]. В рамках национального проекта «Экология» с 2018 по 2024 гг. реализуется федеральный проект «Чистая вода».

Особое значение имеет обеспечение качественной питьевой водой населения и работников предприятий арктической зоны Российской федерации, представленных преимущественно объектами недропользования (Рисунок 1).

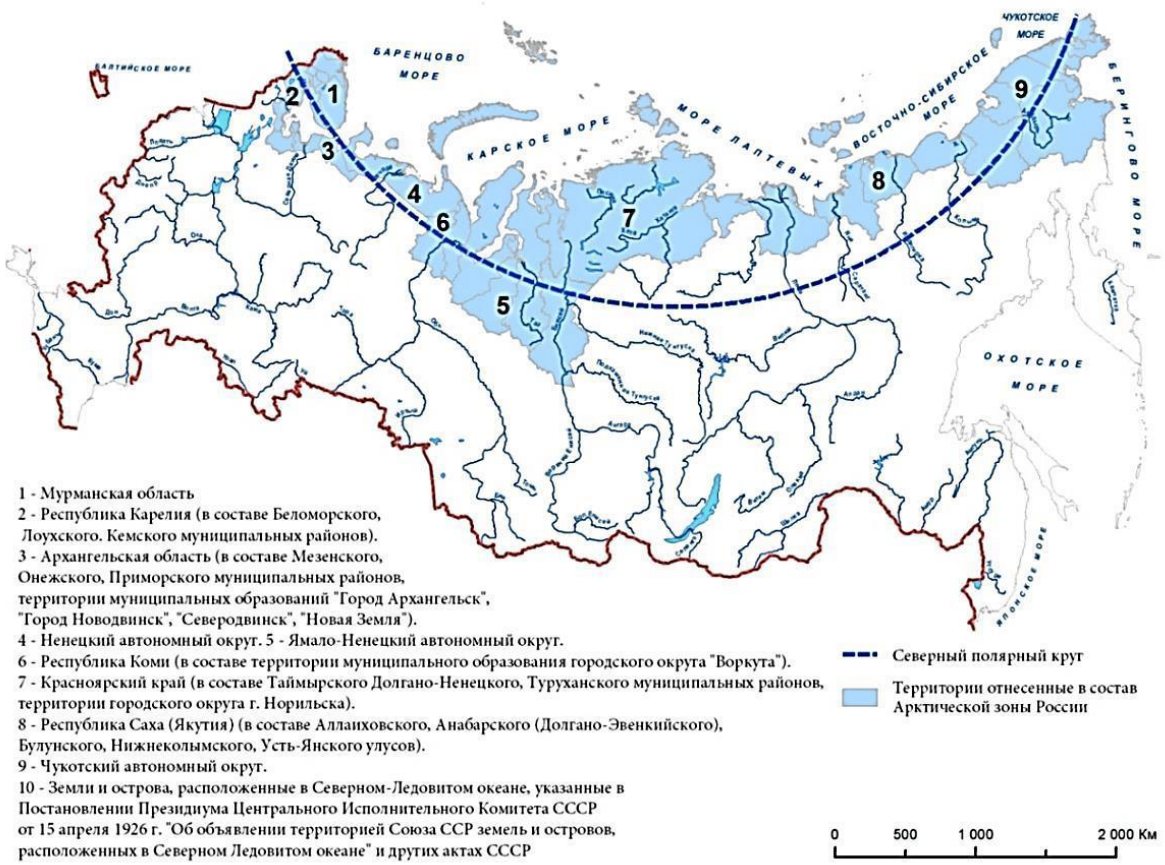


Рисунок 1. Схема размещения территорий, относящихся к Арктической зоне РФ [2]

2. Обеспечение качественной питьевой водой населения арктической зоны РФ

О динамике изменения показателей обеспеченности качественной питьевой водой из систем централизованного водоснабжения населения арктической зоны РФ можно судить по данным федерального проекта «Чистая вода» (Таблица 1) [6].

Таблица 1

Доля населения субъектов арктической зоны РФ, обеспеченного качественной питьевой водой из систем централизованного водоснабжения, % [2] федеральный проект «Чистая вода» национального проекта «Экология»).

Субъект арктической зоны Российской федерации	Год		
	2018 г.	2020 г.	2024 г.
Мурманская область	99,7	99,7	100,0
Республика Карелия	75,0	75,3	84,8
Архангельская область	72,0	72,4	82,9
Ненецкий АО	51,4	52,5	83,8
Ямало-Ненецкий АО	87,0	87,1	89,7
Красноярский край	88,5	88,6	92,9
Республика Саха (Якутия)	59,8	60,3	75,8
Чукотский АО	74,6	75,5	100,0

Из данных таблицы 1 следует, что наиболее остро вопрос обеспечения населения качественной питьевой водой стоит в Чукотском (ЧАО) и Ненецком (НАО) автономных округах, Республике Саха (Якутия), Архангельской области. В 8 населенных пунктах ЧАО для хозяйственно-питьевых нужд используется привозная вода водоемов 1 категории (озёр, рек, ручьёв); доставка производится автоцистернами без очистки, обеззараживания, нерегулярной дезинфекции.

Превышение гигиенических нормативов по санитарно-химическим показателям в 2019 г. составило 44,3 %. Для хозяйственно – питьевых целей в зимний период население вынуждено заготавливать и подвозить пресный лёд.

Не обеспечена поставка бутилированной воды для питья и приготовления пищи в детские учреждения населенных пунктов, обеспечивающихся привозной питьевой водой и льдом [3].

На территории ЧАО питьевая вода централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения не соответствует гигиеническим нормативам по органолептическим показателям (мутность, цветность), обобщенному показателю (pH) и содержанию железа с превышением ПДК [3].

В Республике Саха (Якутия) по данным лабораторного мониторинга за 2019 год было обеспечено качественной питьевой водой 66 % населения республики или 638436 чел.; некачественной водой соответственно 29,1 % (281904 чел.); из 123 подземных источников 45 (36,5 %) не отвечали гигиеническим требованиям.

Хозяйствующими субъектами РС (Я) не организована системная работа по проектированию и обустройству зон санитарной охраны источников хозяйственно-питьевого водоснабжения.

Основными причинами неудовлетворительного состояния питьевой воды в РС (Я) являются:

1) природные факторы-цветность, мутность;

2) отсутствие или ненадлежащее состояние зон санитарной охраны;

3) отсутствие очистных сооружений, устаревшие технологии водоподготовки и снижения качества воды;

4) низкое санитарно-техническое состояние сетей и сооружений [4].

Для НАО водные ресурсы являются основой жизни и деятельности населения, проживающего на территории. В пределах округа протекает около 2000 водотоков различной протяженности, насчитывается более 160000 озер и искусственных водоемов, общей площадью 6200 квадратных километров. Территория характеризуется значительной заболоченностью. Доля населения, обеспеченного качественной питьевой водой из систем централизованного водоснабжения, на конец 2019 года составила 53,6 %. Доля городского населения, обеспеченного качественной питьевой водой из систем централизованного водоснабжения, в 2019 г. составила 67,3 %. Обеспечено питьевым водоснабжением 98,6 % (43222 человека) населения НАО. Качественной питьевой водой обеспечено 71,8 % населения, некачественной питьевой водой обеспечено 24,1 % населения, 3,9 % [5]. Высокие показатели цветности, содержания железа (до 7 ПДК), содержание азота аммиака, нитратов (до 2-х ПДК) обусловлены природным происхождением, т.к. используется современный аллювиальный незащищенный горизонт. Показатели содержания железа, азота аммиака, нитратов колеблются по сезонам года.

Нецентрализованным водоснабжением обеспечено 22,8 % населения.

Не имеет питьевого водоснабжения население сельской местности Заполярного района при отсутствии подземных источников водоснабжения (левобережье реки Печоры, побережье Баренцева моря) [5].

Норма потребления воды на работника ООО «Башнефть-Полюс» при освоении нефтяных месторождений им. Требса и им. Титова составляет 25 л/сут. Хозяйственно-питьевое водоснабжение обеспечивается привозной водой, доставляемой из п. Варандей в пластиковых бутылях объемом 10 л. [6].

За период 2017-2019 гг. удельный вес населения Архангельской области, обеспеченного качественной питьевой водой, снизился на 13,2 % с 76,6 % до 63,4 %, а населения, обеспеченного некачественной питьевой водой, увеличился с 14,5 % до 21,8 %. Численность населения, обеспеченного привозной водой, которая не исследовалась, в 2019 году составила 2325 человек [7].

В течение 2019 года, в исследованных пробах воды пунктов хозяйственно-бытового и рекреационного водопользования населения НАО, ЧАО, РС(Я), Архангельской области – субъектов Арктической зоны РФ возбудители патогенной микрофлоры не обнаружены.

3. Выводы

Анализ состояния проблем обеспечения качественной питьевой водой населения Арктической зоны РФ показал, что разрешение может обеспечить федеральный проект «Чистая вода» национального проекта «Экология».

4. Литература:

[1] Mustafin S.K., Trifonov A.N., Struchkov K.K. Problems of providing high-quality drinking water to the population of the subsoil use territories of the Arctic zone of Russia. Materials of the international scientific and practical conference: The Arctic: modern approaches to industrial and environmental safety in the oil and gas sector: a collection of articles. - Tyumen: TIU, 2020, pp. 191-195.

[2] On the state and protection of the environment of the Russian Federation in 2019. State report.

[3] M.: Ministry of Natural Resources of Russia; Lomonosov Moscow State University, 2020, 1000 pp.

[4] Materials of the state report "On the state of sanitary and epidemiological well-being of the population in the Chukotka Autonomous Okrug in 2019". - Anadyr, 2020, 122 pp.

[5] State report "On the state of sanitary and epidemiological well-being of the population in the Russian Federation" in the Republic of Sakha (Yakutia) for 2019. - Yakutsk, 2020, 249 pp.

[6] Report "On the state and protection of the environment of the Nenets Autonomous Okrug in 2019". - Naryan-Mar, 2020, 144 pp.

[7] Preliminary materials for assessing the impact on the environment to the materials for justifying investments in the development of the fields named after R. Trebs and them. A. Titova OJSC ANK Bashneft. - St. Petersburg: Center for Environmental Design, Engineering and Innovation, 2011, vol. 2.1, 305 pp.

[8] State report "On the state of sanitary and epidemiological well-being of the population in the Arkhangelsk region in 2019". - Arkhangelsk, 2020, 148 pp.

УДК 556, 556.3, 551.34

ИЗМЕНЕНИЯ МЕЖЕННОГО СТОКА РЕК СЕВЕРО-ВОСТОКА РОССИИ

Наталия Нестерова, Ольга Макарьева
Северо-Восточная научно-исследовательская мерзлотная станция, Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, ул. Портовая, 16, г. Магадан, 685000, Россия

CHANGES OF MINIMUM FLOW IN THE NORTH-EAST OF RUSSIA

Nataliia Nesterova, Olga Makarieva
North-Eastern Research Permafrost Station, Melnikov Permafrost Research Institute SB RAS, 16 Portovaya St., Magadan, 685000, Russia

Annotation. The study presents a quantitative assessment of changes in winter runoff at the Kolyma, Yana, Indigirka, Alazei River basins and the rivers of the Chukchi peninsula and Okhotsk Sea basin for the historical period of observations. Statistically significant positive trends of river runoff are observed in most rivers in the autumn-winter low-water period.

1. Введение

Одним из основных факторов, влияющих на процессы водообмена на территории Северо-Востока России, является мерзлота. Тесная взаимосвязь потоков воды и тепла в речных бассейнах обуславливает значительную чувствительность системы к климатическим изменениям, которые наблюдаются в регионе исследования. Для территории Северо-Востока величина повышения годовой температуры воздуха за последние 50 лет варьируется от +1,1 °С до +3,4 °С со средней величиной +2,3 °С и характерным значительным повышением в зимние и переходные осеннее-весенние периоды.

Отсутствие современных данных о процессах водообмена в условиях распространения многолетней мерзлоты является острой проблемой для труднодоступных горных районов криолитозоны. Цель работы – количественная оценка изменения меженного стока в бассейнах рек Колымы, Яны, Индигирки, Алазеи, Чукотки и рек Охотского моря за исторический период как показателя трансформации взаимодействия поверхностных и подземных вод в криолитозоне. Тема исследования актуальна в свете постоянно растущего практического интереса к данным территориям, где научное обеспечение крупных проектов по освоению природных ресурсов признаны одной из приоритетных общегосударственных задач.

2. Материалы и методы исследования

Анализ данных о месячных слоях стока воды проведен для 45 гидрологических постов сети Росгидромет в бассейнах рек Колыма, Яна и Индигирка, Чукотского полуострова и Охотского моря, действующих в период до 2016 гг. Площадь бассейнов рек составляет от 0,27 до 526000 км^2, средний годовой слой стока изменяется от 58 мм до 782 мм.

Стационарность временных рядов месячных слоев стока проверялась относительно наличия монотонных трендов с помощью критерия ранговой корреляции Манна-Кендалла с уровнем значимости $p < 0{,}05$ [1,2]. Величина линейного тренда K (ед. год$^{-1}$) оценивалась на основе непараметрического метода Тейла-Сена [3]. Суммарное изменение слоев стока ΔQ с начала периода наблюдений (%) рассчитывалось по формуле $\Delta Q = \frac{K}{M} n$, где M – среднее величины на весь период (ед.), n – количество лет наблюдений.

3. Результаты

Анализ данных о стоке для 22 гидрологических постов в бассейнах рек Яна и Индигирка (1936-2015 гг.) показал, что на большинстве станций статистически значимые ($p < 0{,}05$) положительные тренды наблюдаются в течение осенне-зимнего периода (с сентября по декабрь). Статистически значимое увеличение наблюдается на 17 из 19 в сентябре, 15 из 19 в октябре, 9 из 19 в ноябре, 6 из 17 в декабре, 4 из 12 в январе, 3 из 8 в феврале и 3 из 7 в марте. В сентябре сток вырос на 5,8

– 36,8 мм (или 46-111 %) на 17 постах, а в октябре на 0,12 – 4,5 мм (или 31 – 118 %) на 11 постах из 19 рассматриваемых. В ноябре и декабре положительные тренды характерны для более крупных бассейнов (площадь от 17600 км^2). В среднем увеличение стока составило 0,4 мм (72 %) на 11 и 0,1 мм (94 %) на 6 из 14 не перемерзающих гидрологических створах в эти месяцы. Также значительные изменения годового стока 24–115 мм выявлены на 8 створах, как малых, так и крупных рек.

Для бассейнов рр. Колымы и Алазеи наиболее значительное увеличение стока также прослеживается в осенне-зимний период и в мае. Общее количество проанализированных гидрологических постов составляет 18. Из 18 гидрологических постов только на 5 не были установлены значимые изменения в сентябре и на 4 в октябре. Средние значения изменений для остальных постов достигли 17 мм (69 %) в сентябре и 4,3 мм (69 %) в октябре. На 9 постах в декабре и 7 постах в январе-феврале выявлены положительные изменения стока в период зимней межени. Годовые слои стока увеличились на 9 постах со средним значением 107 мм (52 %). Наибольшим изменениям подвержен сток р. Алазеи – г. Аргахтах, значимые изменения которого наблюдаются каждый месяц.

Для рек Охотского бассейна повышение годового стока установлено для всех 5 постов (227 мм, 40 %). Наибольшее увеличение наблюдается в феврале-апреле (в среднем на 80 %), августе (80 %) и сентябре (60 %).

4. Заключение

Трансформация криолитозоны, вызванная потеплением климата, приводит интенсификации водообмена между поверхностными и подземными водами на локальном, региональном и континентальном уровнях. Прямые и косвенные свидетельства таких изменений наблюдаются в различных холодных регионах мира [4-7]. Этот процесс считается одним из наиболее вероятных факторов изменения речного стока арктических рек в осенне-зимний период [8,9].

При оттаивании мерзлых толщ формируются новые емкости подземного задержания и пути движения воды в виде сквозных и несквозных таликов, а также происходят быстрые изменения ландшафтов и условий на поверхности, влияющие на питание, поверхностное задержание и сток воды (например, термокарст, просадки грунта и т.д.) [4,5,10]. Предполагается, что деградация криолитозоны приведет к переходу от преобладания поверхностного стокобразования к подземному, что находит подтверждение в гидрологических и геохимических данных на южной границе криолитозоны [11].

Полученные данные могут быть использованы для приблизительной оценки ресурсов подземных вод Северо-Востока в современном климате. Это особенно важно для регионов, где сеть гидрологических наблюдений распределена неравномерно или практически отсутствует [12].

4. Благодарности

Исследования проводятся при поддержке РФФИ – проекты № 19-35-90090_аспиранты, №19-55-80028.

5. Литература:

[1] Kendall, M.G. Rank Correlation Methods. Griffin, London. 1975 (translated from English).
[2] Mann, H. B. Nonparametric tests against trend // Econometrica, 1945, 13, pp. 245-259 (translated from English).
[3] Sen, P.K. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau // Journal of the American Statistical Association, 1968, 63, pp. 1379-1389 (translated from English).
[4] Quinton, W.L., Hayashi, M. and Chasmer, L.E (2011). Permafrost-thaw-induced land-cover change in the Canadian subarctic: Implications for water resources // Hydrol. Processes, 2011, 25 (1), pp. 152-158 (translated from English).
[5] Shepelev, V.V. and Zhang, T.R. Features of the hydrogeological conditions of urbanized territories and the main problems of combating flooding (on the example of Yakutsk) // Otechestvennaya geologiya, 2011, no. 6, pp. 58-63 (in Russian).

[6] Jepsen, S.M., Voss, C.I., Walvoord, M.A., Minsley, B.J. and Rover, J. Linkages between lake shrinkage / expansion and sublacustrine permafrost distribution determined from remote sensing of interior Alaska, USA // Geophys. Res. Lett., 2013, 40, pp. 882–887, doi: 10.1002 / grl.50187 (translated from English).
[7] Tananaev, N., Makarieva, O. and Lebedeva, L. Trends in annual and extreme flows in the Lena River basin, Northern Eurasia // Geophysical Research Letters, 2016, 43, 20136, doi: 10.1002 / 2016GL070796 (translated from English).
[8] Fedorov, A.N., Ivanova, R.N., Perk, H., Hiyama, T. and Iijima, Y. Recent air temperature changes in the permafrost landscapes of northeastern Eurasia // Polar Science, 2014, 8 (2), available at: http://dx.doi.org/ 10.1016 / j.polar.2014.02.001 (translated from English).
[9] Frolova, N.L., Magritskiy, D.V., Kireeva, M.B., Agafonova, S.A. and Povalishnikova, E.S. Anthropogenic and climatically caused changes in water runoff and ice phenomena in the rivers of the Russian Arctic // Geography Issues, 2018, no. 145, pp. 233-251 (in Russian).
[10] Romanovskiy, N.N. About geological activity of ice-cream // Permafrost research. M.: Publishing house of Moscow State University, 1973, Issue. XIII., pp. 66-89 (in Russian).
[11] Romanovsky, N.N., Buldovich, S.N. and Tipenko, G.S. Assessment of the impact of climatic changes on surface runoff by modeling the thermal interaction of permafrost and groundwater (on the example of the upper part of the drainage basin of the Lena River) // Earth's Cryosphere, 2009, vol. 13, no. 1, pp. 55–64 (in Russian).
[12] Piguzova, V.M.: Ocenka podzemnogo stoka v reki zony mnogoletnej merzloty (Assessment of underground runoff to rivers in permafrost zones), Trudy Gosudarstvennogo gidrologicheskogo instituta,122 (Study of underground runoff in rivers), Hydrometeoizdat Publication, Leningrad, 1965, pp. 87-107 (in Russian)

УДК 551.34:556.3

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОЙМЫ Р. ЛЕНЫ У Г. ЯКУТСКА

Надежда Павлова, Василий Огонеров, Людмила Лебедева
Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, ул. Мерзлотная, 36, г. Якутск, 677010, Россия

HYDROGEOLOGICAL FEATURES OF THE LENA FLOODLAND NEAR YAKUTSK

Nadezhda Pavlova, Vasily Ogonerov, Lyudmila Lebedeva
Melnikov Permafrost Institute SB RAS, 36 Merzlotnaya St., Yakutsk, 677010, Russia

Annotation. The areal pattern of taliks distribution in the Lena River floodplain valley near Yakutsk city are analyzed based on the long-term studies. It is noted that boundaries of floodplain taliks do not often coincide with the water area in the river channels. The discrepancy is explained by channel processes and cryogenesis processes. Based on the hydrochemical studies, we characterize the basic chemical composition of the Lena River, its channels, floodplain and channel taliks. It was revealed that the Quaternary aquifer near the right bank of the Lena River has minimum mineralization of groundwater. Fresh intrapermafrost groundwater of the bestyakh terrace and suprapermafrost low-mineralized channel taliks under small tributaries of the Lena River contribute to the Quaternary aquifer. Decrease of the hydraulic conductivity of the water-bearing deposits with the depth leads to increase of the aquifer mineralization. At the city of Yakutsk concentration of sulfate and sodium ions increases in the Lena River channels, suprapermafrost taliks under them and small rivers. The probable reasons for this are the influx of polluted water from the terraces where the city is located, as well as the cryogenic metamorphization of water and water-bearing deposits under conditions of slow water exchange.

1. Введение

В последние годы большую актуальность приобретает изучение пойменных таликов в долине р. Лены в связи с возрастающей техногенной нагрузкой на экосистему реки и инженерным освоением территории. Так, в районе г. Якутска 1980-2013 гг. в пойме р. Лены был возведен намывной массив и застроены два жилых городских квартала, в начале 2000-х годов проложен подводный газопровод по дну реки, в настоящее время планируется строительство мостового перехода через нее. Для обеспечения безопасной эксплуатации подобных объектов, а также планирования дальнейшего освоения пойменных территорий, важное значение имеет оценка площадного распространения подземных вод в долине реки. Целью исследований являлось изучение мерзлотно-гидрогеологических условий поймы р. Лены на отрезке с. Табага – г. Якутск, где сосредоточены выше перечисленные инженерные сооружения. Для этого были систематизированы и проанализированы накопленные за многолетний период данные гидрогеологических и гидрогеохимических исследований подземных вод сквозных и надмерзлотных таликов, развитых под руслом и протоками р. Лены на этой площади.

2. Результаты исследований и их обсуждение

Рассматриваемая территория расположена в бассейне среднего течения р. Лены, где река из области Приленского плато переходит на Центрально-Якутскую низменность. Соответственно изменяется характер долины: от узкой (~4-5 км) с крутым отвесным правым берегом у Табагинского мыса к обширной (8-15 км) террасированной аккумулятивной равнине ниже по течению реки. Средний годовой сток р. Лены у г. Якутска 7070 м^3/с, максимальный 36200 м^3/с [1]. Река относится к восточносибирскому типу, ее годовой гидрограф отличается интенсивным подъемом уровня воды во время весеннего половодья и последующими паводками в летние и осенние месяцы. Ледообразование на р. Лене происходит в октябре. В зимнюю межень (март-

апрель) уровень речных вод находится на отметках 81,7-83,5 м. Его подъем во время весеннего паводка достигает 7–11 м, вызывая затопление широкой поймы. В это время отметки уровня 5 % обеспеченности составляют 94,7 м. В соответствие с изменениями гидрологической обстановки изменяется и температура воды в реке: во время весеннего паводка температура речной воды равна 0–1 °С, в пик наводнений в июне – около 10–12 °С, а в июле 15–17 °С [2].

Русло р. Лены ниже Табагинского мыса многорукавное, подвержено разнонаправленным смещениям и осложнено многочисленными островами, размеры которых варьируют от 0,5 до 10 км в длину. Размыв берегов и островов на одних участках и аккумуляция влекомых наносов на других приводит к отклонению стрежня и перераспределению стока реки по ее протокам, способствуя их миграции, расчленению, периодическому обмелению и углублению [3]. Результатом переформирования русла и поймы является невыдержанность мощности аллювиальных четвертичных образований – от 1 до 18 м. Они представлены мелко– и среднезернистыми кварц-полевошпатовыми песками, в основании разреза – с гравием и галькой кварца, кремния, известняков. Аллювиальные отложения постилают среднеюрские алевролиты и кварц-полевошпатовые, слюдистые песчаники с частыми прослоями глин.

Пойма двусторонняя. Исключение составляет участок у п. Н. Бестях, где поток р. Лена примыкает к бестяхской надпойменной террасе. Рельеф поймы слабовсхолмленный, осложнен многочисленными узковытянутыми проточно-старичными понижениями и гривами. Гривы сложены мелкими и среднезернистыми песками русловой фации, перекрытыми с поверхности пойменными супесчано-суглинистыми отложениями мощностью 0,5-2,5 м. В верхней части разреза проточно-старичных понижений и ложбин стока выделяется супесчано-суглинистый слой мощностью до 5 м. Суммарная мощность аллювиальных образований на пойме ~7-15 м.

На пойме и примыкающих к ней надпойменный террасах р. Лены до глубины 170-470 м распространены многолетнемерзлые породы. В районе Табагинского мыса под р. Леной установлено наличие сквозного талика, связывающего подмерзлотные и поверхностные воды [4]. Водовмещающими породами в нем являются нижнеюрские трещиноватые песчаники и алевролиты, и кембрийские карбонатные породы. В плане сквозной талик на правобережье р. Лены ограничен ее руслом. Об этом свидетельствуют данные бурения глубоких скважин в пойме реки у Табагинского мыса, которыми вскрыта подошва многолетнемерзлых пород на глубине 173 м. На правобережье талик распространяется на первые десятки метров вглубь берега. До XIX в. здесь располагался один из рукавов р. Лены, который с течением времени обмелел и образовал Хаптагайскую пойменную протоку [1].

Под пойменными протоками реки, имеющими постоянный сток, талые породы прослеживаются до глубины 40–60 м, подземные воды содержатся в четвертичных аллювиальных отложениях и верхней части выветрелых среднеюрских образований. Под пересыхающими и перемерзающими протоками мощность водоносных таликов не превышает 10–12 м и ограничивается аллювиальными отложениями. Глубже развит криогенный водоупор. Нередко положение надмерзлотного талика под протоками не соответствует их руслам из-за смещения водных потоков в процессе многократных русловых деформаций.

Под старичными пойменными озерами также сохраняются надмерзлотные водоносные талики мощностью до 7–10 м. Воды таликов имеют гидравлическую связь с подрусловыми и поверхностными водами р. Лены, особенно ярко проявляющуюся во время весенних паводков. Это подтверждают данные режимных наблюдений за уровнем подземных вод на намывной территории г. Якутска и в р. Лене [5,6].

Под малыми реками надмерзлотный подрусловой талик изучен под р. Тамма. В ее приустьевой обводненные породы в конце зимы залегают на глубине 0,3-3,0 м [7]. Мощность надмерзлотного талика не превышает 20 м. Сохранению его под промерзающей рекой при сравнительно небольшой ширине русла (10-20 м) способствуют хорошие фильтрационные свойства песчаниково-галечниковых отложений и сравнительно высокая отрицательная температура окружающих многолетнемерзлых пород. Мощность подрусловых таликов увеличивается на участках залегания песчано-галечных отложений на трещиноватых карбонатных породах кембрия. Так, например, южнее рассматриваемой площади в нижнем течении р. Менды

мощность водоносного талика достигает 60 м. Разгрузка подрусловых вод малых правобережных притоков происходит в подрусловой талик Лены.

Левобережные малые притоки р. Лены в пределах рассматриваемой территории не имеют круглогодичного стока, поэтому в зимний период небольшие талики под ними сохраняются лишь на отдельных более углубленных участках их русел.

По данным гидрохимических исследований, состав воды в р. Лене зависит от условий питания реки. В весенне-летний период, когда сток реки формируется в основном за счет таяния снега и жидких атмосферных осадков, минерализация поверхностных вод 70–100 мг/л при хлоридно-гидрокарбонатном натриево-кальциевом или магниево-кальциевом составе. К концу лета содержание растворенных веществ увеличивается до 170–180 мг/л. Соотношение анионов в воде не меняется. Ее катионный состав у г. Якутска становится преимущественно натриево-кальциевым, а у правого берега – магниево-кальциевым (Таблица 1). Вероятной причиной такой изменчивости является приток с правобережья в р. Лену малых рек с водой гидрокарбонатного кальциево-магниевого состава. Зимой, при переходе на подземное питание, минерализация воды в р. Лене на фарватере около 300–500 мг/л, а в протоках у г. Якутска достигает 800 мг/л. Химический состав воды преобразуется в хлоридно-гидрокарбонатный кальциево-натриевый.

Таблица 1

Химический состав вод прибрежных проток реки Лены в теплый период года.

Название протоки	pH	Сумма минеральных веществ, мг/л	Форма выражения анализа	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na+	K^+	HCO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-
Табагинская	7,5	164	мг/л	24	7	20	1	107	18	29
			мг-экв%	45	22	33	0	59	13	28
Городская	7,0	138	мг/л	20	5	18	1	94	8	28
			мг-экв%	45	19	36	0	62	7	31
Рассолода	7,4	147	мг/л	30	12	6	1	159	<1	5
			мг-экв%	55	35	9	1	96	0	4
Хаптагайская	7,7	161	мг/л	28	10	12	1	159	9	12
			мг-экв%	50	31	19	0	83	6	11

В подрусловом сквозном талике р. Лены в районе Табагинского мыса минерализации воды по разрезу увеличивается от 0,6 г/л в кровле нижнеюрского водоносного комплекса до 1,9 г/л в нижнекембрийском водоносном комплексе. Анионный состав воды изменяется с глубиной в отложениях юры от гидрокарбонатного до хлоридно-гидрокарбонатного, в кембрийском водоносном комплексе он становится гидрокарбонатно-хлоридным. Среди катионов, независимо от литологии и возраста пород, в подземных водах преобладают ионы натрия. Доля их в формировании катионного состава воды с глубиной увеличивается от 81 до 98 % экв.

В надмерзлотном подрусловом талике р. Лены химический состав подземных вод по разрезу также неоднородны. В верхней части четвертичного водоносного горизонта количество растворенных веществ в воде составляет 0,4–0,8 г/л и с глубиной увеличивается до 0,8–1,3 г/л. Ее химический тип изменяется в годовом цикле в соответствии с составом питающей речной воды. Состав подрусловых вод среднеюрских отложений более стабилен, поскольку его формирование происходит в условиях относительно замедленного водообмена. Об этом свидетельствует их повышенная щелочность и превалирование натрия над другими катионами.

В пойменных подозерных таликах химический состав надмерзлотных вод зависит от степени проточности водоемов. При хорошем водообмене он близок к составу подрусловых вод. При ухудшении водообмена в таликах отмечаются повышенные содержания в воде хлорид–иона и ионов натрия. Под правобережными малыми реками (рр. Тамма, Менда) в подрусловых таликах зимой вода имеет минерализацию 380-480 мг/л и гидрокарбонатный кальциево-магниевый состав. В маломощном (1,5-2,0 м) подрусловом талике р. Шестаковка (левобережный приток р. Лены) в это же время минерализация воды достигает 800 мг/л. Ее хлоридно-гидрокарбонатный магниево-кальциево-натриевый состав, вероятно, является следствием ухудшения условий

водообмена здесь и влиянии процессов криогенной метаморфизации на формирование состава воды.

3. Выводы

Таким образом, гидрогеологические условия пойменно-руслового комплекса р. Лены обусловлены историей развития ее долины. Многолетняя миграция русла реки и ее проток, а также процессы криогенеза привели к локальному распространению подземных водных потоков в пойменных отложениях, зачастую пространственно не совпадающих с зеркалом воды в ответвлениях реки. Несмотря на наличие многолетнемерзлых пород и ограниченное распространения надмерзлотных таликов на пойме реки, содержащиеся в них подземные воды неразрывно связаны с поверхностными и подрусловыми водами р. Лены. Химический состав р. Лены и ее подруслового талика неоднородны в плане и разрезе и зависят от наличия притоков и условий взаимосвязи поверхностных и подземных вод. Минимальная минерализация характерна для подрусловых вод четвертичного водоносного горизонта, тяготеющего к правобережью р. Лены. Здесь существуют условия для его питания межмерзлотными водами бестяхской террасы и надмерзлотными водами подрусловых таликов, развитых под малыми притоками р. Лены. Увеличение минерализации воды по разрезу подруслового талика обусловлено ухудшением с глубиной фильтрационных свойств водовмещающих пород.

У г. Якутска в протоках р. Лены, надмерзлотных таликах под ними и малыми реками отмечается увеличение концентрации в воде сульфат-ионов и ионов натрия. Вероятными причинами этого являются поступление загрязненных стоков с террас, где расположен город, а также криогенная метаморфизация воды и водовмещающих пород в условиях слабого водообмена.

4. Благодарности

Исследование выполнено при частичной поддержке РФФИ (проекты № 18-45-140065 р_а и № 20-05-00670 А).

5. Литература:

[1] Chalov, R.S.; Zavadsky, A.S.; Ruleva, S.N.; Kirik, O.M.; Prokop'yev, V.P.; Androsov, I.M.; Sakharov, A.I. Morphology, deformations and temporary modifications of the Lena River channel and its influence on the Yakutsk economic infrastructure // Geomorfologiya, 2016, vol. 3, pp. 22-35 https://doi.org/10.15356/0435-4281-2016-3-22-35 (in Russian)

[2] Gautier, E.; Dépret, T.; Virmoux, C.; Grancher, D.; Brunstein, D.; Costard, F.; Fedorov, A.; Konstantinov, P. Going with the flow: Hydrologic response of middle Lena River (Siberia) to the climate variability and change // Journal of Hydrology, 2018, 557, pp. 475-488 https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.12.034.

[3] Tananaev, N. Hydrological and sedimentary controls over fluvial thermal erosion, the Lena River, Central Yakutia // Geomorphology, 2016, 253, pp. 524-533 doi: 10.1016/j.geomorph.2015.11.11.009.

[4] Groundwater in central Yakutia and prospects for their use. Novosibirsk: Publishing SB RAS "Geo", 2003, 137 pp (in Russian)

[5] Roman, L.T.; Tsernant, A.A.; Poleshchuk, V.L.; Tseeva, A.N.; Levanov, N.I. Construction on Hydraulic Fills on Permafrost. Moscow: Publishing House Economics, Construction, Transport, 2008, 323 pp. (in Russian)

[6] Pavlova, N.; Ogonerov, V.; Danzanova, M.; Popov, V. Hydrogeology of Reclaimed Floodplain in a Permafrost Area, Yakutsk, Russia. Geosciences 2020, 10(5), 192 https://doi.org/10.3390/geosciences10050192.

[7] Anisimova N.P., Pavlova N.A. Hydrogeochemical studies of permafrost in Central Yakutia/ - Novosibirsk: Academic Publishing House "Geo", 2014, 189 pp. (in Russian).

УДК 551.577.53 (571.56)

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ СНЕЖНОГО ПОКРОВА НА ТЕРРИТОРИИ ЯКУТСКА
(зима 1999-2020 гг.)

Екатерина Петрова, Владимир Макаров, Николай Торговкин
Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, ул. Мерзлотная, 36, г. Якутск, 677010, Россия

CHEMICAL COMPOSITION OF SNOW COVER IN YAKUTSK TERRITORY
(winter 1999-2020)

Ekaterina Petrova, Vladimir Makarov, Nikolay Torgovkin
Melnikov Permafrost Institute SB RAS, 36 Merzlotnaya St., Yakutsk, 677010, Russia

Annotation. For the first time, on the basis of modern methods of analysis, the article examines the geochemistry of the snow cover on the territory of Yakutsk, the largest city located in the permafrost zone. To study the chemical composition of the snow cover and assess the ecological state of the city on its territory, in March 2020, 80 snow samples were taken, analyzed for a wide range of chemical elements. It was found that the background chemical composition of the soluble phase of the snow cover in the Yakutsk region is typical for the middle taiga landscapes of Yakutia: chloride-hydrocarbonate, predominantly calcium, with an acidic reaction and very low mineralization. On the basis of modern methods of analysis, an assessment of the features of the transformation of the chemical composition of the soluble phase of the snow cover in the urbanized territory is given. In the zone of technogenic impact, the salinity of snow waters increases due to an increase in the concentration of sulfates, calcium and ammonium; the reaction becomes alkaline.

1. Введение

Цель исследования - определение эколого-геохимической обстановки на территории г. Якутска на основе изучения макро- и микроэлементного состава растворимой фазы снега. Возможность использования снежного покрова как индикатора загрязнения атмосферного воздуха в урбанизированных условиях экспериментально доказана исследованиями ИМГРЭ [1].

Для получения информации о количестве, происхождении и химическом состава снежного покрова авторами в 18-22 марта 2020 г. на территории города было отобрано 80 проб снега. Фоновый участок наблюдений находился в районе озера Чабыда, в 25 км к юго-западу от города за пределами зоны техногенного воздействия.

Пробоотбор проводился непосредственно перед началом снеготаяния, в течение нескольких дней марта. Для отбора пробы использовали маркированный по 0,5 см стеклянный цилиндр со стальным окаймлением диаметром 82 мм.

Аналитическая обработка геохимических проб проведена в лаборатории подземных вод и геохимии криолитозоны Института мерзлотоведения СО РАН (аналитики Л.Ю. Бойцова, Е.С. Петрова, О.В. Шепелева) и в Аналитическом сертификационном испытательном центре Института проблем технологии микроэлектроники и особочистых материалов РАН (АСИЦ ИПТМ РАН) г. Черноголовка Московской обл.

Город Якутск, расположенный в среднем течении, р. Лена, является крупнейшим и старейшим городом в мире, расположенном в сплошной криолитозоне. Город интенсивно развивается, за последние десять лет численность населения возросла со 195 тыс. человек в 2000 г. до 323 тыс. человек в 2020 г.

По классификации климатов А.А. Григорьева и М.И. Будыко [2] Якутск находится в зоне действия климата недостаточно влажного, с суровой малоснежной зимой. Зима характеризуется преобладанием штилей, малой облачностью и сильными устойчивыми морозами.

Ветровой режим в значительной степени связан с преобладающими ветрами северного и северо-западного направления. Отличительной чертой ветрового режима Якутска является большая повторяемость штилей, особенно часто в декабре-феврале. Среднегодовая температура воздуха за период непрерывных метеонаблюдений (1883 – 2019 гг.) варьирует в пределах -7,2 до -12,1 ºС, среднегодовое количество осадков – 235 мм.

На территории города насчитывается порядка 160 крупных предприятий, имеющих стационарные источники выбросов в атмосферу, выбрасывающих ежегодно 11700 тонн загрязняющих веществ [3]. Стационарные источники выбросов — это преимущественно объекты теплоэнергетики: купные электростанции (ЯГРЭС, ЯГРЭС-1 и ЯТЭЦ) и многочисленные котельные. В Якутске и его пригородах работают 145 промышленных котельных, более 400 маломощных автономных котельных, работающих на газовом топливе и небольшие дизельные и угольные котельные.

По данным ГИБДД Якутска, в 2018 г. в столице и пригородах зарегистрировано порядка 119 тысяч единиц автотранспорта, выбрасывающих в атмосферу около 34 тыс. т загрязнителей. В зимнее время количество автотранспорта снижается примерно на 1/3, в основном за счет легковых автомобилей. Зимой основной объем выбросов связан с автотранспортом и энергетикой, летом – с автотранспортом, энергетикой и запылением с поверхности почвы.

2. Результаты и обсуждения

Основными путями попадания загрязняющих веществ в зимнюю атмосферу города являются техногенные выбросы, выпадение атмосферных осадков и, в небольшой степени, поступление пылевых частиц с поверхности земли. Уровень накопления химических элементов в снежном покрове связан с их концентрацией в выпадениях и объемом выпадений в течение зимнего времени.

Фоновый химический тип снеговых вод хлоридно-гидрокарбонатный смешанный по составу катионов с преобладанием кальция, очень низкой минерализацией – около 6 мг/л и кислой реакцией (pH = 5,13) типичен для среднетаежных ландшафтов Якутии [4].

Техногенное воздействие городского хозяйства отражается на повышении концентрации в снежном покрове большинства макрокомпонентов: кальция, магния и натрия, аммония, сульфатов, карбонатов, хлоридов. Химический состав городских снеговых вод остается хлоридно-гидрокарбонатным с резко возрастающей ролью кальция и относительно повышенной по сравнению с фоном щелочностью. Распределение химических компонентов в снежном покрове Якутска приведено в таблице.

Наблюдаются общие закономерности техногенного воздействия: реакция снеговых вод города переходит в нейтральный интервал (pH=7,30), возратает величина минерализации и градиент концентраций большинства компонентов. На долю макрополлютантов и соединений азота приходится 90-95 % от общего объёма газово-аэрозольных продуктов выпадений. Соотношение макрополлютантов по величине плотности выпадений в пересчете на элемент: C> N> S, показывает преобладание углерода, на долю которого приходится около 72 % общего объёма зимних выпадений. По средней концентрации и плотности атмосферных выпадений Якутск можно назвать «углеродным» городом.

Газово-аэрозольная нагрузка в холодное время года или поступление загрязнителей в растворимой фазе снежного покрова из атмосферы, неравномерно распределяется на территории города.

Величина газовой и аэрозольной нагрузки в районе города по данным десятилетнего мониторинга снежного покрова на стационаре «Туймаада» имеет устойчивый тренд повышения.

3. Выводы

В зоне техногенного воздействия городского хозяйства химический состав снеговых вод хлоридно-гидрокарбонатный. Минерализация повышается за счет возрастания концентрации сульфатов, кальция и аммония. Экологическое неблагополучие в центральной части города обусловлено техногенными, климатическими и геоморфологическими факторами.

Величина газовой и аэрозольной нагрузки в районе города по данным десятилетнего мониторинга снежного покрова имеет устойчивый тренд повышения в основном за счет возрастания концентрации гидрокарбонатов связанной с региональным переносом углекислого газа.

Таблица

Распределение макрокомпонентов и соединений азота в снежном покрове и величина газово-аэрозольной нагрузки.

Компоненты	Ед. изм.	$C_{мин}$	$C_{макс}$	$C_{арифм}$	$C_{геом}$	Pn, мг/м^2/сут.	
						$C_{мин}$	$C_{макс}$
pH	-	6,77	7,70	7,30	7,29	-	-
Eh, мВ	мВ	441	553	494	493	-	-
Ca^{2+}	мг/л	1,40	17,7	8,53	7,62	10,1	20,9
Mg^{2+}	-«-	0,40	24,9	1,87	1,42	2,2	29,4
Na^{+}	-«-	0,01	110,0	3,06	1,41	3,6	129,7
K^{+}	-«-	0,10	2,10	0,47	0,41	0,5	2,5
NH_4^{+}	-«-	0,60	12,0	1,85	1,50	2,2	14,2
HCO_3^{-}	-«-	10,7	87,4	31,2	28,8	36,8	103,1
SO_4^{2-}	-«-	0,70	104,0	3,17	1,80	3,7	*122,6*
Cl^{-}	-«-	1,11	133,9	5,28	3,42	6,2	*157,9*
NO_2^{-}	-«-	0,01	1,00	0,38	0,28	0,4	*1,2*
NO_3^{-}	-«-	0,86	2,50	1,43	1,40	1,7	*2,9*
Минерализац.	-«-	14,7	74,4	*41,6*	35,8	35,3	63,1

Примечание: Содержание: $C_{мин}$ - минимальное., $C_{макс}$ - максимальное, $C_{арифм}$ - среднее арифметическое, $C_{геом}$ - среднее геометрическое; Pn - величина общей нагрузки

В зимней атмосфере города формируются техногенные геохимические аномалии тяжелых металлов, редких и радиоактивных элементов. Наиболее контрастная техногенная трансформация в пределах города наблюдается для Cu, Fe, Cd, Sn, Zn и Al. Токсичные микроэлементы формируют обширные ореолы в центральной части города (Cu, Fe, Zn, U) или локальные точечные аномалии (Cd, As, Th) на его территории.

Уровень загрязнения зимней атмосферы практически на всей территории города по суммарному показателю загрязнения снежного покрова оценивается как низкий и умеренно опасный в зонах интенсивного движения транспорта и вблизи объектов энергетики.

По сравнению с рядом сибирских городов снежный покров (зимняя атмосфера) на территории Якутска менее загрязнен тяжелыми металлами.

4. Литература:

[1] Sayet Yu.Ye. Geokhimiya okruzhayushchey sredy. Geochemistry of the environment / Yu.Ye. Sayet, B.A. Revich, Ye.P. Yanin, R.S. Smirnova, I.L. Basharkevich, T.L. Onishchenko, L.N. Pavlova, N.Ya. Trefilova, A.I. Achkasov, S.Sh. Sarkisyan. M.: Nedra. 1990, 335 pp. (In Russian)

[2] Grigor'yev A.A., Budyko M.I. Klassifikatsiya klimatov SSSR. Classification of climates of the USSR // Izv. AN SSSR. Ser. geogr. 1959, no. 3, pp. 3-19 (In Russian)

[3] Gosudarstvennyy doklad o sostoyanii i okhrane okruzhayushchey sredy Respubliki Sakha (Yakutiya) v 2018 g. State report on the state and protection of the environment of the Republic of Sakha (Yakutia) in 2018 / Pravitel'stvo RS(YA), M-vo okhrany prirody RS(YA). 2019, 61 pp. (In Russian)

[4] Makarov, V.N. Geokhimiya snezhnogo pokrova tayozhnykh i gornykh merzlotnykh landshaftov Yakutii // Led i sneg, 2014, no. 1 (125), pp. 73-80. (in Russian)

УДК 551.34

К АНАЛИЗУ СИСТЕМЫ «АНТИЦИКЛОН-НАЛЕДЕОБРАЗОВАНИЕ» В ЯКУТИИ

Олег Поморцев[1], Анастасия Поморцева[2], Ирина Порошина[1], Василий Филиппов[1]
1 Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, ул. Кулаковского, 50, г. Якутск, 677000, Россия
2 Санкт-Петербургский горный университет, Васильевский остров, 21 линия, 2, г. Санкт-Петербург, 199106, Россия

TO THE ANALYSIS OF "ANTICYCLONE-ICING FORMATION" SYSTEM IN YAKUTIA

Oleg Pomortsev[1], Anastasia Pomortseva[2], Irina Poroshina[1], Vasily Filippov[1]
1 M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, 58 Belinsky St., Yakutsk, 677000, Russia
2 Saint-Petersburg Mining University, 2, 21st Line, Vasilievsky island, St. Petersburg, 199106, Russia

Annotation. Mechanism of the Siberian anticyclone and its influence to climate and ice formation is considered. It is shown that the anticyclone has two modes of air exchange: increased intensity and stationary. In the first one, there is a warming of cold seasons and a decrease in the scale of ice formation in cryolithozone, while in the second one, there is a cooling and an increase in masses. Main factor determining the anticyclone operation is the global circulation regime of the high atmosphere, modulated by solar activity. The glaciated valleys of Middle Lena are taken as models: Ulakhan-Taryn and Bulus (Central Yakutia). The research methods are: in-situ observations, mathematical modeling, and graphic and rhythmic analyses.

1. Введение

Известно, что Сибирский антициклон или Азиатский максимум определяет погодные и климатические условия холодных сезонов большей части Северной Азии и отчасти Европы. При этом, его наиболее холодные отроги находятся в Якутии. Влияние антициклона распространяется на все природно-климатические процессы, хотя закономерности изменчивости режима антициклона, как и его роль в динамике наледеобразования, все еще остаются в стадии поиска. Целью работы является анализ системы «антициклон – климат – наледеобразование» как основы для выявления закономерностей изменчивости природно-климатических обстановок в криолитозоне. В качестве модельных участков приняты наледные долины Средней Лены - Улахан-Тарын и Булус (Центральная Якутия). Кроме того, использован ряд среднегодовой температуры наиболее длиннорядной и репрезентативной для Якутии гидрометеорологической станции Якутск и дендрохронологические шкалы сосны из модельных наледных долин продолжительностью более 200 лет. Методы исследования: натурные наблюдения, графический и ритмический анализ.

2. Постановка проблемы, результаты и обсуждение

К настоящему времени становится все более очевидным, что глобальные потепления и похолодания климата в истории планеты задаются факторами космического происхождения. Как пишет М.С. Эйгенсон: «первопричина некоторых послеледниковых теплых «сезонов» - равно как и всех других палеоклиматически аналогичных им теплых «сезонов» - может или должна быть та же, что и у современного потепления. Эта первопричина ныне хорошо известна. Она состоит в усилении солнечной активности». «А космическая первопричина отрицательной аномалии земных циркуляций и климата – падение солнечной активности» [1, с. 246]. По исследованиям Э.С. Лир и А.В. Дьякова все барические локализации в тропосфере (циклоны и антициклоны) есть не причина, а следствие режима циркуляции высокой атмосферы [2]. Отклик

ходов среднегодовой температуры в Якутске на усиление режима наиболее эффективной меридиональной циркуляции в последние десятилетия показан на рисунках 1 и 2.
Если говорить о модельных наледях -Улахан-Тарына и Булуса, то до 2010 года они показывали усиление динамики образования наледных тел, причем, судя по нашим дендрохронологическим реконструкциям, это усиление было максимальным за последние 200 лет [4]. Однако затем, на фоне потепления и снежности зим, наледеобразующие воды источников перешли к режиму подрусловой разгрузки, что привело к снижению площадей и объемов формирующихся наледей. С приходом нового – нечетного – 25-го цикла СА вероятно усиление холодных аномалий на фоне потеплевших зимних сезонов, как и усиление роли летних засух [5]. В наледных долинах, подобных Улахан-Тарыну и Булусу, возможно оживление процесса наледеобразования и снижение темпов стволового прироста деревьев.

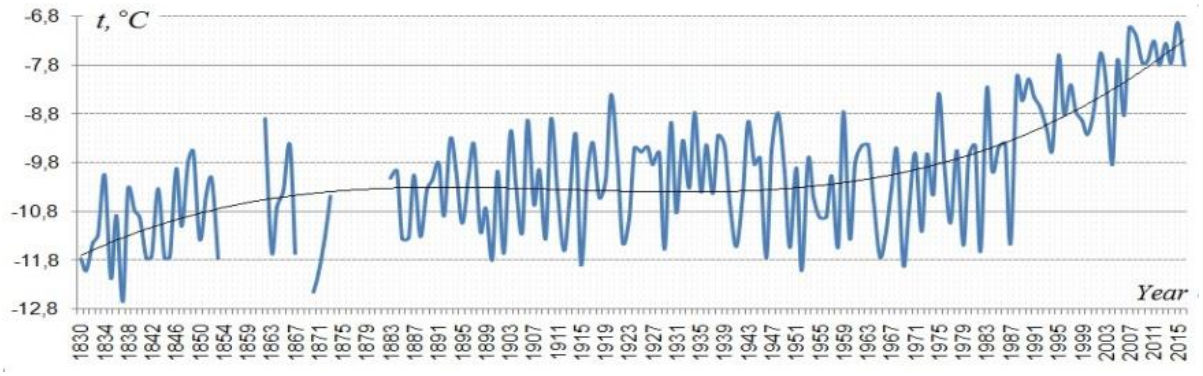


Рисунок 1. Кривая среднегодовой температуры по данным ГМС Якутск за период с 1830 по 2016 г. (с небольшими перерывами).

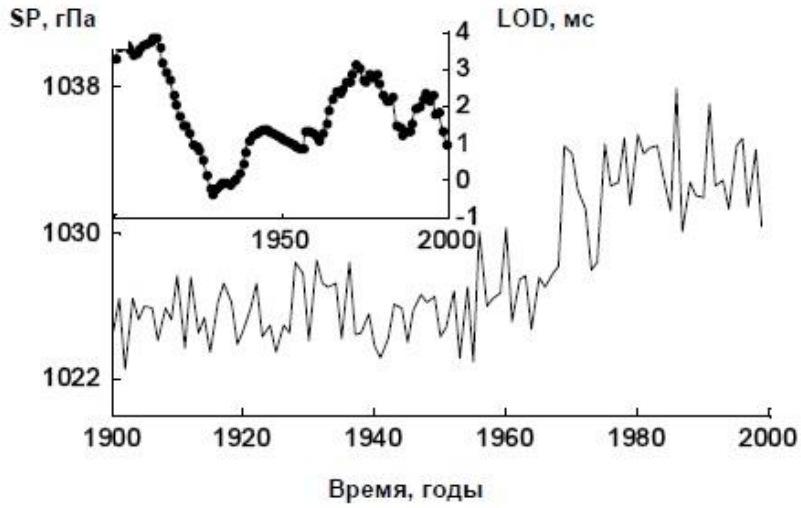


Рисунок 2. Графики среднегодовых величин отклонений длительности суток от стандартных (LOD, верхний график) и интенсивностей Сибирского ЦДА (SP). По [3].

Если обсуждать тенденции наледеобразования на XXI столетие, то повышение температуры на 2-3 °С, прогнозируемое на конец столетия, не приведет к коренному изменению режима и распространения многолетнемерзлых пород в Центральной Якутии, поскольку здесь их средняя годовая температура останется отрицательной (в настоящее время - 4 °С и ниже) [6]. Однако, из-за увеличения количества и объемов гидрогенных и гидрогеогенных таликов и улучшения условий питания и разгрузки подземных вод, источники, питающие наледи, будут давать, как мы уже наблюдаем сегодня, больший транзитный подрусловой и поверхностный сток, что приведет к деградации крупных наледей и преобразованию их в небольшие наледи. Увеличение глубины

летнего протаивания и количества несквозных таликов приведет к возникновению новых наледей грунтовых вод. Таким образом, общий объем, площадь и средние размеры наледей уменьшатся, а их количество увеличится. При дальнейшем усилении процесса потепления следует ожидать более глубокие изменения генетических типов наледей и существенного уменьшение их размеров.

3. Заключение

Механизм работы системы «антициклон – климат – наледеобразование» задается режимом солнечной активности и транслируется через циркуляцию воздушных потоков высокой атмосферы, определяющей интенсивность воздухообмена в зоне Сибирского максимума. Усиление воздухообмена в Сибирском максимуме под действием атмосферной циркуляции препятствует застою и выхолаживанию воздуха в приземных слоях атмосферы, что приводит к потеплению холодных сезонов и, как следствие, к снижению криогенного напора на участках образования наледей и сокращению объемов и площадей наледных тел. При ослаблении воздухообмена развивается обратный процесс.

4. Литература:

[1] Eigenson M. 1963 *The sun, the weather and theclimate* (Leningrad: Hydrometeorological Publishing House) 274 pp.

[2] Dyakov A.V. The Long-Term Weather Forcasting Based on the Sun-Earth Relationship (theory and practical results of 1943-1953). Polymax: Temir-Tau – Irkutsk, 1953/2011, 156 pp.

[3] Korsun’ A., Kurbasov G., and Neushkin A. Siberian Anticyclon: Multi-year Spatial and Temporal Relationships// Bulletin of the Kiev National Taras Shevchenko University. Astronomy, 49/2012, pp. 40-44.

[4] Pomortseva A.A., Pomortsev O.A., Roshin S.S., Trofimtsev Y.I. Dendrochronology Regression Models in Aufeis Formation Analysis // 2019 J. Phys. Conf. Ser. 1391 012041

[5] Pomortseva A.A., Pomortsev O.A. Regression Models of the Ice Dynamics Based on DendroindicationMaterials// Bulletin of North-Eastern Federal University, 2017, no. 3 (59), pp. 58-70.

[6] Atlas of the Snow and Ice Resources of the World. Volume 11, book 2. Moscow: Publishing house of the Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences, 1997, 270 pp.

УДК 551.34

ДИНАМИКА ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОРОД ДЕЯТЕЛЬНОГО СЛОЯ В ЮЖНОЙ ЧАСТИ ВЕРХОЯНО-ЧУКОТСКОЙ СКЛАДЧАТОЙ ОБЛАСТИ

Мария Рожина[1], Михаил Железняк[1], Сергей Гулый[2], Роберт Сысолятин[1]
1 Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, ул. Мерзлотная, 36, г. Якутск, 677010, Россия
2 Северо-Восточная научно-исследовательская мерзлотная станция Института мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, ул. Портовая, 16, г. Магадан, 685000, Россия

DYNAMICS OF THE ACTIVE LAYER'S TEMPERATURE IN THE SOUTHERN PART OF THE VERKHOYANO-CHUKOTKA FOLDED REGION

Mariia Rozhina[1], Mikhail Zheleznyak[1], Sergei Gulyi[2], Robert Sysolyatin[1]
1 Melnikov Permafrost Institute SB RAS, 36 Merzlotnaya St., Yakutsk, 677010, Russia
2 North-Eastern permafrost station of Melnikov Permafrost Institute SB RAS, 16 Portovaya St., Magadan, 685000, Russia

Annotation. The results of active layer's observations are summarized in the areas confined to the Southern part of the Verkhoyansk-Chukotka folded region. Researchers of the Melnikov Permafrost Institute SB RAS have annually collected soil temperature data at various depths in two geographically separate regions (the Verkhoyano-Kolyma folded Region and the Okhotsk-Chukotka volcanic belt) since 2007. Data from 15 sites (11- in the Verkhoyano-Kolyma folded region, 4 - in the Okhotsk-Chukotka volcanic belt) have various reactions of the active layer's temperature to recent climate changes.

Рассматриваемая территория охватывает Южную часть Верхояно-Колымской складчатой области и Центральную часть Охотско-Чукотского вулканогенного пояса. Она отличается разнообразием морфологии рельефа – характерно сложное чередование горных хребтов различной высотности, на котором развит аккумулятивный ледниковый рельеф. В работе рассматриваются среднегорный и низкогорный рельефы.

Среднегорный рельеф в наших исследованиях представлен участками «Лазурный» (абс. отм. 1100 м) и «Восточная Хандыга» (890-1890 м), которые приурочены к хр. Сунтар-Хаята (Верхояно-Колымская складчатая область).

На юго-востоке, прибрежная часть (Центральная часть Охотско-Чукотского вулканогенного пояса) характеризуется низкогорным рельефом, который в основном представлен водоразделами. В пределах этого региона оборудовано 3 наблюдательных участка: «Ольский перевал» (339-447 м), «Арманский перевал» (605 м) и «Перевал Хабля» (352 м).

Для более объёмной характеристики температурного режима деятельного слоя все площадки на ключевых участках оборудованы датчиками температуры на глубинах от 1 до 14,5 метров. Данные с основными параметрами участков приведены в Таблице 1.

На участке «Лазурный» зафиксирована максимальная мощность деятельного слоя в 2,5-3 м. Среднегодовая температура в пределах деятельного слоя (на 1 м) практически не меняется, и лежит в диапазоне от -5 до -6,5 °С за период 2010-2019 гг. Годовая амплитуда значений находится в диапазоне 35-43 °С. В общей сложности, отмечается тенденция к повышению температуры с трендом 1,5 °С/10 лет, также наблюдается прямая зависимость от температуры воздуха (пики на температурных графиках идентичны). Межсезонные изменения климата оказывают влияние на температуру пород до глубины 10 м [1].

Таблица 1

Основные параметры участков Южной части Верхояно-Чукотской складчатой области.

№ скв.	Участок и высота, м	Растительность	Рельеф	Гор. породы	Мощность ММТ, м	Мощность деят. слоя, м
			Верхояно-Колымская складчатая область			
1	Лазурный 1100	кустарниково-древесная	межгорный распадок	песчаники, алевролиты, глин. сланцы	220	около 2,5
			Восточная Хандыга			
	Водораздел 1750	кустарниково-древесная	водораздел	песчаники, алевролиты, глин. сланцы	неопр.	около 1
	Выровненный водораздел 1589	кустарниково-древесная	выровненный водораздел	песчаники, алевролиты, глин. сланцы	неопр.	около 1
	Водораздел 1386	кустарниково-древесная	водораздел	песчаники, алевролиты, глин. сланцы	неопр.	около 1
	Северный склон 1209	кустарниково-древесная	горный склон	песчаники, алевролиты, глин. сланцы	неопр.	около 1
	Нижняя часть склона 1010	кустарниково-древесная	горный склон	песчаники, алевролиты, глин. сланцы	неопр.	около 1
	Сильно увлажненная долина 963	кустарниково-древесная	речная долина	аллювий	неопр.	около 1
	Южный склон 936	кустарниково-древесная	горный склон	песчаники, алевролиты, глин. сланцы	неопр.	около 1
	Сильно увлажненная долина 904	кустарниково-древесная	речная долина	аллювий	неопр.	около 1
	Первая речная долина 890	кустарниково-древесная	речная долина	аллювий	неопр.	около 1
	Моренный вал 850	кустарниково-древесная	моренный вал	моренные отложения	неопр.	около 1
			Охотско-Чукотский вулканогенный пояс			
1-м	Ольский перевал 339	кустарниково-древесная	плоский водораздел	супесь, щебень	65	около 14,5
4-м	Ольский перевал 447	без растительности	плоский водораздел	песок, щебень	160	около 5
5-м	Арманский перевал 605	кустарниково-древесная	Ю подножье	супесь, щебень	90	около 6
3-м	Перевал Хабля 352	мохово-кустарниковый	склон сопки, болото	суглинок	талые породы	нет

Температура пород деятельного слоя на всех участках «Восточной Хандыги» имеет широкий диапазон изменений. Среднегодовая температура находится в диапазоне от -1,1 до -10.6 °С.

Варьируя в пределах 6-7 °С на сильно увлажненных участках, она может не достигать положительных значений на глубине 0,5-0,7 м. На водоразделах, породы могут прогреваться до 13 °С на глубине 1 м. В специфических зонах накопления крупнообломочного материала температура опускается до значений температуры воздуха. Мощность деятельного слоя варьирует от первых десятков сантиметров до 1,8-2 м. Минимальными значениями характеризуются сильно увлажненные площадки с моховым покровом. Мощность деятельного слоя в пределах моренных валов изменяется в пределах 1,5-1,7 м, на водоразделах, из-за сокращенного периода действия положительных температур не превышает 1,2-1,4 м [2].

Несмотря на схожие микроклиматические условия, литологический состав и территориальную близость обе площадки участка «Ольский перевал» (скв. 1-м и 4-м) имеют существенные различия в температурных режимах. Если в скважине 4-м отмечены температурные колебания на глубине 3 м, и на более глубоких горизонтах до 14,5 м температура не превышает 0°С, то скв. 1-м имеет полностью талый горизонт до 14, 5 м (на глубине 10 м грунты перестали промерзать с 2010 г, а на 14,5 м - с 2019 г) [1].

Наблюдения за температурой ММТ на участке «Арманский перевал» (скв. 5-м) начались значительно позже, в 2017 году. Мощность деятельного слоя составляет около 6 м, нижележащие горизонты круглогодично находятся в мерзлом состоянии. Но следует отметить, что измерения ведутся до глубины 6 м, где с самого начала наблюдений отчетливо наблюдался тренд к повышению температур: в 2017-2018 гг. на глубине 6 м породы находились круглогодично в мерзлом состоянии, а в 2019 г. температура перешла нулевую отметку в сторону положительных значений.

Полностью талый горизонт отмечается на участке «Перевал Хабля» (скв. 3-м). Участок характеризуется болотистой местностью с мохово-кустарниковой растительностью и наличием торфянистого покрова. С начала геотермических наблюдений на участке с 2007 г. выявлен выраженный тренд повышения температур на всех глубинах (от 0,3 до 2,2 °С/10 лет).

По результатам наблюдений за температурным режимом в Южной части Верхояно-Чукотской складчатой области установлено, что участки низкогорного и среднегорного рельефа имеют различные реакции на изменение климата.

На участке «Лазурный» и «Восточная Хандыга», которые характеризуются среднегорным рельефом, температура пород имеет широкий диапазон изменений: на сильно увлажненных участках она может не достигать положительных значений на глубине 0,5-0,7 м, на водоразделах - подниматься до 13 °С на глубине 1 м, в специфических зонах накопления крупнообломочного материала - опускаться до значений температуры воздуха.

В пределах низкогорного рельефа, который характеризуется участками «Ольский перевал», «Арманский перевал» и «Перевал Хабля», наблюдается тенденция к повышению температуры пород и мощности деятельного слоя, вследствие чего отмечается деградация мерзлоты с образованием слоя сезонного промерзания.

Литература:

[1] Rozhina M.S., Sysolyatin R.G., Zheleznyak M.N., Gulyi S.A. Dynamics of geocryological conditions in the continental and coastal territories of the southern part of the North-East of Russia / / Materials of the All-Russian Conference with International Participation "Stability of natural and technical systems in the cryolithozone" (September 28-30, 2020, Yakutsk) (in Russian)

[2] Sysolyatin R., Serikov S., Zheleznyak M. et al. Temperature monitoring from 2012 to 2019 in central part of Suntar-Khayat Ridge, Russia // Journal of Mountain Science, 17, 2321–2338 (2020) (translated from English).

УДК 631.416/417 (571.56-25)

МИКРОЭЛЕМЕНТНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА г. ЯКУТСК

Наталья Сивцева
ГБУ «Академия наук РС (Я)», пр. Ленина, 33, г. Якутск, 677007, Россия

MICROELEMENT CHARACTERISTICS OF THE SOIL COVER OF YAKUTSK

Natalia Sivtceva
Academy of Sciences of the Republic of Sakha (Yakutia), Yakutsk, 33 Lenin Ave., 677007, Russia

Annotation. This article presents the results of studies of the soil cover of the city of Yakutsk. Trace element characteristics of the state of soils are presented based on the results of the analysis of mobile forms of finding chemical elements in soils and soil-grounds. Based on the results of previous studies, a generalization was carried out with the formation of a database and the calculation of geometric mean values, which reflect the local background characteristics of the content of mobile forms of microelements in natural soils and in undisturbed landscapes of the study area.

1. Введение

В ландшафтно-климатических условиях Центральной Якутии растения слабо защищают поверхность почвы, которая легко становится достоянием ветра. В городских условиях ветер, перенося огромные массы глинистых, пылеватых и песчаных частиц, способствует разрастанию ареалов загрязнения. Вещества-загрязнители, переходя в труднорастворимые формы, могут накапливаться в почвенном слое многие годы. Следовательно, помимо прямого воздействия на почвенный и растительный покров в результате разрастания площади селитебной территории г. Якутск, аэрального пресса, влияния поверхностного и грунтового стоков, почва является не только депонирующей средой, но и вторичным источником загрязнения для сопредельных сред – растительности и донных отложений.

Целью эколого-геохимических работ на территории г. Якутска является оценка состояния почво-грунтов по содержанию подвижных форм микроэлементов. В целом за три года исследований (2017-2019 гг.) отобрано 167 проб почв и грунтов, из которых 24 пробы отобраны с ненарушенных и природных ландшафтов.

Подвижные формы микроэлементов определены атомно-абсорбционным методом на приборе МГА-915М, растворителем служила азотнокислая вытяжка (1Н HNO_3).

Для эколого-геохимической оценки использован коэффициент концентрации относительно локального фона (Кс) – это показатель кратности превышения содержания химического элемента в точке опробования над фоновыми значениями Кс = С/Сф. Значения фона для селитебной территории г. Якутска взяты по общей выборке (n = 24 пробы) отобранных в зональных типах почв природных ненарушенных ландшафтов территории Якутска.

Суммарный показатель загрязнения Zc характеризует уровень полиэлементной составляющей и применяется для селитебных и промышленных территорий. Рассчитывается для элементов, коэффициенты концентраций которых больше Кс>1,5. В подсчете Zc не включаются элементы с очень низким фоновым содержанием [1,2]. Расчет суммарного коэффициента загрязнения рассчитан по содержанию подвижных форм микроэлементов для каждой точки наблюдения. Zc представляет собой сумму коэффициентов концентрации (Кс) загрязнителей по отношению к фоновым значениям. Он рассчитывается по формуле:

$$(1)\quad Zc=Kc1+\cdots+Ki+\cdots+Kcn/(n-1)$$

где n — число определяемых компонентов, Ксi— коэффициент концентрации i-го загрязняющего компонента, равный кратности превышения содержания данного компонента над фоновым значением. В качестве оценки состояния почв применена ориентировочная шкала оценки загрязнения территории.

Для санитарно-гигиенической оценки состояния почвенного покрова использовались нормативы ПДК, коэффициент превышения ПДК (Кпдк) – это показатель кратности превышения содержания химического элемента в точке опробования над установленным нормативом ПДК для почв.

2. Основной раздел

На территории г. Якутска сформирован своеобразный почвенный покров, который представляет собой комплекс городских почв и почвоподобных образований с различной степенью нарушенности, перемешанности и наслоения почвенного материала. Естественные природные почвы сохранились в пределах рекреационных зон – это парк в центре города и небольшие участки леса, расположенные за пределами города. Природные почвы на пригородных территориях и лесах представлены в основном мерзлотными палевыми, мерзлотными аллювиальными почвами поймы и мерзлотными лугово-черноземными почвами террас. Вследствие сильного антропогенного и техногенного воздействия, все они испытывают трансформацию, происходит процесс загрязнения и ухудшения их агрохимических свойств. Большинство выбросов различных, в том числе и токсических веществ в городскую среду сосредоточиваются на поверхности почвы, где происходит их постепенное накопление. Это приводит к изменению химических и физико-химических свойств субстрата [3]. Поэтому почвы в пределах города обладают определенными специфическими свойствами, наиболее типичными из которых являются: наличие включений строительно-бытового мусора, повышенная уплотненность, накопление техногенных не характерных для почв веществ, тренд в сторону повышенной щелочности при оценке окислительно–восстановительных свойств. Вследствие чего, по основным физико-химическим показателям почвы города значительно отличаются от своих природных аналогов.

Результаты анализа основных физико-химических свойств города показал смещение реакции почвенной среды в щелочную сторону и снижение содержания органического вещества (Таблица 1).

Таблица 1

Средние значения основных физико-химических свойств.

	$pH_{вод}$	Сорг, %
Фон, n=24	5,8	5,2
Городские почвы, n=143	7,8	3,3

Результаты анализа подвижных форм микроэлементов выявил значительные превышения содержания элементов относительно локального фона (Таблица 2).

Таблица 2

Содержание подвижных форм микроэлементов в городских почвах, мг/кг.

	Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn
Фон, n=24	0,13	0,68	1,08	0,70	75,76	1,98	1,20	6,77
Городские почвы, n=143	0,27	1,48	1,53	3,31	124,48	3,57	3,30	10,95
$Кк_{фон}$	2,2	2,2	1,4	4,7	1,6	1,8	2,8	1,6

Расчёт коэффициента концентрации (Кк) относительно локального фона выявил высокое превышение по меди (более 4-х раз), остальные элементы находятся в пределах превышения в 2 раза.

Относительно норм ПДК превышения установлено по меди, по остальным элементам превышений не установлено.

Показатель суммарного загрязнения почвенного покрова на территории города рассчитан относительно локального фона. Результаты свидетельствуют, что данный показатель находится

в пределах умеренно опасной категории в 2017 и в 2019 годах, в 2018 году данный показатель находится в опасной категории за счет высокого содержания меди в почвах, отобранных с центра города (Таблица 3).

Таблица 3

Содержание подвижных форм микроэлементов в городских почвах, мг/кг

Год исследования	Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn	Zc
2017, n=90	2,25	1,82	1,31	-	1,15	1,73	2,59	7,59	15,97
2018, n=34	3,78	2,74	2,61	25,61	2,43	1,88	2,54	0,07	44,14
2019, n=19	1,02	3,17	2,02	2,56	1,83	2,52	2,94	2,53	17,58

3. Выводы

Таким образом, по результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы: почвы территории г. Якутска в отличие от ненарушенных природных почв характеризуются слабощелочной реакцией среды с низким содержанием органического вещества, с разной степенью засоленности, что в свою очередь создает условия для накопления тяжелых металлов, являющихся продуктом антропогенной деятельности. Наиболее активно в условиях города накапливаются такие элементы как свинец, цинк и медь. В результате многолетнего мониторинга состояния почв города Якутска, можно утверждать, что в целом территория находится в пределах допустимой категории загрязнения, но наблюдаются изменения в сторону ухудшения состояния.

4. Литература:

[1] Sayet J.E. Geochemical assessment of technogenic load on the environment // Geochemistry of landscapes and geography of soils. – M.: 1982, pp. 84 – 100.

[2] Revich B.A., Saет Yu.E., Smirnova E.K. Methodological recommendations for the geochemical assessment of urban pollution with chemical elements. M., 1998.

[3] Gerasimova M. I., Stroganova M. N., Mozharova N. V., Prokofieva T. V. Anthropogenic soils: genesis, geography, reclamation / Dobrovolsky G. V. Smolensk: Oikumena 2003, 268 pp.

УДК 553.495:504.062

РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОБСТАНОВКА МОНАЦИТОВЫХ РОССЫПЕЙ В ЮЖНОЙ ЯКУТИИ

Петр Собакин
Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, пр. Ленина, 41, г. Якутск, 677980, Россия

RADIOECOLOGICAL SITUATION OF MONAZITE PLACERS IN SOUTHERN YAKUTIA

Peter Sobakin
Institute of Biological Problems of the Cryolithozone SB RAS, 41 Lenin Ave., 677980, Yakutsk, Russia

Annotation. The article presents the results of radioecological studies conducted in monazite placers in the Aldan Highlands located along the Amur-Yakut highway. The work included radiometric measurements carried out in the valleys and watersheds of rivers on an arbitrary network using a portable radiometer SRP-68-01 and a gamma-ray spectrometer MKS-AT-6101D with the fixation of geographical coordinates by GP-navigator. It is shown that the main dose of gamma radiation in placer areas and technogenic areas is formed by thorium. According to the value of the effective specific activity of radionuclides, alluvial deposits of rivers correspond to different classes of building materials. The detected areas with increased values of the dose rate of gamma radiation of natural and man-made origin with constant visits to them by people can become additional sources of radiation.

1. Введение

Первые поисково-разведочные работы на россыпях монацита в Алданском нагорье в южной части Якутии проведены в 30-40-х годах прошлого века. В результате было установлено широкое распространение в аллювиальных отложениях монацита в Алданском, Тыркандинском, Учурском, Сутамском и других рудных районах [1]. Позже, в 1947-1950 гг. Таёжной геологоразведочной экспедицией выявлены, разведаны и подсчитаны запасы монацита на двух участках Алданского рудного района. В пределах Центрального участка изучены россыпи: Керакская, Николкинская, Васильевская, Михайловская, Малолеглиерская, Малонимнырское и др.; на Южном участке изучены россыпи: Хатыминская, Кавахтинская, Джектологинская, Нергинская и др. [2]. Всего на Алданском щите исследовано 205 долин. С промышленными концентрациями оказалось 149. В связи с возможностью использования тория в атомной промышленности Правительством СССР в 1949 г. было принято решения начать добычу монацита на р. Васильевка (правый приток р. Ороченка) Якутской АССР. Однако со временем необходимость в торийсодержащем сырье отпала и, соответственно, в 1952 г. добыча монацита была прекращена [2]. В настоящее время опубликованных в открытой печати данных о масштабах разработки россыпей монацита в Алданском нагорье и их технологии добычи не имеются. Судя по характеру выполненных работ, можно предположить, что на двух участках долин добыча монацита из россыпей велись подземным и открытым способами. На месте разработки месторождения Васильевка можно обнаружить законсервированные шахты с эфельными хвостами, разрушенные бараки, остатки здания обогатительной фабрики с отвалом обогащенных песков и вскрышные породы, складированные по береговой зоне реки [3-5]. В долине р.Малый Нимныр сохранились отвалы вскрышных пород и эфельные хвосты, сформированные в процессе промывочных работ.

2. Результаты и обсуждение

Радиометрическими исследованиями охвачены пойменные и надпойменные участки долин рек

Большой Нимныр, Керак, Николкин ключ, Васильевка, Ороченка и Малый Нимныр. При этом мощность экспозиционной дозы γ-излучения измеряли с помощью радиометра СРП-68-01, концентрацию естественных радионуклидов (^{40}K, ^{238}U (по ^{226}Ra) и ^{232}Th) спектрометром МКС-АТ-6101Д. Согласно методике, измерения выполнены на ровной поверхности русел и слабозадернованной части террас рек по произвольной сети наблюдения. Отдельные маршрутные радиометрические замеры выполнены на промплощадках (шахт, фабрика) месторождении Васильевка и на выходах кристаллических пород (граниты, кристаллические сланцы и гнейсы) водоразделах. Расстояние между точками измерения варьировало от 5 до 200 м.

Таблица 1

Мощность экспозиционной дозы, содержание и эффективная удельная активность радионуклидов в аллювиальных отложениях рек.

Река	n*	Мощность дозы, мкР/ч	^{40}K	^{238}U	^{232}Th	Аэфф.,
			n·10^{-4} %			Бк/кг
Большой Нимныр	13	45±35**	4,6±0,9	2,4±1,7	75±80	527±438
		18-150	3,1-6,5	0,5-5,1	14-310	227-1863
Керак	12	32±16	3,3±1,3	0,9±0,7	65±41	425±214
		16-70	1,2-5,0	0,5-2,8	21,3-160	166-924
Николкин Ключ	17	59±36	2,7±1,8	1,9±2,0	118±112	701±553
		24-140	0,4-5,4	0,5-5,2	16-390	236-2060
Васильевка	16	105±95	3,0±1,0	8,2±12,7	345±800	1290±1435
		30-420	0,5-3,7	0,5-17,1	27-1140	232-6261
Ороченка	9	50±20	2,6±0,9	2,1±1,2	104±71	628±366
		30-82	1,7-4,2	0,5-3,7	28-220	243-1227
Малый Нимныр	34	43±24	3,7±1,1	3,6±3,2	65±57	468±286
		17-140	1,2-4,7	0,5-14,1	17-308	195-1652

Здесь и далее: *n – число измерений; **в числителе – среднее и его ошибка, в знаменателе – пределы колебания.

Результаты исследования показали, что в изученных долинах рек величина мощность экспозиционной дозы γ-излучения изменяется от 16 до 420 мкР/ч (таблица 1). Отметим, что в 2019 г. радиационный фон на территории Республики Саха (Якутия) находился в пределах 6-33 мкР/ч, в среднем 12 мкР/ч [6]. На обследованных участках долин рек величина мощности дозы γ-излучения по сравнению среднему показателю по Республике повышено до 35 раз. При этом содержание ^{40}K в аллювиальных отложениях пойм и надпойменные террасы изменяется от 0,4 до 6,5·10^{-4} %, ^{238}U – от 0,5 до 17,1·10^{-4} %, а ^{232}Th – от 14 до 1140·10^{-4} % (таблица 1) т.е. в 16-81 раз. Такой широкий диапазон изменения концентраций естественных радионуклидов (ЕРН) в аллювиях тесно связаны наследованием ими радиогеохимического состава горных пород, слагающих водосборные площади и особенностями формирование россыпей. В районе исследования полевыми гамма-спектрометрическими измерениями нами установлено, что в кристаллических сланцах и гнейсах водораздельных пространств в основном характерны нормальные фоновые концентрации ЕРН, то в гранитах свойственны повышенные содержание тория, частично и урана. Например, в гранитных породах водоразделах рек Большой Нимныр, Васильевка и Николкин ключ концентрация тория составляет 30-390·10^{-4} %. В аллювиях изученных рек аномальные содержания тория и урана их кларковые величины в горных породах (10·10^{-4} % и 2,5·10^{-4} %) превышают до 110 и 6 раз соответственно. Высокие содержания тория в аллювиальных отложениях объясняются накоплением монацита в аллювиях вблизи источников – гранитных массивов, вследствие его устойчивости к выветриванию и большого удельного веса минерала, способствующей его осаждению при водном переносе. Как известно, что среди множества ЕРН входящих в состав горных пород и почв, по вкладу внешнего фонового облучения доминируют три группы γ-излучателей: ^{40}K, члены уранового и ториевого рядов. В условиях радиоактивного равновесия всех дочерних продуктов в этих рядах их вклады составляют 35, 25 и 40 % соответственно [7]. Однако это соотношение может существенно

изменяться в зависимости от конкретной радиогеохимической обстановки территории. Расчеты, выполненные используя дозовые эквиваленты ^{40}К, ^{238}U и ^{232}Th приведенные в работе [8] и их концентраций в аллювиальных отложениях показывают, что в исследованных долинах рек величину мощности экспозиционной дозы в основном формируют γ-излучения тория, в среднем – 85 %. На долю γ-излучений калия и урана приходится 10,8 и 4,2 %, соответственно, от величины общей мощности дозы излучения. Кроме измерений мощности экспозиционной дозы и определения концентраций ЕРН в аллювиальных отложениях, также оценивали и эффективную удельную активность радионуклидов по формуле, принятой в нормах радиационной безопасности [9]: $A_{эфф.}=A_{Ra}+ 1,3A_{Th}+ 0,09A_K$, где A_{Ra} и A_{Th} – удельные активности ^{226}Ra и ^{232}Th, находящихся в равновесии с остальными членами уранового и ториевого рядов, A_K – удельная активность ^{40}К (Бк/кг). В настоящее время значение эффективной удельной активности радионуклидов является основной определяющей характеристикой класса строительных материалов (щебень, гравий, песок, бутовый и пиленый камень и др.). Эффективная удельная активность радионуклидов в аллювиальных отложениях на обследованной территории изменяется в широком диапазоне от 166 до 6261 Бк/кг (Таблица 1). На исследованных участках долин рек аллювиальные отложения (пески, галечники и валунники) по Аэфф., в основном, относятся к первому, второму и третьему классу (166-1500 Бк/кг) строительных материалов, имеющих допуск к использованию в дорожном строительстве внутри и вне населенных пунктов, а также при возведении производственных и жилых зданий. В отдельных участках долин вышеназванные строительные материалы могут быть не пригодным к использованию в строительстве, т.е. их Аэфф. превышает 4000 Бк/кг – максимально допустимую норму, установленную санитарно-эпидемиологической службой. Эффективная удельная активность радионуклидов вскрышных породах и эфельных хвостах складированных береговой зоне рек и промплощадках шахт, не превышают 1500 Бк/кг. Данные отвалы по величине Аэфф. соответствуют ко второй и третьей классу (370-1500 Бк/кг) строительных материалов. Отвал песков, обогащенный торием по значению Аэфф. в основном относится к четвертому классу (1500-4000 Бк/кг) строительных материалов, у которых вопрос об использование материалов решается в каждом случае отдельно на основании санитарно-эпидемиологического заключения федерального органа исполнительной власти, уполномоченного осуществлять государственно-эпидемиологический надзор [9]. В отдельных участках песчаного отвала величина Аэфф. превышает норму, установленную для строительных материалов. Вместе с тем, в связи с неизвестностью использования песчаного отвала в ближайшее время по назначению и высокой удельной активностью у него тория превышающий его минимальный значимый удельный активность (1000 Бк/кг) данное техногенное образование можно рассмотреть, как радиоактивный отход. Согласно ОСПОРБ 99/2010 к радиоактивным отходам относятся не предназначенные для дальнейшего использования вещества в любом агрегатном состоянии, в которых сумма отношений удельных активностей радионуклидов к их минимально значимую удельную активность (МЗУА) превышает 1 [10]. На промплощадок шахт и фабрики расположенных в районе разработки месторождение Васильевка мощность экспозиционной дозы γ-излучения на поверхности почвогрунтов изменяется от 34 до 1600 мкР/ч (Таблица 2).

Таблица 2

Мощность экспозиционной дозы, содержание и эффективная удельная активность радионуклидов в почвогрунтах месторождении Васильевка.

Промплощадка	n	Мощность дозы, мкР/ч	^{40}К	^{238}U	^{232}Th	Аэфф., Бк/кг
			n·10^{-4} %			
Шахта 1	13	310±192	3,3±1,5	14,8±10,8	761±576	4244±3116
		90-720	2,3-6,6	0,4-37,3	151-1300	1024-12242
Шахта 2	15	280±219	4,4±3,0	53±87	570±656	3737±3687
		64-740	1,3-11,4	2-271	115-2670	715-14158
Шахта 3	8	135±32	2,0±0,8	2,4±1,4	283±87	1557±449
		96-178	0,6-3,5	1,2-5,4	184-394	1028-2043
Фабрика	18	235±426	2,6±0,8	9,9±8,1	639±1714	3516±8936

	34-1600	1,4-4,2	2,7-32,0	11-6300	172-33006

При этом эффективная удельная активность радионуклидов в почвогрунтах колеблется от 715 до 33006 Бк/кг. По данному показателю большая часть почвогрунтов не пригодна к использованию в строительных работах. В промплощадках загрязнения почвогрунтов торием, частично и ураном имеют пятнистый характер и приурочены в пределах не больших по площади участках 160-1100 м^2. Самые интенсивные радиоактивные аномалии, обнаруженные возле обогатительной фабрики по величине мощности дозы γ-излучения, составляют 1200-1600 мкР/ч. Здесь на поверхности почвогрунтов почти 100 % мощности дозы составляет γ-излучения тория. Появления техногенной радиоактивной аномалии на территории фабрики, видимо, связано с рассыпанием высокообогащенных торием шлихов после магнитной сепарации. Поэтому концентрация тория в почвогрунтах достигает до 4200-6300·10^{-4} % т.е. 0,4-0,6 %. На обследованных промплощадках почвогрунты по величине удельной активности тория в большинстве превышают его МЗУА и соответственно относятся к радиоактивным отходам. Так как до настоящего времени какие-либо дезактивационные работы на территории шахт и фабрики не проводились, радиоактивно загрязненные почвогрунты и отвал обогащенных песков могут стать дополнительными источниками внешнего облучения людей γ-излучением в случае нахождения рядом с ними. Район исследования активно используется как территория любительской и промысловой охоты и рыбалки, а также как ягодные и грибные угодья. Велика вероятность проникновения людей на участки радиоактивного загрязнения возле законсервированных шахт и здания фабрики. Этому также способствует расположение монацитовой россыпи рядом с федеральной Амуро-Якутской автомобильной трассой.

3. Выводы

В настоящее время радиоэкологическая обстановка на исследованных участках монацитовых россыпей в Алданском нагорье остаются сложной. Высокая дифференцированность концентраций тория в аллювиальных отложениях долин и техногенных образованиях (вскрышные породы, эфельные хвосты, почвогрунты и обогащенные пески) создает значительную пятнистость дозы γ-излучения в местности. В долинах изученных рек аллювиальные отложения (пески, галечники и валунники) по величине Аэфф. соответствуют к разным классам строительных материалов. При этом в отдельных случаях в них значения Аэфф. может превышать санитарно-эпидеомологические нормы. В настоящее время многие россыпи монацита в южной Якутии остаются в радиоэкологическом плане вообще не изученным. Отсутствие информаций о место расположения россыпей и их радиоактивности иногда способствуют несанкционированному использованию высокорадиоактивные аллювиальные отложения в строительные работы. Так случилось в г. Алдане в Алданском районе Республики Саха (Якутия), когда песок, добытый из местного карьера, был использован при внутреннем оштукатуривании жилых домов, что привело к увеличению радиационного фона помещений, и соответственно способствовало дополнительному облучению людей [11]. Сложившаяся радиоэкологическая ситуация в монацитовых россыпях в южной части Якутии требуют особого внимания специалистов по охране окружающей среды и Роспотребнадзора.

4. Благодарности

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по проекту: №0297-2021-0027, ЕГИСУ НИОКТР №АААА-А21-121012190033-5.

5. Литература:

[1] Goroshko M.V., Malyshev Yu.F., Kirillov V.E. Metallogeny of uranium of the Russian Far East. Moscow: Nauka, 2006, 272 pp.

[2] Pyatov E.A. The country needed uranium. History of geological exploration for uranium in the USSR. Edited by G.A. Mashkovtsev. Moscow: VIMS, 2005, 246 pp.

[3] Sobakin P.I., Molchanova I.V. Migration natural heavy radionuclides in the soil and pland cover under conditions of technogenic pollution // Russian Journal of Ecology. 1998, vol. 29, no. 2, pp. 81-84 (in Russian)
[4] Sobakin P.I., Gerasimov Ya.R., Perk A.A. Radioecological situation of geological exploration and production of radioactive raw materials in Yakutia / / Atomic Energy. 2014. vol. 117. no. 4. pp. 235-238 (in Russian)
[5] Sobakin P.I., Gerasimov Ya.R., Perk A.A. Radioecological situation in the monazite placer area in Southern Yakutia // Geochemistry. 2019, vol. 64, no. 4, pp. 440-448 (in Russian)
[6] Brief state report on the environmental situation in the Republic of Sakha (Yakutia) in 2019 / Government of the Republic of Sakha (Yakutia) Ministry of Ecology, Nature Management and Forestry of the Republic of Sakha (Yakutia). [Electronic resource]. URL: https://minpriroda.sakha.gov.ru/doklady-o-sostojanii-okruzhajuschej- sredyhttps (in Russian)
[7] Sivintsev Yu.V. Natural radiation background // Atomic Energy. 1988, vol. 64, no.1, pp. 46-56.
[8] Sources and effects of ionizing radiation. UN Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. UNSCEAR 1977 Report to the General Assembly with Scientific Annex “Effects of Radiation on the Environment”, United Nations. New York, 1977, 114 pp.
[9] Radiation safety standards (NRB-99/2010): Hygiene standards. - Moscow.: Center for sanitary and epidemiological regulation, hygienic certification and expertise of the Ministry of health of Russia, 2010, 72 pp (in Russian)
[10] Basic sanitary rules for radiation safety (OSPORB-99/2009). SP 2.6.1.799-99. - Moscow: Federal center for hygiene and epidemiology of Rospotrebnadzor, 2009, 83 pp (in Russian)
[11] Sobakin P.I., Chevychelov A.P., Ushnitsky V.E. Radioecological situation on the territory of Yakutia. Radioecology. 2004, vol. 44, no. 3, pp. 283-288 (in Russian)

УДК 551.34

ПАЛЕОКЛИМАТ И КРИОЛИТОЗОНА ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ В ПОЗДНЕМ ПЛЕЙСТОЦЕНЕ И ГОЛОЦЕНЕ

Никита Тананаев[1], Павел Котов[2]

1 Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, ул. Мерзлотная, 36, г. Якутск, 677010, Россия

2 Московский государственый университет им. М.В.Ломоносова, ГСП-1, Ленинские горы, 1, г. Москва, 119991, Россия

PALEOCLIMATE AND PERMAFROST DEVELOPMENT IN CENTRAL YAKUTIA IN LATE PLEISTOCENE AND HOLOCENE

Nikita Tananaev[1], Pavel Kotov[2]

1 Melnikov Permafrost Institute SB RAS, 36 Merzlotnaya St., Yakutsk, 677010, Russia

2 Lomonosov Moscow State University, GSP-1, 1 Leninskie Gory, Moscow, 119991, Russia

Annotation. Numerous icing valleys are carved into the surface of the fourth Lena R. fluvial terrace, also known as Bestyakh terrace. Modelling of ground thermal regime within the Bestyakh terrace was based on PMIP3-based paleoclimate reconstructions from the Last Glacial Maximum, about 22000 yr BP toward contemporary climate. Under the Holocene optimum, about 6000 yr BP, intrapermafrost taliks could be sustained where the valley incision in the discharge zone was highest, i. e. in the southern section of the studied Lena R. reach, where Buluus, Ulakhan-Taryn and Eryuu springs and icing valleys are currently active. In the northern section, the groundwater flow and related convective heat release were insufficient to maintain the talik zones, which were subsequently refreezing around 4500 yr BP. Under current climate some taliks, e. g. in the Sullar valley, have recently become active and maintain both steady groundwater flow, talik thickness and winter icings.

1. Введение

Правобережье р. Лена на участке от устья р. Буотама до устья р. Алдан в пределах IV (Бестяхской) надпойменной террасы – область распространения уникальных межмерзлотных таликов, нетипичных для остальной территории центральной Якутии, и приуроченных к таликам межмерзлотных водоносных горизонтов. Подземные воды этих горизонтов разгружаются повсеместно вдоль тылового шва долины Лены в форме источников, некоторые из которых – Булуус, Улахан-Тарын, Суллар, Ерюю – широко известны, и образуют крупные наледи подземных вод. Происхождение водоносных горизонтов связано с историей развития криолитозоны, но конкретные механизмы этой взаимосвязи пока неясны. В данной работе мы пытаемся изложить историю развития многолетнемерзлой толщи на IV нпт р. Лена, опираясь на данные палеоклиматических реконструкций и математического моделирования температуры горных пород.

Палеоклиматические модели, использованные в работе, входят в состав PMIP3/CMIP5 – международного проекта сравнения моделей общей циркуляции атмосферы и океана. Модельные данные находятся в открытом доступе в нескольких репозиториях, для целей этой работы использован репозиторий Ливерморской национальной лаборатории им. Э. Лоуренса (https://esgf-node.llnl.gov/projects/esgf-llnl/). Модельные расчеты палеоклиматических условий сделаны в рамках трех экспериментов, для которых здесь приведены названия и соответствие временным срезам: lgm – последний ледниковый максимум, около 21 тыс. л.н.; midHolocene – климатический оптимум голоцена, около 6 тыс. л.н.; past1000 – доиндустриальное тысячелетие в интервале с 850 по 1850 г.

Моделирование теплового режима ММП выполнялось в моделях с открытым исходным кодом PFLOTRAN (Сандийская национальная лаборатория, США) и QFrost (кафедра геокриологии

МГУ им. М.В. Ломоносова). Геологическая модель была разработана на основе литературных данных и собственных полевых исследований [1].

2. Геологическая история участка исследований

Основная толща отложений, слагающих объем Бестяхской террасы, накопилась крайне быстро, в течение нескольких тысяч лет в финале сартанского периода, как можно представить из общей истории региона и имеющихся датировок [2]. Некалиброванные радиоуглеродные даты из нижней части обнажения «Песчаная гора» в среднем течении р. Лена попадают в интервал от 14 до 17 тыс. л.н., или несколько древнее с учетом калибровки. Некалиброванные радиоуглеродные даты из нижней части обнажения «Песчаная гора» в среднем течении р. Лена попадают в интервал от 14 до 17 тыс. л.н., или несколько древнее с учетом калибровки. В серо-желтых кварцевых песках в основании террасы в районе пос. Нижний Бестях определена ОСЛ-дата 27,6±2,2 тыс. л. (RLQG 2266-025), в переработанных песках верхов обнажения – ОСЛ-дата 6,1±0,5 тыс. лет (RLQG 2267–025) [3]. Следовательно, можно предполагать, вслед за авторами [4], что аккумуляция основного объема отложений IV нпт заняла сравнительно короткое время в конце позднего плейстоцена, приблизительно в период с 28 до 20 тыс. л.н. В то же время верхняя часть разреза формировалась уже в голоцене, в том числе с участием эолового переноса и термокарстовой переработки поверхности.

3. Палеоклимат центральной Якутии

Климатические условия позднего плейстоцена скудно описаны в литературе. В последний ледниковый максимум, по данным реконструкции [5], в центральной Якутии преобладали холодные степи, постепенно замещаемые лиственичниками и березой к границе верхнего плейстоцена и голоцена. Палеоклиматические модели PMIP3 характеризуют климатические условия последнего ледникового максимума на территории центральной Якутии различно. Все модели оценивают среднегодовую температуру воздуха ниже климатической нормы (-10,0 °C, 1961-1990), с большим межмодельным разбросом: от -11,4 °C до -21,4 °C. Большинство моделей предполагает зимние условия, сопоставимые с современными, и значительно более низкие температуры летом и в переходные сезоны.

Переход от позднего плейстоцена к голоцену, между 11 тыс. и 9 тыс. л.н., сопровождался зарождением и развитием термокарстовых озер в центральной Якутии, как на правом, так и на левом берегу р. Лена. На правобережье Лены на развитие термокарстовых озер указывают датировки отложений аласа Маралайы на севере Центральной Якутии, вблизи устья р. Мыла, впадающей в Алдан [6]. На левом берегу р. Лена, в целом меньше переработанном термокарстовыми процессами, имеется датировка органики из базальных песков в донных отложениях оз. Сугун (дачные массивы вдоль Вилюйского тракта) – 12,64 тыс. л.н. [2]. Быстрое развитие термокарстовых котловин постепенно затухло к 9 тыс. л.н., и затем возобновилось ближе к климатическому оптимуму голоцена. В этот период, начиная с 7 тыс. л.н., отмечено интенсивное развитие сосны *Pinus sylvestris* на песчаных почвах центральной Якутии [5,6], а также зарождение многих аласных котловин, в частности, детально изученного аласа Хара-Булгуннях неподалеку от с. Майя. Начало развития термокарста относится к периоду между 6,75 тыс. и 6,5 тыс. л.н., а его затухание наблюдалось между 6,35 тыс. и 5,87 тыс. л.н. [2]. По данным климатического моделирования, оптимум голоцена характеризовался условиями, сравнимыми с современными или теплее них. Средняя по ансамблю среднегодовая температура воздуха сравнима с климатической нормой, более мягкие зимние месяцы соседствуют с более холодными, чем в 1961-1990 гг. переходными сезонами. Межмодельный разброс также велик, от -6,8 °C до -14,3 °C, то есть некоторые модели предполагают климат холоднее современного, что противоречит реконструкциям, основанных на анализе спорово-пыльцевых диаграмм и видового состава фораминифер.

4. Реконструкция мерзлотных условий

Моделирование температуры пород выполнялось по трем палеоклиматическим сценариям и шести моделям (Таблица 1), период моделирования в каждом случае составил 1000 лет. Распределение температур, полученное для каждого предыдущего сценария, использовалось как начальные условия при расчетах по следующему во времени сценарию.

Таблица 1

Температура горных пород на различных глубинах по данным моделирования.

Модель	FGOALS		IPSL		MIROC		MPI		MRI		CSIRO	
Глубина	14 м	40 м	14 м	40 м	14 м	40 м	14 м	40 м	14 м	40 м	14 м	40 м
lgm	-14,7	-14,75	-1,59	0	-12,66	-12,88	-7,00	-7,29	-7,27	-7,21	-	-
midHolocene	-2,48	-2,14	0	0	-1,47	-1,77	-1,27	-0,94	-1,92	-1,8	-0,27	-0,21
past1000	-0,82	-0,80	-0,53	0	-2,82	-2,64	-1,29	-1,47	-3,00	-3,1	-0,80	-0,86

По результатам моделирования, в модели IPSL толща отложений не промерзает полностью даже в последний ледниковый максимум, а в климатическом оптимуме голоцена реликт мерзлоты существует только на глубинах от 18,2 до 35 м. Во всех остальных сценариях в климатическом оптимуме голоцена формирование талика в первых 40 м разреза было маловероятно, однако возможно на больших глубинах, согласно более реалистичным сценариям. В индустриальную эпоху, после окончания Малого ледникового периода, наблюдается рост температуры воздуха, вследствие чего устойчивый межмерзлотный талик к 2019 г. появляется в интервале от 20 до 36 м, в зависимости от модели.

5. Заключение

Полученные результаты позволяют сделать следующие заключения относительно динамики климата и эволюции криолитозоны на IV нпт р. Лена. Толща отложений, слагающих террасу, накопилась в течение финала сартанского периода и довольно быстро полностью промерзла. Песчаный состав отложений сравнительно суровые климатические условия привели к тому, что массивные подземные льды в отложениях IV нпт встречаются лишь локально и возникли, видимо, позже этого времени. Начиная с 11 тыс. л.н. и особенно интенсивно в период климатического оптимума голоцена активно развивались термокарстовые озера и талики под ними, можно предположить, что локально они могли становиться сквозными уже в это время. В таком случае они могли соединяться с межмерзлотными таликами и разгружаться по ним в сторону тылового шва долины р. Лена, однако активная миграция влаги и разгрузка в долину Лены могли происходить лишь в тех долинах, которые были в это время врезаны глубже 40-45 м (расчетная кровля межмерзлотной таликовой зоны). Такие условия могли сложиться лишь в верхней части исследуемого участка, в зоне сопряжения террасы с Приленским плато. Именно к этой области и приурочены хорошо развитые долины ручьев Ерюю, Булуус и Улахан-Тарын – очевидно, начало их развития относится именно к финалу климатического оптимума голоцена. В то же время к северу от долины руч. Улахан-Тарын современных наледных долин немного, и все они имеют крайне небольшие размеры. Вероятно, долины с небольшой областью питания, неспособной обеспечить необходимый для поддержания талика дебит, быстро затухли.

Последовавшее затем похолодание затормозило развитие таликов, которые могли быть частично уже обводнены и потому крайне инерционны с точки зрения тепловых процессов. Оно возобновилось вновь в индустриальное время. Потепление последнего столетия привело к повсеместному развитию таликов и в северной части участка. Кровля их поднялась выше 40 м, однако, как показали наши расчеты, такой подъем возможен только при условии значительного конвективного теплообмена межмерзлотного водоносного горизонта с окружающей мерзлой толщей. На роль конвективного теплообмена указывает и современная мощность верхнего горизонта мерзлой толщи, равная 16 м, и её отклонение от смоделированных значений (от 20 до 36 м). Межмерзлотные воды разгружаются в долину Лены под значительным гидростатическим давлением, однако активная циркуляция в таких таликах по-прежнему возможна только в

долинах с расходом либо площадью сечения фильтрационного потока, обеспечивающими достаточный дебит источников и, соответственно, значительную теплоотдачу в окружающие грунты. Таким условиям в настоящее время удовлетворяет только источник Суллар и его наледная долина, активно развивающиеся в последние десятилетия.

6. Благодарности

Исследование выполнено при совместной финансовой поддержке РФФИ и Правительства РС(Я), проект №18-45-140029.

7. Литература:

[1] Tananaev, N.I., Kotov, P.I., Gagarin, L.A., Varlamov, S.P., Bazhin, K.I. Modelling thermal regime in the intrapermafrost talik of the Ulakhan-Taryn R. valley, central Yakutia // In: Abstracts, 'Geology and Mineral resources of North-eastern Russia', Vol. 2. Yakutsk: NEFU Publ., 2019, pp. 214–217 (in Russian)

[2] Tananaev, N.I. Radiocarbon dates from Central Yakutia, v.1.0. figshare, Dataset, 2021, https://doi.org/10.6084/m9.figshare.14261372.v2

[3] Pravkin, S.A., Bolshiyanov, D.Yu., Pomortsev, O.A., Savelyeva, L.A., Molod'kov, A.N., Grigoriev, M.N., Arslanov, Kh. A. The relief, structure and age of Quaternary deposits of the valley of the Lena River in the Yakutian bend // Vestnik of St Petersburg University, Earth Sciences, vol. 63, Is. 2, https://doi.org/10.21638/11701/spbu07.2018.206 (in Russian)

[4] Péwé T., Journaux A. (1983) Origin and character of loesslike silt in unglaciated south-central Yakutia, Siberia, U.S.S.R., USGS Professional Paper 1262, USGS Print., Reston, VA, 1983, 46 pp. https://pubs.er.usgs.gov/publication/pp1262

[5] Katamura F., Fukuda M., Bosikov N., Desyatkin N. Forest fires and vegetation during the Holocene in central Yakutia, eastern Siberia // Journal of Forest Research, 2009, vol. 14, pp. 30–36, https://doi.org/10.1007/s10310-008-0099-z.

[6] Katamura F., Fukuda M., Bosikov N.P., Desyatkin R.V., Nakamura T., Moriizumi J. Thermokarst formation and vegetation dynamics inferred from a palynological study in Central Yakutia, Eastern Siberia, Russia, Arctic, Antarctic and Alpine Research, 2006, vol. 38(4), pp. 561–570.

УДК 551.328.2

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ЛЬДОВ И ОТЛОЖЕНИЙ ОБНАЖЕНИЯ «МАМОНТОВА ГОРА» В СВЯЗИ С ИХ ГЕНЕЗИСОМ

Никита Тананаев[1], Мария Чербунина[2]

1 Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, ул. Мерзлотная, 36, г. Якутск, 677010, Россия

2 Московский государственый университет им. М.В. Ломоносова, ГСП-1, Ленинские горы, 1, г. Москва, 119991, Россия

ICE AND SEDIMENT CHEMISTRY IN THE MAMONTOVA GORA OUTCROP IN RELATION TO THEIR ORIGIN

Nikita Tananaev[1], Maria Cherbunina[2]

1 Melnikov Permafrost Institute SB RAS, 36 Merzlotnaya St., Yakutsk, 677010, Russia

2 Lomonosov Moscow State University, GSP-1, 1 Leninskie Gory, Moscow, 119991, Russia

Annotation. Mamontova Gora is an extensively studied outcrop exposing the Neogene-Quaternary sedimentary structure of the Lena-Aldan interfluve. In this outcrop, a two-layered wedge ice section was sampled for ice and sediment chemistry. Chemical composition and major ion ratios, i. e. high sodium content, increased Cl^- content unrelated to SO_4^{2-} content, and overall heterogeneity in ice chemistry suggest the ice origin from epigenetic freezing of the water-abundant sub-lacustrine talik (lower section), with visible interference with surface runoff or lace water (upper section, contemporary water samples). Other proxies must be used to infer ice origin from chemical composition, as the insights from basic chemistry data are inconclusive.

1. Введение

В центральной Якутии широко распространены ультральдистые поверхностные отложения различного генезиса, вмещающие значительные объемы подземных льдов, генезис которых, весьма вероятно, также различен [1]. Разрез обнажения Мамонтова гора – один из опорных разрезов для стратиграфии неоген-четвертичного времени в данном регионе. Обнажение расположено в нижнем течении р. Алдан, вблизи с. Усть-Татта, и в нём представлен полный пойменно-террасовый комплекс, включающий современную пойму, низкую террасу высотой от 6 до 9 м над урезом высоких вод, и террасы высотой 15, 30, 50 и 80 м. В отложениях 50-тиметровой террасы ранее было отмечено два яруса жильных льдов [2]; общая видимая мощность отложений с повторно-жильными льдами составляет от 8 до 10 м. Нижний горизонт представлен сильнольдистыми суглинками вмещающими широкие ледяные жилы, их видимая вертикальная мощность около 5 метров, ширина достигает 3 метров, ширина грунтовых блоков между жилами составляет 6-10 м. Лед содержит большое количество суглинистых частиц, включений пузырьков льда. Верхний горизонт представлен жилами более тонкими и менее мощными, их длина меньше 3 метров, ширина до 1 м в верхней части жилы, вмещающие суглинки содержат значительные включения органики (растительные остатки), лед молочно-белый, с большим включением пузырьков. Поверх верхнего яруса ПЖЛ лежат покровные суглинки предположительно голоценового возраста. Образцы жильного льда обоих ярусов, а также современной поймы, были опробованы в ходе полевых исследований 2016 года для установления общих черт химического состава льдов и отложений и попытки сопоставить его с генезисом ультральдистой толщи.

Химический состав изученных нами льдов и обнажений изучался ранее [2,3]. По данным [2], химический состав ПЖЛ может быть поставлен в соответствие их возрасту и положению в долине. минерализация ПЖЛ в отложениях пятой выше, чем в отложениях первой «6-9-метровой» или «голоценовой» террасы: от 230 до 640 мг/л и от 71 до 219 мг/л, соответственно. Химический состав верхнеплейстоценовых ПЖЛ гидрокарбонатно-магниевый, голоценовых

ПЖЛ – гидрокарбонатно-кальциевый. Эпигенетическими считаются верхний ярус ПЖЛ (в бурых лессах) и подземные льды первой террасы, сингенетическими – нижний ярус ПЖЛ, в серых лессах. Верхнеплейстоценовую жилу, рассмотренную в работе [3], авторы исследования считают сингенетической, собственно массив ПЖЛ – старично-озерным, а его химический состав – сформированным под влиянием континентального засоления, без какого-либо влияния постгенетического засоления вследствие миграции из вмещающей толщи. В то же время маловероятно, что именно континентальное засоление при сингенетическом промерзании играло роль в формировании химического состава жильного льда. Ураганные концентрации железа, до 40 мг/л, и растворенного органического вещества, до 53 мг/л, при низком содержании сульфат- и хлорид-иона [3] свидетельствуют либо о злокачественном загрязнении образцов, либо о доминирующей роли вод надмерзлотной верховодки, вероятно, химический состав которой определялся активным выщелачиванием, Fe-Al-комплексообразованием и криогенной метаморфизацией, в формировании данной жилы.

2. Результаты исследований

Опробованные в ходе исследований льды относятся к верхнему и нижнему ярусам ПЖЛ, и к жильным льдам современной поймы. Все образцы имеют значительную минерализацию, от 393 до 687 мг/л, что в целом соответствует данным [2]. Химический состав льда верхнего яруса ПЖЛ гидрокарбонатно-магниевый (n = 1), нижнего яруса ПЖЛ – гидрокарбонатно-кальциевый (n = 2) или гидрокарбонатно-натриево-калиевый (n = 3). Современный лёд представлен единственным образцом с гидрокарбонатно-натриево-калиевым составом (Рисунок 1). Следовательно, логично предположить происхождение данных льдов из поверхностных вод, либо вод зоны аэрации без признаков континентального засоления, а различия в химическом составе объяснить различиями в механизмах формирования льдистой толщи либо разной степенью криогенной метаморфизации химического состава.

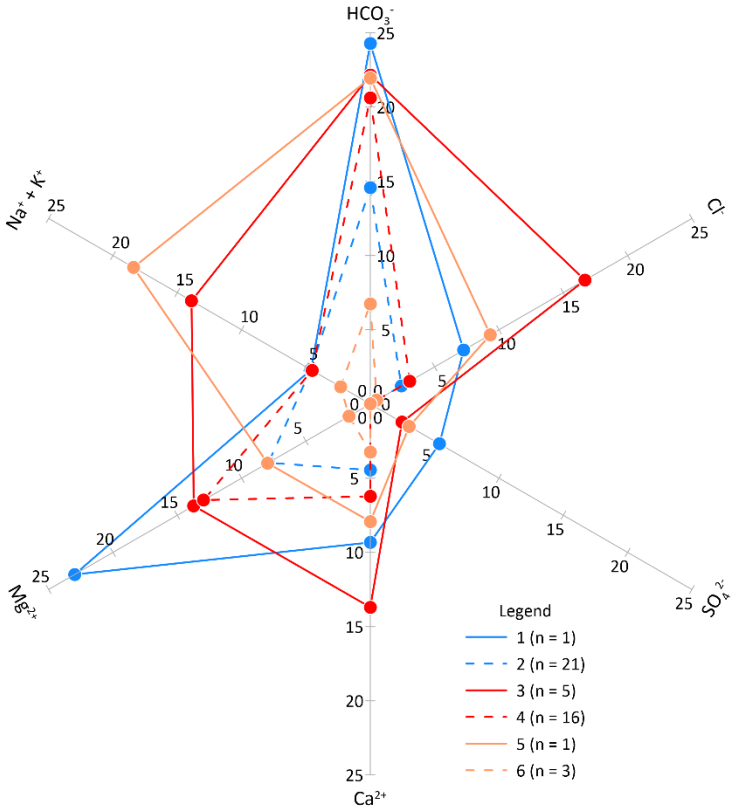


Рисунок 1. Химический состав повторно-жильных льдов обнажения Мамонтова гора, %-экв., по данным авторов (линии 1, 3 и 5) и Ю.В. Кузнецова [2] (линии 2, 4 и 6); нумерация соответствует верхнему (1, 2) и нижнему ярусу ПЖЛ (3, 4), современным льдам (5, 6)

В процессе криогенной метаморфизации изменяется соотношение между основными ионами, в первую очередь – катионами, в частности – между Ca и Mg [4], а также рост содержания натрия. Показательна группировка точек Na- и Cl-нормированных концентраций Ca и Mg (Рисунок 2), указывающая на значительную криогенную метаморфизацию современных пойменных льдов (Лс) и трех образцов нижнего яруса ПЖЛ (Л2, Л3, Л6).

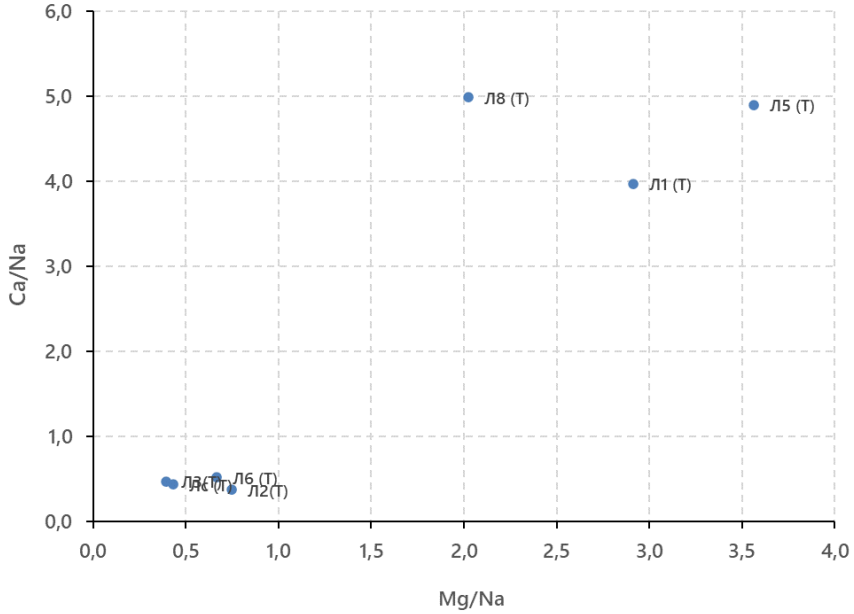


Рисунок 2. Na-нормированные молярные концентрации Ca и Mg в образцах расплава ПЖЛ ПЖЛ нижнего яруса неоднородны по химическому составу и, вероятно, также по генезису.

Одни их элементы сформировались из вод деятельного слоя или поверхностных вод, например, речных или озерных, другие – при инъекционном льдообразовании в условиях закрытой системы, например – в промерзающей озерной котловине [5]. Гидрокарбонатно-натриево-калиевый состав расплава свидетельствует о высокой степени криогенной метаморфизации исходной воды. Повышенное содержание Cl^- и его увеличение с ростом минерализации поддерживает точку зрения о формировании льдов в «закрытой» системе; только в этих условиях подвижные хлориды, уходящие в жидкую фазу при циклическом замерзании/оттаивании, могли сохраниться в исходных водах, фактически определяя их минерализацию.

Вмещающие отложения по химическому составу водной вытяжки относительно однородны, составляя от 90 до 390 мг/100 г сухого вещества в отложениях верхнего яруса, от 60 до 350 мг/100 г в отложениях нижнего яруса, от 100 до 180 мг/100 г – в голоценовых отложениях первой террасы [2]. Состав водной вытяжки почти неизменно гидрокарбонатно-кальциевый, реже магниевый (в верхнем ярусе) или гидрокарбонатно-кальциево-натриевый (в нижнем ярусе). В озерных отложениях, подстилающих ледовый комплекс, содержание карбоната натрия выше, чем в укрывающих их лёссах, что считается признаком субаэрального накопления лёссовой толщи [2], а нас наводит на мысль о промерзающем подозерном талике как источнике высокого содержания натрия, дополнительно подтверждая гипотезу инъекционного льдовыделения в закрытой системе.

3. Выводы

Полученные нами результаты свидетельствуют о том, что комплекс повторно-жильных льдов 50-тиметровой террасы обнажения Мамонтова гора формировался эпигенетически, при промерзании переувлажненных озерных отложений в замкнутой озерной котловине, и скорее всего относится к повторно-инъекционным льдам, в терминах работы [5]. Верхний горизонт нижнего яруса и верхний ярус ПЖЛ формировались, в свою очередь, при участии вод

деятельного слоя или других поверхностных вод, например, речных или озерных, без признаков континентального засоления.

4. Благодарности

Исследования в части интерпретации лабораторных данных и оценке генезиса подземных льдов в связи с химией грунтовых вод выполнены при частичной поддержке РФФИ и Бельмонт Форума, Проект №21-55-75004 БФ_Почвы.

5. Литература:

[1] Kaplina, T.M. Alas complexes of Northern Yakutia // Earth's Cryosphere, 2009, vol. XIII, no. 4, pp. 3–17 (in Russian)

[2] Kuznetsov, Yu.V. Cryolithological structure and hydrochemical composition of the Late Pleistocene and Holocene deposits of the Mamontova Gora // In: Geocryological conditions of the accumulation of Late Pleistocene and Holocene deposits in North-East of the USSR. Bull. SVKNII DVNTs AN SSSR, Issue 74, Magadan, SVKNII DVNTs AN SSSR Publ., 1976, pp. 12–21 (in Russian)

[3] Vasilchuk, Yu.V., Vasilchuk A.V., Budantseva N.A., Chizhova, Yu.N. Total dissolved solids in ice wedges as the indicator of landscape evolution // Bull. MSU, Ser. 5 Geography, 2016, no. 6, pp. 96–103 (in Russian).

[4] Ivanov, A.V., Vlasov, N.A. Influence of cryogenic processes on the formation of hydrocarbonate-sodium waters // Hydrochemical materials, Vol. 61, Leningrad, Hydrometeoizdat, 1974, pp. 56–61 (in Russian)

[5] Fotiev, S.M. Origin and mechanism of the layers of the injection ice // Earth's Cryosphere, 2015, vol. XIX, no. 1, pp. 30–40.

УДК 551.345.3; 551.328.2

ВЛИЯНИЕ СОПУТСТВУЮЩИХ ПРОЦЕССОВ ФОРМИРОВАНИЯ И РАЗВИТИЯ ПОЛИГОНАЛЬНО-ЖИЛЬНЫХ ЛЬДОВ НА ЕГО СТРОЕНИЕ

Яна Тихонравова
Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, ул. Мерзлотная, 36, г. Якутск, 677010, Россия

IMPACT OF ACCOMPANYING PROCESSES OF ICE WEDGES, FORMATION AND DEVELOPMENT TO ITS STRUCTURE

Yana Tikhonravova
Melnikov Permafrost Institute SB RAS, 36 Merzlotnaya St., Yakutsk, 677010, Russia

Annotation. The ice wedge formation can occur due to primary1 and accompany processes. The primary process is thermal contraction cracking: frost cracking in winter, infilling of the crack by mostly snow meltwater in spring, and the meltwater freezes in the crack as an ice vein. Participation of the accompanying process forms other ice types within an ice wedge like segregated ice and closed-cavity ice. A frontal growth hypothesis of the syngenetic ice wedges by Prof. A.I. Popov explained the ice wedge upper growth as a freezing of snow and water in the horizontal cavity on the ice wedge top. Prof. Romanovsky used term frontal growth for describing ice wedge growth through segregated ice formation on the contact of the ice wedge and an active layer. Identification of different ice types in ice wedges is a fundamental importance to reconstruct ice wedge formation conditions, to determine to primary and secondary processes, and for its composition data interpretation.

1. Введение

Одним из нерешенных вопросов на сегодняшний день является гетерогенность полигонально-жильных льдов, а именно их неоднородность по составу и строению. Наличие разных элементов строения полигонально-жильного льда, как участки прозрачного или замутненного льда без вертикальной полосчатости, каймы прозрачного льда и плечики, не всегда удаётся объяснить главенствующей контракционной гипотезой [1]. О наличии сопутствующих (вторичных) процессов формирования полигонально-жильного льда неоднократно упоминалось в работах Попова А.И. [2], Романовского Н.Н. [3], Шумского П.А. [4], Втюрина Б.И. [5], Соломатина В.И. [6] и др. На основе этого А.И. Поповым [2] была предложена гипотез «фронтального роста» полигонально-жильного льда за счёт формирования льда в горизонтальной полости над кровлей жилы. Его гипотеза основана на представлениях о росте полигонально-жильных льдов за счёт промораживания снега и льда в возникающей горизонтальной полости на границе сезонно-талого слоя и мёрзлых пород. Одноименная гипотеза «фронтального роста» была также предложена Н.Н. Романовским [3]. Он объяснял прирост сингенетических полигонально-жильных льдов вверх нарастанием шлиров сегрегационного льда к «голове» жилы, который пробивается элементарными жилками. В.И. Соломатиным [6] был предложен механизм образования кайм прозрачного льда на боковых стенках жил за счёт миграции влаги из вмещающих отложений и сегрегационного льдовыделения. Образование ледогрунтовых жил и элементов строения Р.Е. Розенбаум и А.Д. Маслов [7], а в дальнейшем и Т.Н. Каплина [8], связывали с протаиванием грунта вокруг ледяной жилы из-за отепляющего воздействия полых вод и последующим замерзанием этой зоны с сегрегационным льдовыделением.

Лёд весьма чувствителен к изменениям условий среды и экзогенных процессов и несёт в своём строении информацию о них [9]. Участие различных геологических процессов приводят к формированию различных элементов строения в теле жилы. Ледяные образования иного генезиса в составе полигонально-жильного льда могут быть сформированы за счёт фракционированных вод [10], которые по изотопному составу кислорода и водорода не будут отражать зимние палеотемпературы. Идентификация различных типов льда в полигонально-

жильных льдах имеет фундаментальное значение для реконструкции условий их образования, определения первичных и вторичных процессов формирования, а также для интерпретации изотопного состава.

Решению вопроса об участии вторичных процессов формирования полигонально-жильных льдов способствует петрографический метод исследования текстуры и структуры льда. Для определения структурно-текстурных характеристик из ориентированных монолитов льда изготавливают шлифы [11] в разных срезах: вертикальный поперечный, вертикальный продольный и горизонтальный. Текстуру льда изучают в проходящем свете, в шлифе отмечают цвет, трещиноватость, взаимное расположение воздушных и органо-минеральных включений. Для просмотра структуры льда используют поляроид. Вычисление кристаллографических параметров проводят с помощью программных обеспечений по фотографиям ледяных шлифов (0,8-1 мм толщиной), сделанных под поляризованным светом.

В настоящей работе показано влияние сопутствующих процессов на строение полигонально-жильных льдов на примере изучения сингенетических жил в Пур-Тазовском междуречье (Север Западной-Сибири).

2. Результаты и обсуждение

В мощных торфяниках Пур-Тазовского междуречья были вскрыты полигонально-жильные льды в виде клина с ростком и широкими плечиками. Часть жилы уходила под воду, надводная видимая часть составляла 1,7 м, подводная – 1,6 м; ширина жил сверху – 2,2–2,3 м. Лёд жилы имел отчётливую вертикальную полосчатость, образованную чередованием прожилков прозрачного льда и белёсого за счёт пузырьков воздуха. Боковые контакты жилы местами имели узкую (2–4 см) кайму прозрачного льда. В плечике жилы выделена зона частичного оттаивания толщиной 5–6 см), отличная от основного тела жилы и представленная мутным светло-коричневатым льдом с рассеянными растительными остатками. На неровной, волнистой кровле жилы расположен термокарстово-полостной лёд (термокарстово-пещерный лёд по П.А. Шумскому), прозрачный с вертикально вытянутыми цилиндрическими пузырьками воздуха и горизонтально вытянутыми сферическими пузырьками воздуха. К жиле в кровле и к её плечикам присоединены волнистые шлиры льда (толщиной от 2 до 25 см), слабо изогнутые вниз или вверх по отношению к жиле и вверх под полигоном. Осмотр и описание расчистки позволили выделить следующие ледяные элементы разреза: центральную часть жилы со свойственной полосчатой текстурой, вертикально полосчатый росток полигонально-жильного льда, крупные плечики жилы, каймы прозрачного льда и шлиры льда, причлененные к жиле [12].

Структурно-текстурный анализ полигонально-жильного льда совместно с лабораторно-аналитическими исследованиями позволили установить, что *основное тело жилы* с вертикальными полосами из сферических и вытянутых пузырьков воздуха состоит из преобладающих кристаллов элементарных жилок. *Росток полигонально-жильного льда* с субвертикальной полосчатостью из сферических пузырьков воздуха состоит, преимущественно, из кристаллов элементарных жилок. Также в структуре ростка жилы были отмечены кристаллы сегрегированного льда. *Каймы* прозрачного льда на боковых границах жилы состоят из кристаллов элементарных жилок с возможным участием сегрегационного льда. В крупном *плечике полигонально-жильного льда* отмечена зона подтаивания (Рисунок 1), представленная молочным льдом с торфяными включениями и сферическими пузырьками воздуха без вертикальной полосчатости. Эта зона состоит из крупных кристаллов конжеляционного льда и прослоек кристаллов сегрегированного льда. *Шлиры льда* представлены прозрачным льдом с торфяными линзами и вытянутыми вертикально цилиндрическими и горизонтально – сферическими пузырьками воздуха. Цилиндрические пузырьки воздуха образовали радиально-лучистую текстуру во льду. Шлиры льда состояли из крупных кристаллов инфильтрированно-сегрегированного льда и слоев мелких кристаллов сегрегированного льда. На контакте полигонально-жильного льда и ледяных шлиров были отмечены наиболее крупные кристаллы элементарных жилок. Термокарстово-полостной лёд в верхней части полигонально-жильного льда – чистый с радиально-лучистой текстурой, выполненной крупными кристаллами

конжеляционного льда. В теле полигонально-жильного льда отмечены слои ранее образованных термокарстово-полостных льдов, пересеченные элементарными жилками.

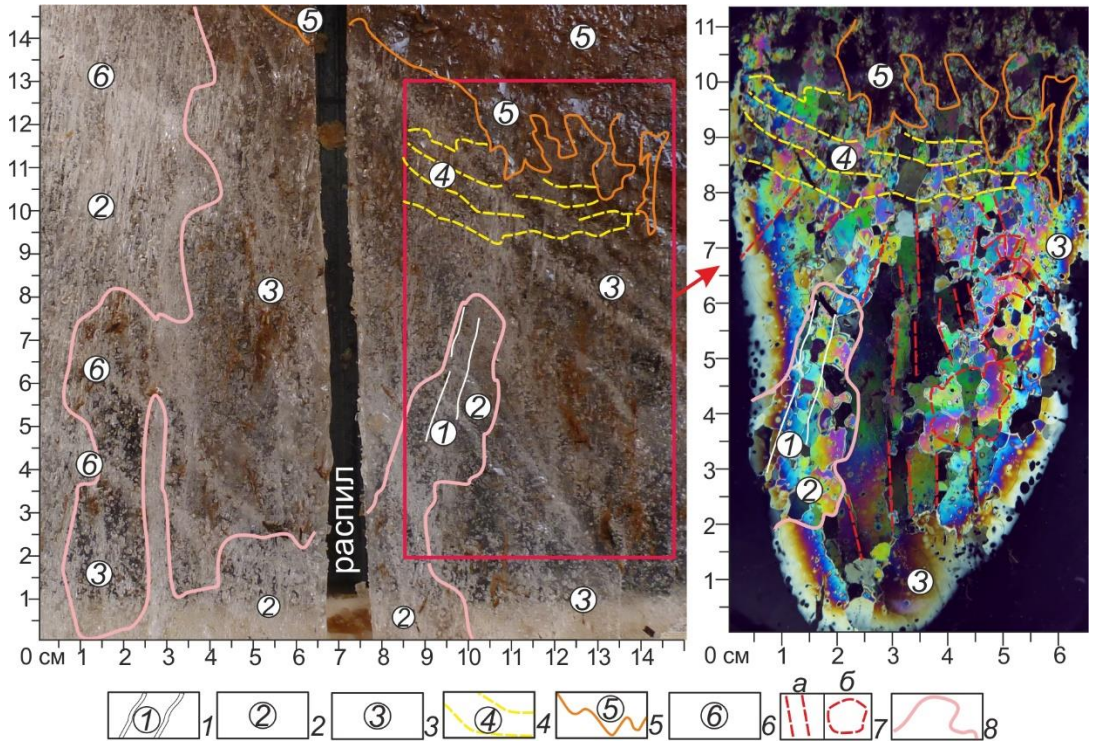


Рисунок 1. Текстура и структура плечика полигонально-жильного льда.
1 – элементарные жилки; 2 – перекристаллизованные элементарные жилки; 3 – конжеляционный лёд; 4 – слои сегрегационного льда; 5 – граница торфа; 6 – наложенные трещины напряжения; 7 – ориентация кристаллов: линейная (а), радиально-концентрическая (б); 8 – граница зоны оттаивания

Исследуемый полигонально-жильный лёд в торфянике Пур-Тазовского междуречья имеет весьма сложное строение и включает разные генетические типы льда (элементарные жилки, конжеляционные и сегрегационные льды), что указывает на участие различных механизмов при его формировании. Установлено, что сочетание разных генетических типов льда в составе жилы обусловлено разными криогенными процессами, сопровождавшими накопление торфяника в условиях изменяющегося климата голоцена. Согласно полученным данным, формирование и рост сингенетических жил в исследуемом районе протекал, преимущественно, в результате морозобойного растрескивания. Однако, помимо процесса морозобойного растрескивания, в формировании жилы участвовали процессы локального термокарста, вызвавшие частичное протаивание её с боков и в кровле при образовании термокарстово-полостного льда. В ходе роста и развития жилы, термокарстово-полостной лёд вошёл в состав полигонально-жильного льда. Поскольку морозобойное растрескивание продолжалось в зимние периоды, элементарные жилки пересекали термокарстово-полостной лёд, что было установлено при изучении структуры льда.

3. Заключение

Наличие разных генетических типов льда в составе полигонально-жильного льда указывают на участие сопутствующих процессов формирования жилы. Установлено, что полигонально-жильные льды могут продолжают свой рост и развитие не только за счёт морозобойного растрескивания, но и в условиях локального термокарста. Установлено чередование и одновременное (в геологическом смысле) проявление морозобойного растрескивания в зимний период и развития термокарстовых процессов в летний период. Доказана возможность роста полигонально-жильного льда за счет образования в кровле термокарстово-полостного льда.

4. Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-05-60222

5. Литература:

[1] Leffingwell E.K. Ground Ice-Wedge. the Dominant Form of Ground Ice on the North Coast of Alaska // J. Geol., 1915, vol. 23, no 7. pp. 635-654.

[2] Popov A.I. The origin and development of a strong fossil ice // In: Materials for the studies on frozen areas of the earth crust. Moscow: AS USSR Press, 1955, pp. 5-24 (In Russian).

[3] Romanovsky N.N. On the question of the syngenetic ice wedge formation // In: Glaciological studies in the period of MGG. Moscow: the USSR Academy of Sciences Press, 1959, pp. 83-86 (In Russian).

[4] Shumskiy, P.A. On the origin of vein underground ice // In: Proceedings of the Institute of Permafrost. Moscow: USSR Academy of Sciences, 1960, vol.16, pp. 81–97 (In Russian).

[5] Vtyurin B.I. Underground ice in the USSR. Moscow: Nauka, 1975, 215 pp. (In Russian).

[6] Solomatin VI. Physics and geography of underground glaciations. Novosibirsk: GEO, 2013, 346 pp. (in Russian).

[7] Rozenbaum G.E., Maslov A.D. Permafrost-facies structure of modern fluvial deposits of the Omoloy river // Underground ice, 1967, vol. 3, 70-93 (in Russian).

[8] Kaplina T.N. The first stage of ice wedges formation // Permafrost research, 1971, vol. 11, pp. 168-171 (in Russian).

[9] Rogov V.V. Fundamentals of Cryogenesis. Novosibirsk: GEO, 2009, 203 pp. (in Russian).

[10] Vasil'chuk Yu.K. Experimental study of isotopic fractionation in water during congelation ice formation // Earth's Cryosphere, 2011, vol. 15, no. 3, pp. 51-55 (in Russian).

[11] Savel'ev B.A. Guide to the study of ice characteristic. Moscow: Moscow State University, 1963, 198 pp. (in Russian).

[12] Tikhonravova Ya.V., Slagoda E.A., Rogov V.V., Butakov V.I., Lupachev A.V., Kuznetsova A.O., Simonova G.V. Heterogeneous ices in ice wedges structure on the Pur-Taz interfluve peatlands of the north of West Siberia // Led i Sneg (Ice and Snow), 2020, vol. 60, no. 2, pp. 225–238 (in Russian).

УДК 551.524.36

ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТИЧЕСКОЙ НОРМЫ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА В Г. ЯКУТСКЕ

Александра Черепанова[1,2]

1 Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, ул. Мерзлотная, 36, г. Якутск, 677010, Россия

2 Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, ул. Кулаковского, 50, г. Якутск, 677000, Россия

CHANGE IN THE CLIMATE FRAMEWORK OF AIR TEMPERATURE IN YAKUTSK

Alexandra Cherepanova[1,2]

1 Melnikov Permafrost Institute SB RAS, 36 Merzlotnaya St., Yakutsk, 677010, Russia

2 M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, 50 Kulakovskiy St., Yakutsk, 677000, Russia

Annotation. Climate change over the last century is a subject of great topical interest. For summer and winter seasons the warming trend is very significant. There is the confirmation of warming trend in average temperatures in Yakutsk. Analysis of maximum and minimum temperatures reveals a warming trend for the annual and all seasonal series.

Изменение климата является одной из важнейших проблем современного мира, которая из года в год всё сильнее волнует научное сообщество. Оно может оказать серьезное влияние на природные и социальные системы на местном, региональном и национальном уровнях. Еще в 1884 г основоположник русской климатологии и метеорологии Александр Иванович Воейков в своей фундаментальной работе «Климаты земного шара, в особенности России» высказал мысль о возможном потеплении климата. А уже в XX веке академик Владимир Иванович Вернадский подтвердил, что человечество живет в конце последней ледниковой эпохи и только выходит из него.

Согласно последним климатическим исследованиям, зимние температуры воздуха Якутии стали расти быстрее, чем летние. Этому свидетельствует уменьшение разности между температурами теплого периода года, включающего все положительные температуры, и холодного периода, включающего все отрицательные [1]. Данная изменчивость очевидна на примере г. Якутска, где метеорологическая станция имеет самый длинный ряд в Центральной Якутии.

В настоящее время Гидрометцентр России использует климатические нормы, рассчитанные за базовый период 1961-1990 гг., согласно которым средняя температура самого холодного месяца (январь) в Якутске составляет -40,9 °С, самого теплого (июль) – 18,7 °С, а среднегодовая – -10 °С. Однако, на XVI сессии Всемирной метеорологической организации (ВМО) в 2014 году был рассмотрен вопрос об изменении периода расчета климатических норм, вследствие чего теперь можно применять периоды за 1981-2010 гг., 1991-2020 гг. и сравнивать с периодом 1961-1990 гг., выявляя при этом тенденции изменения климата за последние десятки лет.

За период 1981-2010 гг. рассчитаны следующие климатические нормы для Якутска: -8,7 °С - среднегодовая температура, -38,6 °С в январе и 19,5 °С в июле. Соответственно за период 1991-2020 гг. среднегодовая температура -7,9 °С, -36,9 °С в январе и 19,9 °С в июле (Рисунок 1).

Очевидно, что климатическая норма выросла, хотя при этом амплитуда колебаний температуры, наоборот, уменьшилась, подтверждая факт повышения значений именно зимних температур. Но стоит также отметить, что самый холодный и теплый месяцы остаются постоянными, не уступая свои позиции в пользу других месяцев. Таким образом, подтверждается значительная тенденция к потеплению средних температур в г. Якутске, которая составляет около 2 °С, максимальные и минимальные температуры выявляют тенденцию к повышению.

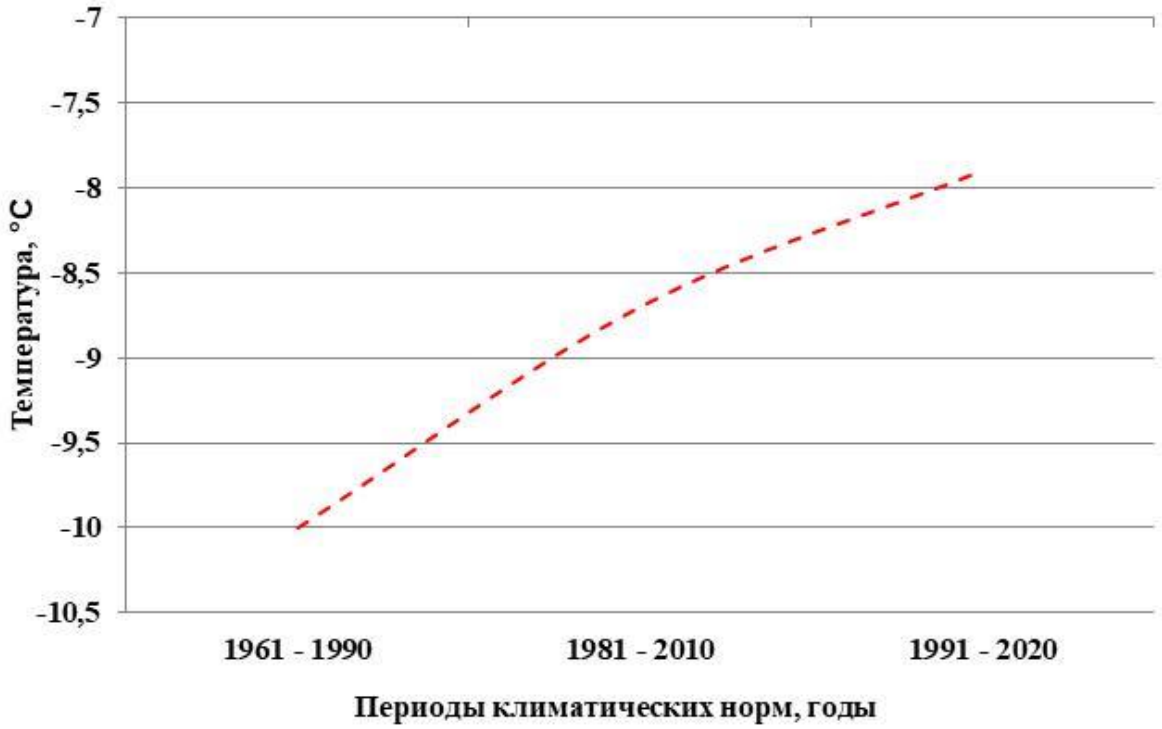


Рисунок 1. Климатические нормы температуры воздуха на трех периодах.

Особенно в последней четверти XX века большинство климатологов пришли к единому мнению о факте повышения среднегодовой температуры воздуха, хотя даже сейчас трудно с полной уверенностью сказать, происходит глобальное потепление или нет, так как наблюдаемый рост температуры пока находится в пределах естественных температурных колебаний. Данное явление однозначно служит предметом дискуссий.

Литература:

[1] Skachkov, Yu.B. Modern climate changes in Central Yakutia // Climate and permafrost: comprehensive research in Yakutia. Yakutsk: Publishing house of MPI SB RAS, 2000, pp. 55–63 (in Russian).

[2] All-Russian Research Institute of Hydrometeorological Information - World Data Center [Electronic resource]. – http://meteo.ru/ (Date of request: 26.02.2021).

[3] Hydrometeorological Center of Russia [Electronic resource]. – https://meteoinfo.ru/ (Date of request: 09.03.2021).

УДК 661.42:631.41:551.4 (212.3-17)

ХЛОРИДЫ В ПОЧВАХ СЕВЕРО-ТАЕЖНЫХ ЛАНДШАФТОВ

Олеся Шадринова, Яна Легостаева
Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, пр. Ленина, 39, г. Якутск, 677000, Россия

CHLORIDES IN THE SOILS OF THE NORTH-TAIGA LANDSCAPES

Olesya Shadrinova, Yana Legostaeva
Diamond and Precious Metal Geology Institute SB RAS, 39 Lenin Ave., Yakutsk, 677000, Russia

Annotation. This article presents the results of a study of the migration of chlorides in the soils of the North taiga landscapes. It has established that the maximum concentrations of chlorides are confined to technogenic objects.

1. Введение

Изучение содержания и распределения галогенов в различных природных объектах окружающей среды, прежде всего в почвах как в начальном звене цепочки «почвы-воды-растение-животные-человек», является весьма актуальным как с эколого-биогеохимических, так и с почвенно-агрохимических позиций [1]. Хлор является важным биогенным элементом. В малых дозах он способствует росту и развитию растений, положительно влияет на поглощение корнями кислорода, соединений калия, кальция, магния [2,3]. По геохимической классификации, хлор относится к очень подвижным водным мигрантам, для которых характерно образование легкорастворимых солей, энергично мигрирующих в ландшафте, поскольку он не образует труднорастворимых минералов [4]. Исследования проводились в Западной Якутии в зоне северной тайги, сплошного распространения многолетнемерзлых пород и резко континентального климата на территории промышленной площадки Айхальского горно-обогатительного комбината (АГОК) АК «Алроса». Почвенные исследования включали морфологическое описание и физико-химический анализ свойств почв. Диагностика почв выполнена по классификации почв России (2004). Определение состава солей в почвенных образцах проводилось по анализу водной вытяжки. Оценка степени засоления и расчет токсичных солей выполнен по общепринятым в почвоведении методикам. Цель работы: выявление закономерностей в поведении хлоридов в почвах и почвоподобных образованиях северо-таежных ландшафтов.

2. Основной раздел

Зональные типы почв территории исследования – криоземы (O– CR–$C_{\downarrow}$) – мелкопрофильные (в среднем, 0.4 м), сильно щебнистые, тиксотропные, тяжелого суглинистого грансостава. Подчиненными типами являются карбо-литоземы (H-(C)-Mca), литоземы (AO-(C)-M) и глееземы (O-G-CG). В результате анализа водной вытяжки установлено [5], что на территории исследования преобладает сульфатный тип засоления (72,6 % от общей выборки), затем по мере убывания располагаются хлоридно-сульфатный (21,2 %), хлоридный (4,4 %) и сульфатно-хлоридный (1,8 %) типы.

Как известно, все соли, содержащие ионы хлора, являются токсичными. При пороге токсичности для Cl^- равном 0,01 % [6], в почвах и грунтах территории исследования более 88 % образцов почв и грунтов превышают этот предел и их значения колеблются в среднем от 0,0106 до 0,115 %. Кроме того, выявлены точки с превышением порога токсичности в 20 и 35 раз в почвах у отвалов трубки Комсомольская и в 89 раз – в лиственничном лесу на глубине 10-20 см, где наблюдается активное зарастание после пожара. Нетоксичные концентрации хлоридов (0,0071-0,00888 %) отмечаются на вершине водораздела в почвах и грунтах вдоль дорожной сети вне техногенной площадки, а также в некоторых литостратах кимберлитовой трубки Юбилейная.

Таблица 1

Средние значения хлоридов в почвах и грунтах промышленной площадки Айхальского горно-обогатительного комбината.

Тип почв	Cl^-				Стандартное отклонение, SD	Коэффициент вариации, CV (%)
	ммоль/100 г	*%*	**min**	**max**		
Почвы природных ландшафтов (литоземы, карбо-литоземы), n=13	0,36	0,0128	0,2	0,7	0,1	25
Почвы природных ландшафтов (криоземы), n=6	0,59	0,0211	0,35	1,25	0,36	54
Техногенно поверхностные образования, n=31	0,43	0,0154	0,25	0,8	0,1	22
Антропогенно измененные почвы, n=7	0,45	0,0161	0,25	10	3,57	155
Грунты хвостохранилищ, n=25	0,72	0,0255	0,3	2,2	0,53	59
Грунты, n=11	0,38	0,0135	0,25	0,8	0,17	42
Почвы пром. площадки, n=18	0,85	0,0303	0,25	5,8	1,42	110

Таким образом, минимальные концентрации Cl^- приурочены, как правило, к территории вне промышленной площадки и вдоль придорожных полос, которые не ведут на промышленные объекты и составляют в среднем 0,3 ммоль/100 г. Максимальные же концентрации приходятся на территории промышленных объектов АГОКа, в почвах и грунтах, находящихся, как правило, на понижениях рельефа и испытывающих максимальную техногенную нагрузку в виде наносов и образования дополнительных горизонтов, тем самым вызывающих погребение и загрязнение природной почвы путем выщелачивания ионов солей из техногенных отвалов и разлившейся пульпы. Концентрация хлоридов в подобных почвах достигает 10 ммоль/100 г (Таблица 1).

Накопление хлоридов в почвах и грунтах исследуемой территории происходит как на поверхности, так и в нижних горизонтах, что свидетельствует об их высокой подвижности. Практически во всех пройденных разрезах прослеживается корреляция с органическим веществом. В литостратах подобной тенденции не наблюдается, что объясняется их сложением и составом. Довольно интересная картина представляется в антропогенно измененных почвах – почвоподобных телах, верхний слой которых состоит из наноса различного генезиса, под которым сохранилась природная почва. В таких телах максимальная концентрация хлоридов приходится на погребенный органогенный горизонт. Коэффициент корреляции в них с органическим веществом колеблется от 0,7 до 1,0 (Рисунок 1).

Результаты, полученные нами, сопоставимы с данными исследований по изучению биогеохимического цикла хлора [7,8]: в почвах и грунтах прослеживается аккумуляция хлоридов в органогенном горизонте и имеет корреляцию с $C_{орг}$, что объясняется способностью Cl^- закрепляться в почве, особенно в гумусовых горизонтах, где он участвует в хлорировании органического вещества.

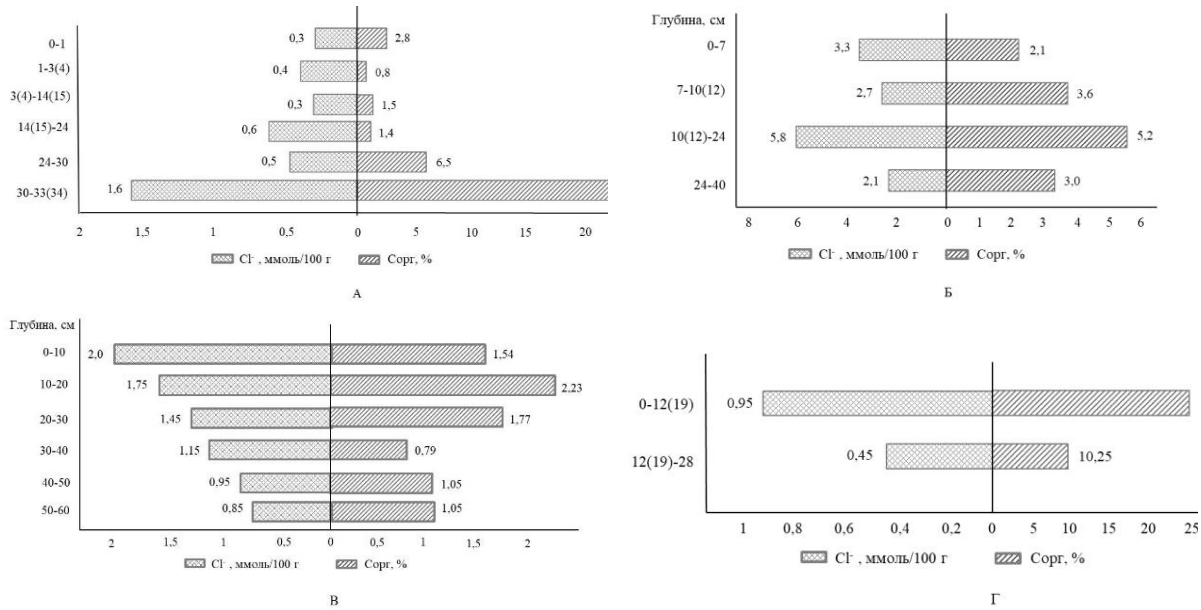


Рисунок 1. Распределение Cl^- и $C_{орг}$ вниз по почвенному профилю. А - криозем перегнойный антропогенно измененный XO-X2-X3-[O]-CRh у хвостохранилища обогатительной фабрики № 14; Б - криозем грубогумусированный O-CR-M у отвалов трубки Комсомольская; В - грунт на пляже хвостохранилища обогатительной фабрики №8; Г- криозем типичный O-CR- C в лесу между отвалами трубки Заря.

3. Выводы

Хлориды в почвах северо-таежных ландшафтов имеют высокую подвижность, а также, несмотря на то, что ионы Cl^- являются легкорастворимыми, прослеживается их аккумуляция органическим веществом. Маркером техногенного воздействия на почвенный покров является активное накопление хлоридов в концентрациях, превышающих порог токсичности, в почвах, подвергшихся прямому техногенному воздействию. Распространение ионов Cl^- на исследованной территории Айхальского горно-обогатительного комбината приобрело площадной характер.

4. Благодарности

Работа выполнена при поддержке гос. задания Министерство образования и науки РФ FUEM-2019-0003 «Эволюция земной коры Северо-Азиатского кратона, базит-ультра-базитовый и кимберлитовый магматизм, алмазоносность Якутской кимберлитовой провинции».

5. Литература:

[1] Konarbaeva G.A., Yakimenko V.N. Content and distribution of halogens in soil profile of natural and man-made ecosistems in the south of Western Siberia // Tomsk State University Journal of Biology. 2012, no. 4 (20), pp. 21-35 (in Russian).

[2] Golovatyj S.E., Kovalevich Z.S., Lukashenko N.K. Effect of sodium and chlorine content in soil on summer grain crops productivity // Pochvovedenie i agrohimiya. 2010, no. 1 (44). pp. 243-254 (in Russian).

[3] Carmen, Lopez-Berenguer, Cristina Garcia-Viguera & Micaela Carvajal. Are root hydraulic conductivity responses to salinity controlled by aquaporins in broccoli plants? // Plant and Soil. – 2006, pp. 279.

[4] Sudnik A. V., Voznyzchuk I.P. Consequences of pollution on roadside territories by salt reagents on soil and plants ecological state in forest biogeocenoses // Foresty Bulletin. 2020, vol. 24, no. 6, pp. 83-95 (in Russian).

[5] Shadrinova O.V. Zasolenie pochv pri razrabotke korennyh mestorozhdenij almazov v kriolitozone // Materialy Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii XXIII Dokuchaevskie molodezhnye chteniya. SPb., 2020, pp. 69-70 (in Russian).
[6] Bazilevich N.I., Pankova E.I. A tentative of classifying soils according to salinization // Eurasian Soil Science. 1968, no. 11, pp. 3-16 (in Russian).
[7] Vodyanitskii Y.N., Makarov M.I. Organochlorine compounds and the biogeochemical cycle of chlorine in soils: a review // Eurasian Soil Science. 2017, no. 9, pp. 1065-1073 (in Russian).
[8] Redon P.-O., Abdelous A., Bastviken D., Cecchini S., Nicolas M., Thiry Y. Chloride and organic chlorine in forest soils: residence time, and influence of ecological conditions // Environ. Sci. Technol. 2011, vol. 45, pp. 7202–7208.

УДК 902.652

РАДИОУГЛЕРОДНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ ИМЗ СО РАН

Григорий Шапошников, Алексей Галанин, Анжела Васильева, Аэлита Скрябина
Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, ул. Мерзлотная, 36, г. Якутск, 677010, Россия

RADIO-CARBON LABORATORY MPI SB RAS

Gregory Shaposhnikov, Alexey Galanin, Anzhela Vasileva, Aelita Scryabina
Melnikov Permafrost Institute SB RAS, 36 Merzlotnaya St., Yakutsk, 677010, Russia

Annotation. The method of radiocarbon dating is considered. Brief information on cross-dating is given.

Многолетнемерзлые отложения различных генетических типов в целом являются естественной природной летописью развития природной среды четвертичного периода благодаря криогенной консервации органических остатков – костей животных, древесины, торфа, гумуса и др. В этом плане Якутия является уникальным объектом для изучения палеогеографических событий прошлого. Радиоуглеродный метод абсолютного датирования предоставляет возможность определения возраста событий последний 40-50 тыс. лет. В 2011 г. в Институте мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН была организована радиоуглеродная лаборатория, основанная на базе нового комплекта современного оборудования - ультра-низкофонового жидкостно-сцинтилляционного спектрометра-радиометра Quantulus 1220 (производство США) и химической установки для синтеза бензола. В настоящее время РЛ ИМЗ СО РАН имеет возможность выполнять радиоуглеродное датирование образцов следующего веса: кость - 100-200 граммов; древесина 5-20 граммов в пересчете на чистый углерод (уголь); торф - 30-50 граммов. В отдельных случаях датировка может быть выполнена по нескольким граммам (2-3) углей. Для удобства хранения и использования базы данных каждой датировке присваивается идентификационный номер MPI (Melnikov Permafrost Institute). По данному номеру пользователь в случае необходимости может легко отыскать все исходные протоколы и дату выполнения анализа, вес полученного бензола, параметры счета, результаты определения активности. Это дает возможность выполнения вторичных перерасчетов в случае необходимости.

Результаты перекрестного датирования

В 2015 году для оценки надежности выполненных абсолютных датировок в РЛ ИМЗ СО РАН были выполнены три перекрестные датировки с уже выполненным радиоуглеродным анализом. Образцы углей были предоставлены Н.Е. Зарецкой из радиоуглеродной лаборатории Геологического института РАН, использующей аналогичное оборудование и методику сцинтилляционного счета по бензолу. Полученные образцы углей прошли вакуумный синтез, вес каждого образца составлял 3-4 гр. В результате получены три виалы с бензолом, объем каждого составлял 10 мл. В результате анализа были получены радиоуглеродные возрасты сходные с датами, полученными в Радиоуглеродной лаборатории ГИН РАН (Таблица 1).

Таблица 1

РЛ ИМЗ СО РАН			*РЛ ГИН РАН*		
Материал, метод	Код датировки	Возраст C^{14}, лет	Материал, метод	Код датировки	Возраст C^{14}, лет
Уголь, жидкостная сцинтилляция	MPI-62	180±65	Уголь, жидкостная сцинтилляция	15134	180±20
	MPI-66	8900±95		15104	8660±40
	MPI-70	2060±70		15110	1900±30

В 2020 году из Германии были получены 3 международных образца с целью проверки надежности выполнения абсолютных датировок в РЛ ИМЗ СО РАН. Образцы были

представлены в трех вариантах: целлюлоза (VIRI O), древесина (FIRI H), торф (FIRI E). В результате, было получены три виалы, объемом 10 мл. По результатам анализа получены радиоуглеродные возрасты образцов сходные с возрастом международных образцов (Таблица 2).

Таблица 2

РЛ ИМЗ СО РАН			*ГЕРМАНСКИЕ ОБРАЗЦЫ*	
Материал, метод	Код датировки	Возраст C^{14}, лет	Материал, метод	Возраст C^{14}, лет
Древесина	MPI-163	2270±115	Firi H	2232±5
Целлюлоза	MPI-169	150±115	Viri O	125±16
Торф	MPI-170	11220±215	Firi E	11780±7

Благодарности:
Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21-17-00054, https://rscf.ru/project/21-17-00054/

Литература:

[1] Galanin A.A., Burnasheva M.P., Dyachkovskiy A.P., Shaposhnikov G.I. Principles and technology of the modern liquid-scintillation radiocarbon method // Science and Technology in Yakutia. 2014, no. 2 (27), pp. 24-32 (in Russian)
[2] Galanin A.A., Dyachkovskiy A.P., Lytkin V.M., Burnasheva M.P., Shaposhnikov G.I., Kut' A.A. Results of determining the absolute age of samples in the radiocarbon laboratory of the Permafrost Institute SB RAS // Science and Education. 2015, no. 4 (80), pp. 45-49 (in Russian)
[3] Shaposhnikov G.I., Galanin A.A., Lytkin V.M., Pavlova M.R. Absolute dating of the Radiocarbon Laboratory of the Permafrost Institute SB RAS from 2015 to 2017 // Natural resources of the Arctic and Subarctic. 2019, vol. 24, no. 3, pp. 39-49 (in Russian)
[4] E.M. Scott, G.T. Cook, P. Naysmith, R.A. Staff. Learning from the wood samples in ICS, TIRI, FIRI, VIRI, and SIRI //RADIOCARBON. 2019, vol. 61, no. 5, pp. 1293-1304.
[5] E.M. Scott, P. Naysmith, G.T. Cook. Why do we need C14 inter-comparisons?: The Glasgow-C14 inter-comparison series, a reflection over 30 years //Quaternary Geochronology 43, 2018, pp. 72-82.

УДК 551.345

ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА МОСТОВОГО ПЕРЕХОДА ЧЕРЕЗ Р. ЛЕНА

Алена Шестакова, Ярослав Торговкин
Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, ул. Мерзлотная, 36, г. Якутск, 677010, Россия

GEOCRYOLOGICAL MAP OF THE BRIDGE CROSSING THROUGH LENA RIVER

Aliona Shestakova, Yaroslav Torgovkin
Melnikov Permafrost Institute SB RAS, 36 Merzlotnaya St., Yakutsk, 677010, Russia

Annotation. On a Geocryological Map at a scale of 1: 5 000 of the territory of the bridge over the Lena River in the area of Yakutsk shows the spatial heterogeneity of the permafrost-landscape conditions of the territory, due to zonal (altitude-belt), regional and local factors. The information base of geocryological characteristics was the data of engineering and geological surveys. The methodological basis for compiling the map was chosen in such a way as to display the temperature of rocks and taliks, the depth of seasonal thawing-freezing and cryogenic processes. The map is accompanied by a cryo-indicator legend table (GIS attribute table), which reflects the cause-and-effect relationship of geocryological characteristics. Cryoindication tables are attached to the classification units of the digital landscape map of the considered territory of the bridge crossing over the Lena River. All 69 natural-territorial complexes, reflected on the landscape map, were thus characterized from a geocryological point of view.

1. Введение

Территория Республика Саха (Якутия) достаточно хорошо изучена в геокриологическом отношении. Мерзлотно-ландшафтное картографирование в Восточной Сибири имеет достаточно широкое представление [1,2,3]. Основой для составления геокриологической карты мостового перехода через р. Лена в районе г. Якутска масштаба 1:5 000 (Рисунок 1) послужили материалы инженерно-геологических изысканий, результаты буровых и геофизических работ, аналитические результаты инженерно-геокриологических исследований, топографические основы и инженерно-геологические профили. Существенную помощь оказали материалы фондов Института мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, содержащие научные результаты исследований с 1980-х годов до настоящего времени. Литературный и картографический материал, посвященный геокриологическим условиям рассматриваемой территории, также был использован с максимальной отдачей.

Все работы по составлению геокриологической карты можно разделить на два взаимосвязанных раздела: разработка специального содержания и картсоставительские работы. Разработка специального содержания опирается на изучение межкомпонентных связей в природно-территориальном комплексе (ПТК), и заключается в том, что путем анализа и синтеза всех имеющихся материалов – опубликованными, фондовыми и аэрокосмическими данными авторов, выявляется сущность мерзлотного ландшафта. На картсоставительском этапе работ решена задача картографического отображения мерзлотных ландшафтов как сопряженных систем взаимосвязанных компонентов в своеобразную пространственную модель.

Особая роль отводилась составительским работам – выбору способов изображения и оформления для обеспечения лучшей наглядности. Отметим, что температуры пород на карте даны качественным фоном – в цвете, а для изображения глубин сезонного протаивания и мерзлотно-геологических процессов и явлений использованы точки с данными СТС и значки. Линейными знаками обозначены полоса отвода насыпи и моста, геофизические профили и границы таликовых зон.

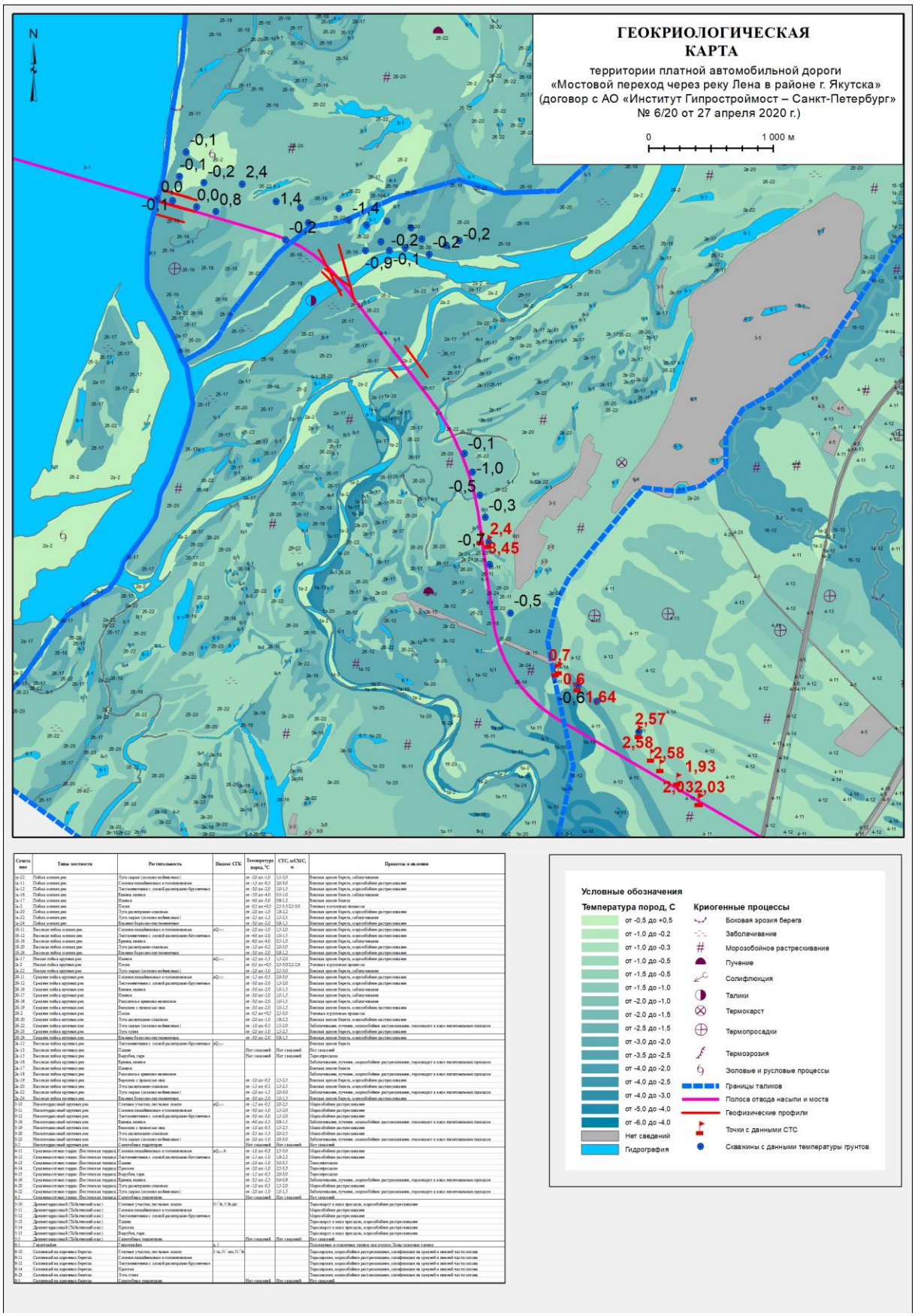


Рисунок 1. Фрагмент геокриологической карты масштаба 1:5 000 территории мостового перехода через р. Лена в районе г. Якутска.

Скважины, вскрывшие талики с указанием интервалов водоносных горизонтов обозначены также точками. Цвета для отображения температур грунтов были выбраны таким образом, чтобы

выделить ландшафты с наиболее низкими и высокими температурами. В этом плане существенную помощь оказали цветовые градации, использованные авторами в ранее составленных аналогичных картах.

Технология составления тематических карт основана в использовании атрибутивных таблиц ArcGIS, которые являются частью цифровой карты [4]. Атрибутивные таблицы составляются на основе изучения связей между компонентами природной среды с помощью ландшафтно-индикационного метода. Для этого были составлены корреляционные таблицы типов местности с преобладающими криогенными процессами, температурой грунтов, мощностью деятельного слоя. Составленная отдельно база основных мерзлотных характеристик типов местности была соединена с атрибутивной таблицей основного слоя «Типы местности» путем операции «Соединение». Исходные данные, представленные в атрибутивной таблице, были сгруппированы и обобщены. Такой подход позволяет наиболее четко пространственно представлять данные о свойствах ландшафтов. Применение атрибутивных таблиц ГИС, основанных на выявлении криоиндикационных свойств ландшафтов, показывает состояние ландшафтов, их внутреннюю структуру, позволяет быстро картографировать их и проводить мерзлотно-ландшафтный пространственно-временной анализ. Унифицированная схема криоиндикационной таблицы позволяет быстро и квалифицированно определить геокриологические характеристики в каждом типе местности для рассматриваемой территории.

2. Распространение средних годовых температур многолетнемерзлых пород.

Температура горных пород наиболее важная характеристика для изучения не только современного состояния ландшафтов, но и их динамики. Изменение температуры грунтов приводит к активизации криогенных процессов, что является основным критерием устойчивости ландшафтов. Ранее температура горных пород в ландшафтных картах давалась косвенно, посредством табличного материала. В современной геокриологии температура горных пород картографируется в основном изотермами, что достаточно неудобно для пространственного ее анализа. Использование ГИС позволяет учитывать ландшафтную дифференциацию для более полного представления пространственного распределения температуры горных пород. Это особенно важно для зон прерывистого и островного распространения ММП.

На геокриологической карте масштаба 1:5 000 отображено 16 интервалов значений температуры грунтов. После некоторого анализа полученных данных следует отметить, что пространственная дифференциация температуры горных пород достаточно разнообразная. Температурные данные были сгруппированы в 4 группы. Так, ландшафты с переходными температурами грунтов от 0,5 до -1 ºС занимают 13,9 % территории. Наиболее распространены высокотемпературные мерзлотные ландшафты (температура от -1 до -2 ºС), которые занимают 19,4 % территории. Среднетемпературные ландшафты (температура грунтов от -2 до -3 ºС) составляют 16,5 % и низкотемпературные (температура грунтов ниже -3 ºС) занимают 14,6 %. Около 36 % территории мостового перехода не содержит сведений о температуре грунтов.

3. Мощность деятельного слоя

Мощность деятельного слоя состоит из сезонно-талого и сезонно-мерзлого слоев и является одной из наиболее динамичных характеристик криолитозоны. Значения мощности деятельного слоя неразрывно связаны с изучением динамики ландшафтов в области вечной мерзлоты. Мощность многолетнемерзлых пород в окрестностях г. Якутска по данным исследований следующая: территория Института мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН – 310 м, с. Хатассы (свинокомплекс) – 285-305 м, п. Жатай – 422 м, п. Маган – 470 м, домостроительный комбинат (ДСК) – 320 м, п. Мархa – 270 м, канадская деревня – 285 м. Обработка значений мощности деятельного слоя с помощью атрибутивной таблицы позволила получить 15 единиц, которые представлены в 5 группах. Анализ полученных данных позволяет заключить следующее: на территории мостового перехода наиболее распространены ландшафты со значениями мощности деятельного слоя более 2 м и занимают 43,5 % территории. Ландшафты со значениями глубин СТС 0,5-1,0 м, 1,0-1,5 м, 1,5-2,0 м занимают 1,2 %, 12,5 % и 6,6 %

соответственно рассматриваемой территории. Незначительные территории – 0,5 % занимают ландшафты со значениями мощности деятельного слоя менее 1 м. Территории, не имеющие сведения о значениях глубин СТС составляют 19 %.

4. Мерзлотно-геологические процессы и явления

На пойме и высокой пойме мелких рек развиваются боковая эрозия берега, морозобойное растрескивание наряду с эоловыми и русловыми процессами, и заболачиванием. На низкой, средней, высокой поймах крупных рек и низкотеррасовом типе местности также наблюдается боковая эрозия берега, морозобойное растрескивание и отчасти пучение, и термокарст в виде полигональных просадок. На пашнях, просеках, вырубках и гарях, находящихся на средневысотных террасах и древнетеррасовом типе местности, развиты термопросадки на переувлажненных участках. На сырых лугах осоково-вейниковых происходит процесс заболачивания. Достаточно опасен также склоновый на коренных берегах тип местности, где получили развитие термоэрозия, морозобойное растрескивание, солифлюкция на средней и нижней части склона. На юго-западе территории мостового перехода наблюдается активное трещинообразование.

На территории мостового перехода имеются подозерные и старичные талики, а также сквозные талики под руслом р. Лены, они занимают 16 % рассматриваемой территории.

5. Литература:

[1] Bosikov, N.P., Vasiliev, I.S., Fedorov, A.N. Permafrost landscapes development zones of the Lena-Aldan interfluve. Yakutsk: IMZ SO AN SSSR, 1985, 124 pp.

[2] Stashenko, A.I. Study of geocryological transformations conditions for the development of forest natural complexes in South of Central Yakutia // Cryogenic physical-geological processes and methods of studying their development, 1987, pp. 93-100 (in Russian).

[3] Fedorov, A.N. Permafrost landscapes of Yakutia: isolation technique and mapping issues. Yakutsk: IMZ SO RAN SSSR, 1991, 140 pp.

[4] DeMers, Michael N. Geographic Information Systems. The basics. Moscow: Data +, 1999, 478 pp. (translated from English).

УДК 556.3

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ЗОН РАЗГРУЗКИ РАССОЛОВ В КАРЬЕРНОМ ПОЛЕ ТРУБКИ «ЮБИЛЕЙНАЯ»

Алексей Янников, Светлана Янникова
Научно-исследовательский и проектный институт «Якутнипроалмаз»,
ул. Ленина, 39, г. Мирный, 678174, Россия

FEATURES OF FORMATION OF BRINE UNLOADING ZONES IN THE QUARRY FIELD OF THE "JUBILEYNAYA" PIPE

Alexey Yannikov, Svetlana Yannikova
"Yakutniproalmaz", 39 Lenina St., Mirny, 678174 Russia

Annotation. The article presents data on the formation of unloading zones of natural brines of the Lower Ordovician aquifer complex in the open pit of the "Yubileinaya" pipe; the intensity and duration of the outflow of highly saline formation waters from marginal reservoirs composed of fractured dolomites and limestones of the Lower Ordovician aquifer complex are considered. Changes in the flow rates and salinity of outflowing brines after opening have a downward trend, an increase in saline salinity with depth is noted.

1. Введение

Коренное месторождение алмазов – кимберлитовая трубка «Юбилейная» приурочена к Алакит-Мархинскому кимберлитовому полю Якутской алмазоносной провинции [1,2,3]. Месторождение расположено в зоне сплошного распространения многолетнемерзлых пород. Нулевая изотерма в районе месторождения зафиксирована на глубине 650–700 м [3,4] от дневной поверхности. В мощной зоне многолетнемерзлых пород ограниченно существуют маломощные линзы и прослои, имеющие отрицательную температуру, но без наличия жильного льда, содержащие свободную воду. К таким линзам и приурочен нижнеордовикский межмерзлотный водоносный комплекс, имеющий ограниченное распространение и характеризующийся весьма низкими значениями фильтрационных параметров [1,2,3]. Несмотря на низкие фильтрационные параметры, данный водоносный комплекс участвует в обводнении месторождения, т.к. вскрыт карьером в отм. +155 м/+110 м. Характер вскрытия в настоящее время – несовершенный, т.к. вскрыто 2 из 6 коллекторов, выделяемых в рамках изучаемой площади.

2. Результаты и обсуждение

Пласты-коллекторы состоят из серий нескольких маломощных пластов-пропластков, суммарная мощность всех коллекторов достигает 28 метров (Таблица 1).

Таблица 1

Характеристика коллекторов нижнеордовикского водоносного комплекса.

№ коллектора	Кровля, м	Подошва, м	Количество пропластков, шт	Суммарная мощность, м	Литология
1	465,0 +155,0	470,0 +150,0	4	4,5	доломиты, кимберлиты
2	493,0 +127,0	509,0 +111,0	7	8,3	доломиты, известняки, кимберлиты
3	518,8 +102,0	528,0 +92,0	2	7,0	известняки, кимберлиты
4	533,0 +87,0	537,0 +83,0	2	2,6	доломиты, известняки, кимберлиты
5	540,0 +80,0	545,3 +74,7	3	2,4	доломиты, кимберлиты
6	549,0 +71,0	556,5 +63,5	4	3,1	доломиты, известняки, кимберлиты

В виду иммобилизационного характера сформированных линз, каждая из них характеризуется своими гидродинамическими параметрами. Но в целом для всего комплекса характерен субнапорный режим.

По химическому составу подземные воды комплекса относятся к хлоридным кальциево-магниевым рассолам с минерализацией от 35 до 120 г/дм^3, обладающим слабой щелочной реакцией. Рассолы агрессивны к металлу и бетону. Газонасыщенность рассолов, водовмещающих пород низкая и не превышает 0,23 м^3/м^3. По составу газы относятся к азотно-углеводородным. Основным компонентом углеводородной смеси является метан (0,098−0,177 м^3/м^3), остальная часть представлена азотом. Водород и гелий в сумме составляют не более 1,74 абс. %, углекислый газ практически отсутствует. Среди углеводородов присутствуют все гомологи до гексана включительно, с незначительными их содержаниями [3,5].

Карьер трубки «Юбилейная» за период исследований 2019–2020 гг. неоднократно вскрывал ордовикский межмерзлотный водоносный комплекс, как непосредственно самим карьером, так и во время опережающего бурения скважин эксплуатационной разведки [6,7]. Линзы рассолов НоВК вскрывались как во вмещающих породах, так и в кимберлитах данного месторождения (Рисунок 1). Ниже приведены зафиксированные факты вскрытия природных рассолов на месторождении:

– 07 февраля 2019 года эксплоразведочной скважиной 042/296, расположенной в центральном кимберлитовом теле, на глубине 120,0 м (а.о. +65,0 м), были вскрыты ненасыщенные рассолы. По результатам наблюдений был установлен слабонапорный характер зафиксированной обводнённой зоны, установившейся уровень равен +103 м, т.е. напор составил 38 м. Минерализация вод – 55,8 г/л.

– 28 февраля 2019 года эксплоразведочной скважиной 030/292, расположенной в центральном кимберлитовом теле, на глубине 75,0 м (а.о. +110,0 м), были вскрыты ненасыщенные рассолы. По результатам наблюдений был установлен слабонапорный характер зафиксированной обводнённой зоны, установившейся уровень составил +138 м, т.е. напор –28 м. Минерализация вод – 41,6 г/л.

– 31 октября 2019 года эксплоразведочной скважиной 040/302, расположенной в центральном кимберлитовом теле, на глубине 6,0 м (а.о. +154,0 м), были вскрыты соленые воды. По результатам наблюдений был установлен безнапорный характер зафиксированной обводнённой зоны, установившейся уровень составил +154,0 м, т.е. напор – 0 м. Минерализация вод – 49,0 г/л.

– 20 ноября 2019 года эксплоразведочной скважиной 048/298, расположенной в центральном кимберлитовом теле, на глубине 6,0 м (а.о. +154,0 м), были вскрыты соленые воды. По результатам наблюдений был установлен безнапорный характер зафиксированной обводнённой зоны, установившейся уровень составил +154,0 м, т.е. напор – 0 м. Минерализация вод – 48,0 г/л.

– 16 декабря 2019 года эксплоразведочной скважиной 040/301н, расположенной в центральном кимберлитовом теле, на глубине 30,0 м (а.о. +140,0 м), были вскрыты соленые субнапорные воды. Первые 12 часов после вскрытия наблюдался самоизлив вод, Объем излившихся вод ≈ 20 м^3. Через сутки после вскрытия уровень в скважине зафиксирован на глубине 8 м (а.о. +162 м). Минерализация вод составила 44,0 г/л.

– 14 января 2020 в южной части центрального кимберлитового тела горными работами была вскрыта линза межмерзлотных ненасыщенных рассолов (с минерализацией = 50 г/л). Объём линзы составил ≈ 200 м^3. После разовой разгрузки дальнейшего притока обнаружено не было.

– 21 января 2020 в юго-восточной части центрального кимберлитового тела, горными работами была вскрыта линза межмерзлотных ненасыщенных рассолов (с минерализацией = 35 г/л). Объём линзы составил ≈ 100 м^3. После разовой разгрузки дальнейшего притока обнаружено не было.

– 06 февраля 2020 в северо-восточной части центрального кимберлитового тела, вскрыта линза межмерзлотных ненасыщенных рассолов (с минерализацией = 55 г/л). Объём линзы составил ≈ 200 м^3.

Рисунок 1. Линзы природных рассолов НоВК, вскрытых карьером в январе-феврале 2020 года

3. Выводы

Анализируя полученные данные, можно сделать следующие заключения:

1. Изменение дебитов и минерализации изливающихся рассолов после вскрытия имеют нисходящий тренд, связанный с исчерпанием естественных запасов пластовых вод в коллекторах НоВК.
2. Отмечается рост минерализации рассолов с глубиной, связанный, по всей видимости, с большим воздействием нижележащего ВВК.
3. Расход зафиксированных и наблюдаемых водопроявлений свидетельствует о характерной и описанной выше локализации коллекторов НоВК, и об отсутствии прямой связи между линзами.

4. Литература:

[1] Kolganov V.F., Akishev A.N., Drozdov A.V. Mining and geological features of primary diamond deposits in Yakutia. Mirny, 2013. pp. 96-121.

[2] Hydrogeology of the USSR. Vol. XX. Yakut ASSR. Moscow, Nedra, 1970, pp. 83-100.

[3] Drozdov A.V., Iost N.A., Lobanov V.V. Cryohydrogeology of diamond deposits in Western Yakutia. Irkutsk: ISTU, 2008, 507 pp.

[4] Klimovsky I.V., Gotovtsev S.P. Cryolithozone of the Yakut diamondiferous province. Novosibirsk: Nauka, 1994, 167 pp.

[5] Gladkov A.S., Drozdov A.V., Koshkarev I.A., Potekhina I.A., Afonkin A.M. Assessment of the structural and tectonic structure of the deep horizons of the Aikhal pipe for setting hydrogeomechanical monitoring // Izvestiya Sibirskogo otdeleniya RAEN. Geologiya, poiski i razvedka rudnykh mestorozhdenii, 2015, vol.2, pp. 46-56.

[6] Yannikov A.M. Information report on the carried out hydrogeological works at the facilities of the Aikhal GOK for 2019. Aikhal. 2020.

[7] Yannikov A.M., Karateev I.A. Information report on the hydrogeological works carried out at the Aikhal GOK facilities for 2020. Aikhal. 2021.

ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ РАЗВЕДКИ И ДОБЫЧИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

УДК 622.271.5

ПЕРЕРАБОТКА ТЕХНОГЕННЫХ ПЕСКОВ РОССЫПНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ КОМБИНИРОВАННЫМ СПОСОБОМ

Александр Бураков
Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского СО РАН,
пр. Ленина, 43, г. Якутск, 677980, Россия

PROCESSING OF TECHNOGENIC SANDS OF A PLACER DEPOSIT BY A COMBINED METHOD

Alexander Burakov
Chersky Institute of Mining of the North SB RAS, 43 Lenin Ave., Yakutsk, 677980, Russia

Annotation. Combined processing of placer deposit sands is aimed at minimizing volumes supplied for enrichment. Method is carried out in two stages: primary sorting with obtaining granular concentrate of certain size and additional concentration of gold-containing fraction by natural separation of minerals by density in intermediate technological vessel. The method can be used in the presence of a large amount of fine gold in association with clay minerals.

1. Введение

Перспективы разработки техногенных месторождений золота связаны с извлечением мелкого и тонкого золота, однако при существующих технологиях обогащения мелкое и тонкое золото из техногенных отложений не извлекается даже при многократном перемыве. Повышение коэффициента извлечения металла, особенно мелкого и тонкого золота, требует использования всё более сложных и дорогостоящих обогатительных аппаратов, производительность которых сравнительно невысока. Это характеризует необходимость минимизации объема конечного продукта, подаваемого на обогатительные аппараты. В способе комбинированной переработки золотосодержащих песков предложены две стадии сокращения их объемов с соответствующим повышением концентрации золотосодержащей фракции.

2. Основной раздел статьи

На значительной части россыпных месторождений Якутии и других восточных районов Российской Федерации пески имеют сложный гранулометрический состав, высокую глинистость, а значительная часть металла представлена мелким и тонким золотом, что затрудняет переработку песков и извлечение полезного компонента. По имеющимся данным, россыпные месторождения Якутии содержат от 25 до 50 % и более мелкого золота (-1 мм). Доля мелкого золота по районам золотодобычи колеблется в широких пределах. Так, в Алданском районе доля золота крупностью -0,5 мм составляет более 35 %, в Оймяконском районе – около 10 %, в Нерюнгринском районе – более 17 %.

Традиционные технологии обогащения золотоносных песков (шлюзовые и шлюзово-отсадочные схемы) достаточно эффективно извлекают золото "гравитационной" крупности (+0,25 мм), тогда как мелкое золото (-0,25 мм) и тонкое (-0,1 мм) извлекается неудовлетворительно. Частицы размером до 0,2 мм извлекаются на 97-98 %, класс крупностью -0,2+0,1 мм - лишь на 50 %, класс -0,1 мм вообще не поддается извлечению [1].

По некоторым оценкам, при реально учтенных потерях золота в эфелях 3–5 %, реальное количество "потерянного" золота может достигать 10–20 %, иногда доходя до 40 % от добытого.

Эти данные были подтверждены при испытании высокоэффективных современных установок для улавливания мелкого и тонкого золота на ряде месторождений Якутии. Естественно, потери при обогащении напрямую зависят от ситовой характеристики золота, а также ряда других факторов, которые нужно учитывать при оценке перспектив месторождения. Для примера можно привести данные по месторождению руч. Нимгеркан (Южная Якутия), где доля золота размером -0,5 мм в техногенных отложениях составила 85 %, при среднем содержании 1,07 г/т. Следует учесть при этом, что опробование проводилось на традиционных обогатительных установках, с доводкой шлиха вручную на лотке. При использовании современных обогатительных установок для извлечения мелкого и тонкого золота количество запасов на данном месторождении может возрасти на 20–30 % [2].

В работах ведущих специалистов по техногенным россыпным объектам присутствует обоснованное мнение, что "содержания золота и попутных ценных компонентов закономерно увеличиваются к конечным продуктам эксплуатации россыпей, что обусловлено перераспределением составляющих песков "пустая масса – полезный компонент" в процессе промывки и доводки" [3].

С целью повышения эффективности и рационализации процесса обогащения сотрудниками ИГДС предложено обоснование возможности сокращения первоначальной крупности подрешетного (обогащаемого) материала с 50 (80) мм (для наиболее распространенных промывочных установок, например ГГМ и ПГШ) до 30 мм (например, прибор ПБШ-40) и проведена оценка возможного уменьшения объема перерабатываемых песков с учетом корректировки граничной крупности рассеивания. Согласно нормативам ВНИИ-1 максимальная крупность золота, используемая методикой, составляет 50 мм. Исходя из средних значений классов крупности продуктивных песков, по результатам проведенных исследований, классы более 50 мм составляют 31,5 % общего объёма переработки песков. Соответственно, оставшаяся часть песков составит 68,5 %. При использовании максимального размера 30 мм величина отсекаемой (отвальной) фракции составит 40,2 %.

Часть песков (+30 мм), которую можно отсеять на 1-й стадии сортировки, составляет соответственно 28 %, 48 %, 34 % в Алданском, Оймяконском и Нерюнгринском районах. Снижение крупности питания обогатительных аппаратов на отдельных россыпях теоретически возможно и до размера менее 30 мм: месторождение Джеконда до 5 мм, месторождение Правый Нимгер до 2 мм, месторождение Турах-Юрях до 5 мм. и т. д. В каждом конкретном случае, исходя из теоретических предпосылок, целесообразно обогащать на шлюзах только золотосодержащие классы крупности, если есть техническая возможность удалить без потерь золота более крупные - непродуктивные классы, в частности, грохочением.

Меньшая крупность подрешетного материала (обогащаемого на шлюзах) позволит использовать в обогатительных процессах оборудование с высокими показателями извлечения, но с малой производительностью, применение которых ранее было ограничено. Известно [4], что улавливающая способность шлюза по длине постоянна, а повышение извлечения самородного золота зависит от средней скорости и глубины потока пульпы, которые пропорциональны крупности подрешетного материала. При этом минимальное значение скорости потока на шлюзах ограничивается двумя условиями: условием селективности и необходимости сохранения транспортирующей способности потока для твердой фазы с учетом ее максимальной крупности и консистенции двухфазного потока. В общем случае, для обеспечения условий обогащения при уменьшении средней скорости потока необходимо снижение глубины потока, что возможно при условии уменьшения максимальной крупности обогащаемых песков.

Для россыпных месторождений установлены зависимости изменения предельных границ классов крупности некондиционного сырья, отсеиваемого в процессе дезинтеграции, от гранулометрических характеристик песков и металла, для различных типов промывочных приборов и по ним рекомендованы границы крупности питания. Минимально возможная крупность, или предельная граница отсеиваемого класса, определяется по разработанной совмещенной гранулометрической шкале металла и песков для каждого месторождения. В зависимости от изменения граничного класса крупности изменяется перерабатываемый объем

золотосодержащего сырья. Минимизация объемов переработки достигается при крупности отсева, превышающей максимальный класс крупности металла [5].

В ИГДС СО РАН ранее был разработан способ комбинированной переработки песков, позволяющий значительно сократить объемы непродуктивной фракции, подаваемой на обогащение, и повысить извлечение металла [6]. Помимо первичной сортировки песков, с отсеиванием непродуктивной фракции, способ предусматривает вторую стадию сортировки – естественную классификацию материала по плотности, с уходом наиболее мелких глинистых фракций в слив. Классификация происходит в технологических емкостях, имеющихся при любых способах отработки россыпей. В результате этого в нижней части разреза создается слой с повышенной концентрацией ценного компонента, в дальнейшем, после уборки верхнего слоя, направляемый на обогащение. В переработку вовлекаются ранее уходящие в слив частицы золота -0,2 мм, что позволит дополнительно извлечь до 10% металла, в зависимости от состава песков и металла россыпи.

При технологической реализации способа на конкретных месторождениях необходимо учитывать особенности гранулометрического состава металла и вмещающих песков, процесса осаждения и способов управления им, намыва поверхности хранилища, забора продуктивной пульпы различной консистенции.

В результате анализа, проведенного при разработке способа, получены следующие выводы:

1. Существуют физико-технические предпосылки для разделения песчано-глинистых частиц и частиц золота по плотности путём проведения комплекса мероприятий, обеспечивающих создание продуктивного высококонцентрированного слоя либо на месте добычных работ, либо в специально создаваемых котлованах.
2. Основными способами формирования обогащённого пласта являются различные виды акустического воздействия, позволяющие ускорить процессы дезинтеграции глинисто-песчаной массы и выделения из неё продуктивной части.
3. Способы управления технологией намыва, регулировки консистенции всасываемой гидросмеси, техническая возможность забора высококонцентрированной (до 50 %) пульпы, в том числе и в условиях отрицательных температур могут послужить основой практической реализации технологии с созданием промежуточных ёмкостей для естественной классификации материала по плотности, в том числе с использованием методов акустического воздействия.

3. Выводы

На основе анализа состава песков и металла россыпей Якутии, в том числе находящихся в категории техногенных месторождений, предложена двухстадийная минимизация объемов конечного продукта, подаваемых на обогатительные аппараты. В результате предварительной сортировки снижение объемов может составить от 25 до 40 %, а в результате естественной классификации по плотности – ориентировочно ещё на такую же величину.

Предварительная минимизация (сортировка) имеет в своей основе установленные зависимости изменения предельных границ классов крупности некондиционного сырья, отсеиваемого в процессе дезинтеграции, от гранулометрических характеристик песков и металла, для различных типов промывочных приборов.

Процесс дополнительной концентрации мелких частиц золота основывается на известном эффекте различия скоростей падения минералов в воде в зависимости от их удельного веса, в результате чего в нижней части разреза создается слой с повышенной концентрацией ценного компонента, в дальнейшем, после уборки верхнего слоя, направляемый на обогащение.

В зависимости от конкретного состава песков и металла россыпи способ позволит дополнительно извлечь до 10 % металла, ранее уходящего в потери.

4. Литература:

[1] Moiseenko V.G., Ostapenko N.S., Mironyuk A.F. Unconventional approach to the development of man-made gold-bearing placers // Mining Magazine, 2006, no. 4, pp. 66-68.

[2] Vnukov D.A., Kotov F.S. Prospects for the development of man-made placers in modern conditions of subsoil use // Gold and technology. no. 3 (13), 2011.

[3] Mirzekhanov G.S., Mirzekhanova Z.G. Resource potential of man-made formations of worked gold-bearing placers // Mining journal. 2005, no. 1, pp. 37-42.

[4] Burakov A.M., Ermakov S.A., Kasanov I.S. Minimization of processing volumes of gold-bearing sands of placer deposits of Yakutia according to the criterion of maximum size of non-gold-bearing materials // Mining information and analytical bulletin. 2014, no. 4, pp. 138-148.

[5] Zamyatin O.V. Enrichment of gold-containing sands on locks. Main regularities and technological capabilities of the process // OJSC Irgiredmet, Gold Mining, No. 169, December, 2012.

[6] Pat. № 2449126 of the Russian Federation. Method of combined processing of sands of the placer gold deposit of the Big Kuranah River / S.A. Ermakov, A.M. Burakov, S.V. Panishev, I.S. Kasanov, I.V. Ivanov // Opubl. In BI. 2012, no. 12.

УДК 622.33:553.04

ОБ ИЗМЕНЕНИИ ПОТЕНЦИАЛА УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПРИ РАЗВЕДКЕ И РАЗРАБОТКЕ

Владимир Гаврилов, Елизавета Фрейдина
Институт горного дела им. Н.А. Чинакала СО РАН, Красный проспект, 54, г. Новосибирск, 630091, Россия

ON CHANGE IN POTENTIAL OF COAL DEPOSITS DURING EXPLORATION AND MINING

Vladimir Gavrilov, Elizaveta Freidina
Chinakal Institute of Mining, SB RAS, 54 Krasnyj Ave., Novosibirsk, 630091, Russia

Annotation. The change in the natural potential of coking coal deposits during their multi-stage development in South Yakutia is considered. It is shown that depending on the market conditions, geological features of the deposits and the accepted options for the development of mining operations, the potential can increase, decrease or remain practically at the same level. The accumulation, processing and correct use of geological, technological and economic information on the operation of the chains of exploration, production and supply of coal helps to reduce the level of uncertainty in making various decisions. Mining enterprises should be focused on maximizing the potential inherent in nature through the combination and rational use of various elements of resource-saving geotechnologies.

1. Введение

Разведка и последующее освоение угольных месторождений является длительным и многоэтапным процессом. Утверждённые запасы, как вероятностный, в определённой степени неточный и недостоверный геологический ресурс, требуют постоянного дополнительного изучения и переоценки для формирования максимально полного и точного представления об их природной сущности. Проведение такой работы связано с необходимостью последующей генерации на основе первичной и синтезированной геологической информации конкретных технологических и организационно-экономических проектных и производственных решений, которые в процессе освоения могут и должны корректироваться под изменяющиеся внешние условия и возможности предприятий, входящих в цепочки разведки, добычи и поставок угля потребителям.

Анализ большого количества литературных и фондовых материалов показывает, что вопрос формирования и изменения потенциала месторождений ценных марок угля в ходе их освоения требует дополнительного изучения.

2. Объекты исследования

Нерюнгринское и Эльгинское месторождения коксующихся и энергетических углей (Южно-Якутский бассейн), характеризующиеся наличием ценных и дефицитных марок топлива, высоким средним уровнем его основных технологических свойств, пространственной изменчивости качественных и количественных ряда показателей в пластах сложного строение, предназначенных в основном для отработки открытым способом.

3. Методика, результаты и их обсуждение

Освоение сложных по строению, условиям залегания и качеству запасов угольных месторождений требуют повышения уровня определённости, достоверности и надежности знаний об их минерально-сырьевом потенциале на основе разносторонней вещественной [1] и стоимостной [2] оценки для последующего эффективного и конкурентоспособного преобразования в готовую продукцию. Дифференциация потенциала на природный, предельный, достижимый и инвестиционный [3] явилась методологическим приемом разведения сложного на

многообразие его проявления по уровням, соответствующим стадиям освоения, и расширила представления о рассматриваемой категории.

Основными причинами для более глубокой дифференциации потенциала угольного месторождения являются следующие:

- появляются новые потребители, расширяющие и уточняющие условия применения угля в различных технологиях, что способствует пересмотру ценности различных марок и сортов топлива;
- освоению подлежат сложные по строению, условиям залегания и качеству сырья месторождения с запасами: имеющими вероятностный, неточный и недостоверный характер; требующими их постоянной переоценки при многостадийной разведке и разработке георесурса для приведения их в соответствие с требованиями рыночной среды;
- требуются значительные финансовые и материальные ресурсы с предоставлением инвесторам максимально достоверных знаний о реализуемости и доходности проектов освоения месторождений для снижения разнообразных рисков;
- возрастает сложность трансформационных процессов в цепочках поставок минерального сырья, которые должны работать согласованно в трудно прогнозируемой конкурентной внешней среде;
- формируются дополнительные возможности разведки, добычи, обогащения, переработки извлекаемых основных и вспомогательных видов минерального сырья для роста эффективности освоения месторождений путём рационального комбинирования различных технологий, их параметров, организационно-экономических мер.

Оценка рассматриваемых сложных по строению и неоднородных по качеству угля месторождений показывает, что по мере повышения уровня наших знаний о них в результате поэтапной разведки и освоения, природный потенциал (Рисунок) и непосредственно связанный с ним достижимый, как правило, меняются.

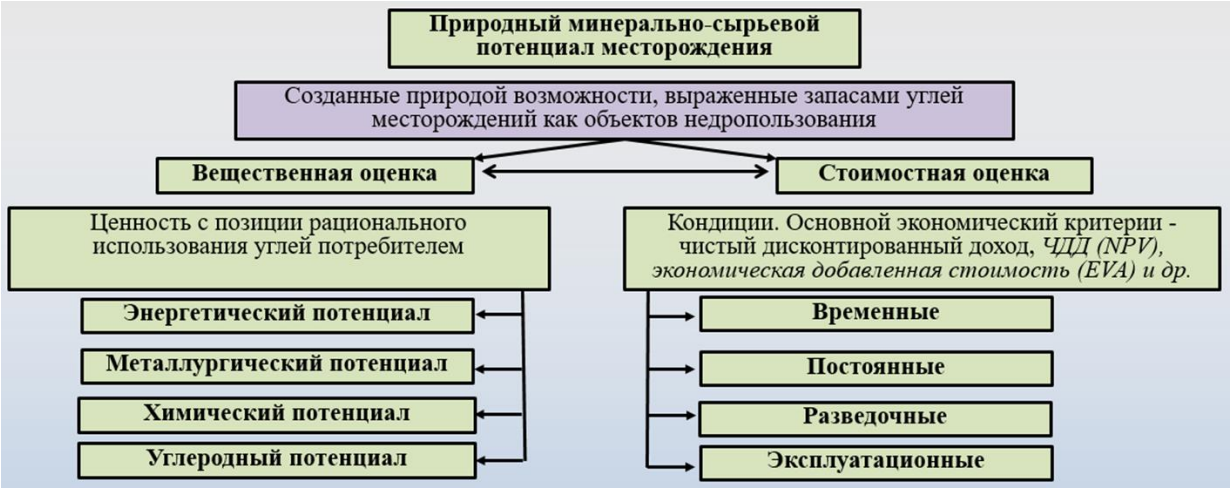


Рисунок. Природный потенциал угольного месторождения (авторская трактовка, составлено с использованием [2-4])

Проиллюстрируем это на примере Нерюнгринского месторождения, масштабное изучение и разработка одноименным разрезом, которого насчитывает уже много десятков лет. Последовательный переход от стадий оценочных работ, предварительной и детальной разведки, эксплуатационной доразведки, опережающего и забойного опробования привёл к:

- изменению представлений о границе окисленных и неокисленных углей: от простой изогнутой в плане линии к широкой зоне с неровными, часто трудно прогнозируемыми границами в плане и в разрезе, что привело к уменьшению запасов лучших по качеству углей марки выше К9, изменению планов ведения вскрышных работ, форсированной подготовке и

отработке запасов с требуемым качеством на наиболее привлекательных с геотехнологических позиций участках;

- дифференциации пласта «Мощный» на три пачки А, В, С и участки по фронту горных работ, имеющих разную зольность, обогатимость, спекаемость;
- увеличению максимальной мощности пласта с 66 м до 80 м и 101 м на локальных участках, способствовавшему корректировке схем вскрытия пласта «Мощный» и размещения отвалов, определённому росту запасов с легкообогатимыми углями, имеющими высокий уровень спекаемости;
- включению запасов германия в основном пласте и вмещающих его породах в баланс с последующим исключением;
- одновременному использованию для оценки пригодности угля для получения высококачественного кокса одновременно нескольких показателей.

Данный перечень может быть расширен. Схожие примеры, разработанные с участием авторов и приведенные, в частности в [3,4], характерны и для осваиваемого Эльгинского месторождения.

Наиболее значимые для коксующихся углей показатели качества (спекаемость, окисленность, зольность, обогатимость, содержание вредных компонентов) в пространстве пластов разной мощности варьируют в широком диапазоне. Это требует при ведении горнопромышленных геологических работ и непосредственно горных работ по добыче и подготовке угля к первичной переработке и поставкам потребителям выполнения комплекса специальных мероприятий по управлению качеством извлекаемого из недр минерального сырья.

На указанных объектах наряду с традиционными для оценки качества угля показателями используются и новые, часть из которых в практике оценки запасов в стране ранее не применялась. Такая ситуация ориентирует менеджмент на выполнение объективно необходимых работ, связанных с дополнительной оценкой углей и переоценкой потенциала месторождений при поэтапном увеличении уровня и глубины знаний о них.

3. Выводы

Для сложных по строению и неоднородных по потребительским свойствам коксующегося угля месторождений характерно изменение заложенного природой минерально-сырьевого потенциала, уточнение которого, не всегда в лучшую сторону, происходит во время длительного периода разведки и разработки.

Добывающие предприятия должны быть ориентированы на максимальное достижение заложенного природой потенциала посредством комбинирования и рационального применения различных элементов ресурсосберегающих геотехнологий, основа которых базируется на полноценном уровне знаний об объекте освоения.

4. Литература:

[1] Gert A.A., Yagolnitser M.A., Zhukov K.A. Estimates of the resource potential of the new development areas of the Siberian Federal District, valuation of mineral deposits Novosib. Region, Geo-Siberia. 2009, no. 1 (in Russian).

[2] Shchadov M.I., Artemyev V.B., Shchadov V.M., Gagarin S.G. Natural potential of fossil coals. Rational use of their organic matter. In 2 vols. Moscow: Nedra, 2000 (in Russian).

[3] Freydina E.V., Botvinnik A.A., Dvornikova A.N. Systemc management of the quality of mined coals in open pit mining // Novosibirsk, 2019, 256 pp. (in Russian).

[4] Khoyutanov E. A, Gavrilov V. L. Coal quality control in mining complex-structure deposits // Journal of Mining Science, 2019, vol. 55, no. 3, pp. 399-406.

УДК 622.24

ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ БУРЕНИЯ СКВАЖИН С ТЕЛЕСКОПИЧЕСКИМИ БУРОВЫМИ ШТАНГАМИ

Игорь Егоров, Рево Скрябин, Дмитрий Татаринов, Александр Сивцев
Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, ул. Кулаковского, 50, г. Якутск, 677000, Россия

ABOUT THE EFFICIENCY OF WELL DRILLING USING TELESCOPIC DRILL PIPES

Igor Egorov, Revo Skryabin, Dmitriy Tatarinov, Aleksandr Sivtsev
M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, 50 Kulakovskiy St., Yakutsk, 677000, Russia

Annotation. This article presents a comparative analysis of the time spent on tripping operations when drilling wells using telescopic drill rods and with drill pipes with a threaded connection. Based on the results of the study on calculating the time spent on tripping operations when drilling wells, it was concluded that drilling wells using drill pipes with a threaded connection at a small interval of coring is extremely ineffective, since with an increase in the depth of drilling and the number of drill pipes, the time spent on tripping operations increases dramatically. The use of telescopic drill rods significantly accelerates the process of tripping operations and will significantly improve the technical and economic indicators of rotary drilling of large diameter wells in the exploration of alluvial deposits.

1. Введение

Как показывает практика, наибольшее количество времени при бурении скважин уходит на проведение спуско-подъемных операций (СПО). В зависимости от глубины бурения скважин, время, затрачиваемое на СПО может занимать от 20 до 90 % от всего времени бурения скважины. В настоящий момент при бурении не глубоких скважин большого диаметра широко применяются телескопические буровые штанги (Келли-штанга).

При бурении скважин с телескопическими буровыми штангами, для подъема бурового снаряда необходимо путем обратного вращения разомкнуть блокировочные замки секций и вытянуть лебедкой самую последнюю секцию до тех пор, пока все трубы не сложатся внутри ведущей секции. Для спуска необходимо отпускать последнюю секцию до тех пор, пока буровой снаряд не достигнет забоя.

За счет своей особой конструкции и принципа работы, телескопические буровые штанги позволяют существенно ускорить время проведения СПО. Для того чтобы показать эффективность бурения скважин с применением телескопических буровых штанг, по сравнению с буровыми трубами с резьбовым соединением, мы рассчитали затраты времени на СПО в зависимости от глубины бурения скважины.

2. Затраты времени на спуско-подъемные операции

Расчет времени, затрачиваемого на спуско-подъемные операции при бурении скважин с применением телескопических буровых штанг (T1) возможно осуществить по следующей формуле:

$$(1)\ T1 = \left(\frac{H}{V} + t_1\right) \cdot 2$$

где, H – глубина скважины, м; V – средняя скорость спуска и подъема бурового снаряда, м/мин; t_1 – время, затрачиваемое на блокировку или разблокировку замков телескопической буровой штанги и подготовку бурового снаряда к подъему, м.

Расчет времени, затрачиваемого на спуско-подъемные операции при бурении скважин с применением одинарных буровых труб с резьбовым соединением (T2) можно осуществить по формуле:

$$(2)\ T2 = \left(\frac{H}{V} + n \cdot t_2\right) \cdot 2$$

где, n – количество буровых труб или бурильных свеч необходимых для достижения проектной глубины скважины; t_2 – время, затрачиваемое на свинчивание и развинчивание буровых труб и подготовку к подъему бурового снаряда, м.

$$(3)\ n = \frac{H}{l_{труб}} = " \uparrow "$$

где, $l_{труб}$ – длина буровой трубы или бурильных свеч, м; "↑" - ответ необходимо округлить в большую сторону до ближайшего целого числа

На рисунке (Рисунок 1) представлена сравнительная диаграмма затрат времени на спуско-подъемные операции в зависимости от глубины бурения скважин при бурении с применением телескопических буровых штанг и одинарных буровых труб (свечей) с резьбовым соединением.

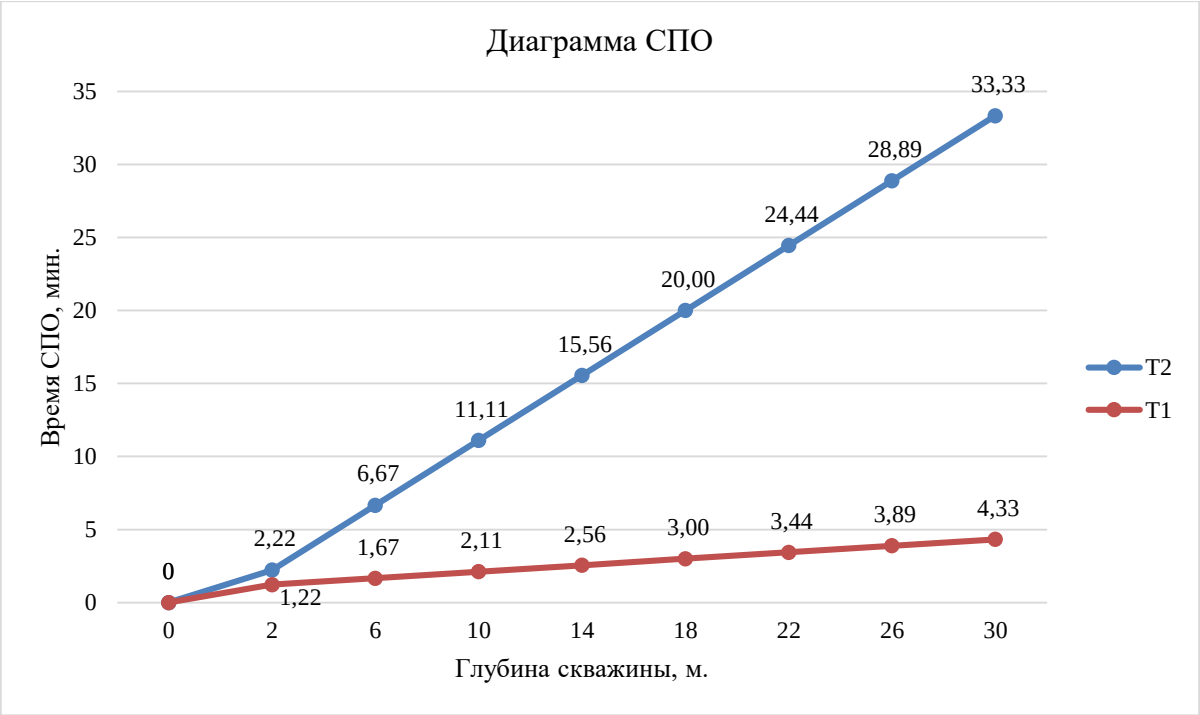


Рисунок 1. Затраты времени на спуско-подъемные операции при бурении с телескопическими буровыми штангами (Т1) и одинарными буровыми штангами с резьбовым соединением (Т2). При V=18 м/мин; t_1=0,5 мин; t_2=1 мин; $l_{труб}$=2 м.

3. Выводы

По результатам проведенного исследования по подсчету затрат времени на спуско-подъемные операции при бурении скважин, был сделан вывод о том, что бурение скважин с применением стандартных одинарных бурильных труб с резьбовым соединением при малом интервале опробования является крайне неэффективным, так как с увеличением глубины бурения и количества буровых труб (свечей) время на СПО резко возрастает (Рисунок 1). Применение телескопических буровых штанг в разы ускоряет процесс спуско-подъемных операций и позволит существенно улучшить технико-экономические показатели вращательного бурения скважин большого диаметра на разведке россыпных месторождений.

УДК 622.3

ПРОГНОЗ ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА РУДНОГО ШТАБЕЛЯ ПРИ КУЧНОМ ВЫЩЕЛАЧИВАНИИ ЗОЛОТА В УСЛОВИЯХ КРИОЛИТОЗОНЫ

Михаил Каймонов
Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского СО РАН, пр. Ленина, 43, г. Якутск, 677980, Россия

FORECAST OF THE THERMAL REGIME OF THE ORE STAKE IN THE HEAP LEACH OF GOLD UNDER THE CONDITIONS OF THE CRYOLITHOZONE

Mikhail Kaimonov
Chersky Institute of Mining of the North SB RAS, 43 Lenin Ave., Yakutsk, 677980, Russia

Annotation. The issues of extending the period of heap leaching of gold in the permafrost zone are considered. New, protected by patents of the Russian Federation, methods of constructive and volumetric-planning solutions that contribute to maintaining the optimal leaching temperature in the massif of the ore pile have been proposed. A mathematical model has been developed and multivariate calculations have been carried out to predict the thermal regime of an ore pile in the process of gold leaching in different periods of the year. New ways of intensifying the leaching process in cold climates are proposed.

1. Введение

Характерной чертой развития производства драгоценных металлов в настоящее время является «продвижение» предприятий кучного выщелачивания в восточные и северные регионы Российской Федерации в зоны всё более сурового климата. Широкое внедрение технологии кучного выщелачивания на российских месторождениях осложняется суровыми климатическими условиями. Простой перенос «типовых» решений, принятых в ведущих золотодобывающих странах, на российскую почву показал их недостаточную эффективность, а в ряде случаев и полную непригодность [1-5].

2. Пути интенсификации процесса выщелачивания в суровом климате

Для продвижения технологий КВ в районы Крайнего Севера необходимо решить вопросы продления периода промсезона, что требует разработки новых и коренного усовершенствования существующих технологий управления тепловым режимом рудного штабеля для активизации процесса выщелачивания. Для этого необходимо разработать новую комплексную математическую модель процессов тепломассопереноса при кучном выщелачивании полезных ископаемых в условиях Крайнего Севера, которая позволит с высокой степенью надёжности оценить ряд важных характеристик КВ золота в зонах многолетней мерзлоты и продлить период выщелачивания [6,7].

На площадке с установившимся тепловлажностным режимом грунтов основания возведен штабель из разрушенных горных пород определенных геометрических размеров. Начальные распределение температуры, влажности, физикотехнические и теплофизические свойства горных пород в теле и основании штабеля известны.

В теле возведенного штабеля под влиянием теплообмена с атмосферным воздухом (верхнее основание, правый и левый откосы) и грунтами основания происходит формирование определенного температурного режима. В основании штабеля естественный температурный режим грунтов изменяется в соответствии с новыми условиями теплообмена на поверхности. Необходимо выяснить динамику температурного поля штабеля и его основания в период его орошения с учетом сезонного и непрерывного, круглогодичного КВ золота.

На рисунке 1 представлены изолинии в массиве рудного штабеля через 4 месяца после его возведения и начала процесса выщелачивания (15 марта) в случае отсутствия теплоизоляции его основания (а) и с теплоизоляцией его основания полистиролом толщиной 0,1 м (б). Как видно из

рисунка 1.а отсутствие в основании штабеля теплоизоляции негативно сказывается на его тепловом режиме, снижая температуру внутри кучи более чем на 4°С по сравнению с вариантом с теплоизоляцией (рисунок 1.б), что существенно уменьшает скорость выщелачивания золота и, соответственно, удлиняет этот процесс.

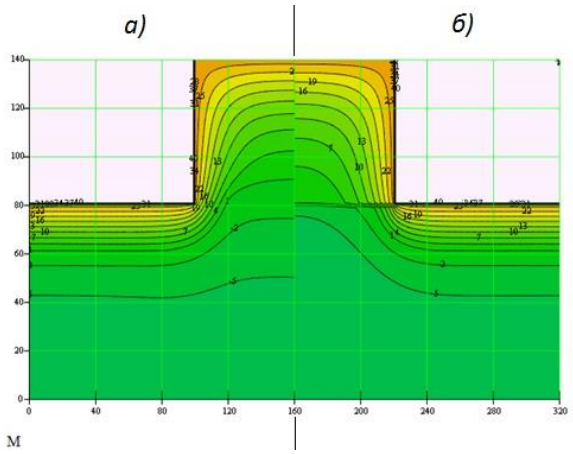


Рисунок 1. Изолинии температур в массиве рудного штабеля через 4 месяца после его возведения: а) теплоизоляция в основании кучи отсутствует; б) теплоизоляция в основании кучи полистирол 0,1 м. Штабель возведён 15 марта.

На рисунке 2 представлены изолинии в массиве рудного штабеля через 4 месяца после его возведения и начала процесса выщелачивания (1 марта) в случае отсутствия теплоизоляции его основания (а) и с теплоизоляцией его основания полистиролом толщиной 0,2 м (б). Увеличение толщины теплоизоляции позволяет сдвинуть процесс начала выщелачивания кучи на более ранние сроки (как минимум 2 недели) и уменьшить негативное влияние мёрзлого основания кучи на процесс извлечения золота.

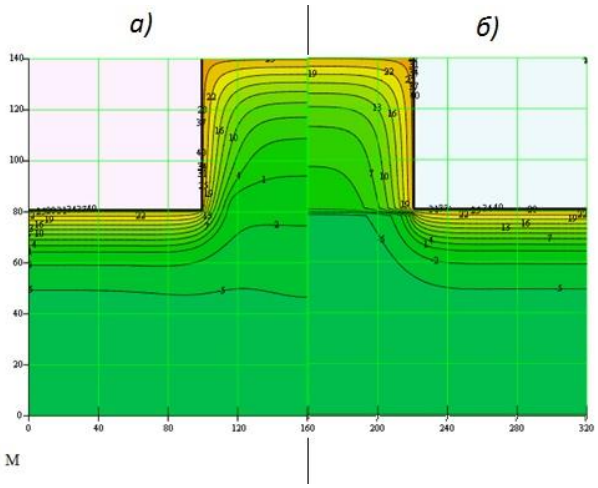


Рисунок 2. Изолинии температур в массиве рудного штабеля через 4 месяца после его возведения: а) теплоизоляция в основании кучи отсутствует; б) теплоизоляция в основании кучи полистирол 0,2 м. Штабель возведён 1 марта.

3. Выводы

Разработана математическая модель прогноза теплового режима рудного штабеля в процессе выщелачивания золота в условиях криолитозоны.

По разработанной компьютерной программе проведены численные расчёты различных вариантов, учитывающие геометрические размеры кучи, теплоизоляцию, время возведения, температуру выщелачивающего раствора и т.д. и т.п.

На основе анализа имеющихся технических решений предложены новые способы выщелачивания золота в условиях криолитозоны [8-10].

4. Литература:

[1] Ignatov A.A. Fiziko-himicheskie processy gornogo proizvodstva (matematicheskie modeli vyshhelachivanija rud i ottaivanija mjorzlyh porod), M.: Nauka, 1986, 96 pp. (translated from English).

[2] Habirov V.V., Zabel'skij V.K., Vorob'jov A.E. Progressivnye tehnologii dobychi i pererabotki zolotosoderzhashhego syr'ja, M.: Nedra, 1994, 268 pp. (translated from English).

[3] Tataurov S.B. Transformacija i pererabotka zolotosoderzhashhego syr'ja v kriolitozone, M.: Izd-vo "Gornaja kniga", 2008, 319 pp. (translated from English).

[4] Tatarinov S.M., Homutov A.V., Kosjakov O.V., Sedyh V.I. Primenenie kuchnogo vyshhelachivanija zolota v uslovijah Krajnego Severa // Cvetnye metally, 2010, vol. 11, pp. 44-45 (in Russian).

[5] Kovaljov V.N., Muslimov B.A., Klepikov A.S. Matematicheskoe modelirovanie kuchnogo vyshhela-chivanija zolota v zonah mnogoletnej merzloty // Gornyj zhurnal, 2013, vol. 7, pp. 37-40 (in Russian).

[6] Popov V.I., Kaimonov M.V. Opredelenie optimal'nyh parametrov processa vyshhelachivanija v rudnom shtabele pri otricatel'nyh temperaturah okruzhajushhej sredy // Mining informational and analytical bulletin, 2017, vol. 11 (special'nyj vypusk 24), pp. 292-298 (in Russian).

[7] Kurilko A.S., Popov V.I. Modelirovanie teplomassoobmennyh processov vyshhelachivanija v rudnom shtabele pri nizkih temperaturah okruzhajushhej sredy // Mining informational and analytical bulletin, 2021, vol. 1, pp. 111-119 (in Russian).

[8] Kiselev V.V., Kaimonov M.V., Popov V.I. Promising trends in in-situ leaching in gold placer mines in permafrost region // Mining informational and analytical bulletin, 2018, vol. 12, pp. 177-184 (in Russian).

[9] Kiselev V.V., Kaimonov M.V., Popov V.I. Jekogeotehnologicheskij sposob vtorichnoj podzemnoj obrabotki ostatochno-celikovyh glubokopogrebennyh zolotorossypnyh mestorozhdenij kriolitozony // Patent na izobretenie RF № 2678277 C1, 24.01.2019. Zajavka № 2017130075 ot 24.08.2017 (in Russian).

[10] Kaimonov M.V., Kiselev V.V., Popov V.I. Sposob kuchnogo vyshhelachivanija zolota iz bednyh rud v uslovijah kriolitozony // Patent na izobretenie RF № 2728047 C1, 28.07.2020. Zajavka № 2019120495 ot 28.06.2019 (in Russian).

УДК 622.33

ПРОГНОЗ ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА ПОРОД ВСКРЫШИ ПРИ ОТКРЫТОЙ РАЗРАБОТКЕ БУРОУГОЛЬНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ В УСЛОВИЯХ КРИОЛИТОЗОНЫ

Михаил Каймонов, Сергей Панишев
Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского СО РАН, пр-т Ленина, 43, г. Якутск, 677980, Россия

FORECAST OF THE THERMAL REGIME OF OVERROOF ROCKS DURING THE OPEN MINING OF A BROWCOAL FIELD IN THE CONDITIONS OF CRYOLITHOZONE

Kaimonov M. V., Panishev S. V.
Institute of Mining of the North, SB RAS, 43 Lenin Ave., Yakutsk, 677980, Russia

Annotation. A methodological approach to substantiating effective regimes and technological schemes for the preparation of frozen overburden rocks in open pit mines located in the severe climate zone of the North, providing them with the least difficulty of excavation by mining machines, is proposed. A mathematical model has been developed and multivariate numerical calculations have been carried out, which make it possible to determine the optimal modes of preparation of frozen overburden rocks.

1. Введение

Территории Дальневосточного федерального округа обладают мощной сырьевой базой, при этом значительная часть месторождений находится в зоне распространения многолетней мерзлоты, что предопределяет отрицательную температуру пород, их повышенную прочность и требует разработки специальных методов по подготовке пород к выемке горными машинами [1-4]. Разработка такой методики стала основной целью проведения этих исследований.

2. Математическая модель прогноза теплового режима пород вскрыши при открытой разработке месторождений криолитозоны

Расчет двумерного температурного поля многолетнемёрзлых горных пород карьера при отработке блока при нестационарном тепловом режиме сводится к решению системы дифференциальных уравнений теории теплопроводности [2]:

$$(1)\quad \left[C(T,x,y)+L_1\cdot W(x,y)\cdot\rho\cdot\delta(T-T^*)\right]\frac{\partial T}{\partial t}=\frac{\partial}{\partial x}\left[\lambda(T,x,y)\frac{\partial T}{\partial x}\right]+\frac{\partial}{\partial y}\left[\lambda(T,x,y)\frac{\partial T}{\partial y}\right],$$

$$C(T,x,y)=\begin{cases}c_1(x,y)\rho_1(x,y), & T<T^*;\\ c_2(x,y)\rho_2(x,y), & T>T^*;\end{cases}\qquad \lambda(T,x,y)=\begin{cases}\lambda_1(x,y), & T<T^*;\\ \lambda_2(x,y), & T>T^*;\end{cases}$$

$$x\in D_x,\ y\in D_y,\ t>0;$$

где T – температура породы, °С; T^* – температура фазовых переходов влаги в породе, °С; t, x, y – временная (с) и пространственные координаты (м); L_1 – скрытая теплота плавления (замерзания) льда (воды), Дж/кг; W - влажность породы, доли единицы; ρ - плотность воды, кг/м^3; c_1, ρ_1, λ_1 (c_2, ρ_2, λ_2) – удельная теплоемкость (Дж/(кг·К)), плотность (кг/м^3) и коэффициент теплопроводности (Вт/(м·К)) соответственно для мёрзлых (талых) пород; $\delta(T-T^*)$ – функция Дирака.

На рисунке 1 представлена технологическая схема формирования зон активного теплового воздействия на породы вскрыши, для интенсификации процесса естественной оттайки.

Параметры формирования зон активного теплового воздействия будут определяться предполагаемой технологией их выемки, типом горного оборудования и природно-климатическими условиями ведения горных пород.

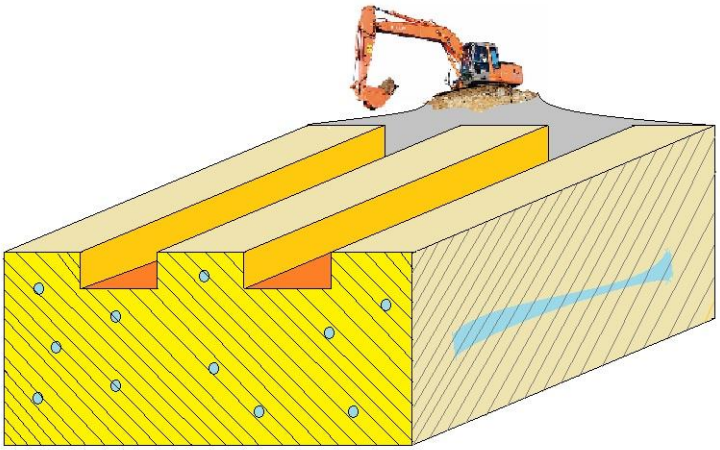


Рисунок 1. Схема формирования зон активного теплового воздействия на породы вскрыши открытого карьера криолитозоны.

На рисунке 2 представлены графики температур горных пород в зонах активного теплового воздействия при различных параметрах их формирования.

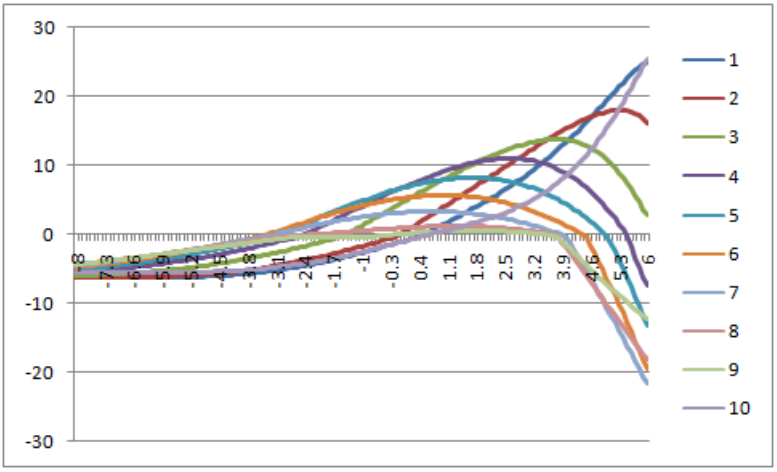


Рисунок 2. Графики температур горных пород в зонах активного теплового воздействия при различных параметрах их формирования.

3. Литература:

[1] Panishev S.V., Kaimonov M.V. Technical approach to prediction of dragline productiveness in blasted rock handling at open pit mines in permafrost zone // Journal of Mining Science, 2018, vol. 53, no. 4, pp. 702-707.

[2] Kaimonov M.V., Panishev S.V. Modeling temperature field dynamics in post-blasting open pit mines in permafrost // Journal of Mining Science, 2016, vol. 52. no. 3, pp. 601-607.

[3] Panishev S.V., Ermakov S.A., Kajmonov M.V., Kozlov D.S., Maksimov M.S. Kompleksnyj monitoring temperaturnogo rezhima mnogoletnemjorzlyh gornyh porod Kangalasskogo ugol'nogo razreza // Mining informational and analytical bulletin, 2013, vol. 9, pp. 62-69 (in Russian).

[4] Kurilko A.S., Ermakov S.A., Khokholov Y.A., Kaimonov M.V., Burakov A.M. Modelirovanie teplovyh processov v gornom massive pri otkrytoj razrabotke rossypej kriolitozony, Novosibirsk: Akademicheskoe izd-vo “Geo”, 2011, 140 pp. (translated from English).

УДК 622.7(001)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ КЛАССИФИКАЦИИ РАЗЛИЧНЫХ МИНЕРАЛОВ В ЛАБОРАТОРНЫХ МОДЕЛЯХ БАРАБАННЫХ СЕПАРАТОРОВ

Иван Лебедев
Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского СО РАН, пр. Ленина, 43, г. Якутск, 677980, Россия

RESEARCH OF CLASSIFICATION PROCESSES OF VARIOUS MINERALS IN LABORATORY MODELS OF DRUM SEPARATORSНАЗВАНИЕ СТАТЬИ

Ivan Lebedev
Chersky Institute of Mining of the North SB RAS, 43 Lenin Ave., Yakutsk, 677980, Russia

Annotation. The article presents the results of research on the separation of various mineral particles of different densities in a hydrodynamic (water) medium in three laboratory models of drum countercurrent separators with cylindrical, conical and polyhedral drums. The results of the research showed that in contrast to the cylindrical and conical drum separators, the polyhedral separator separation and re-cleaning in a hydrodynamic environment is most effective, which is proved by the high extraction of heavy minerals in the concentrate

1. Введение

Разрабатываемые в настоящее время противоточные сепараторы для гравитационного разделения геоматериалов имеют очевидные технологические преимущества, которые заключаются в создании рациональных условий фракционного разделения при сочетании динамических процессов разрыхления материалов, создаваемого рабочим органом барабанного типа (обеспечение условий порозности при гравитационном разделении в водной среде) с одной и выносом легких и мелких частиц под действием гидродинамических потоков с другой [1]. При этом, важное место при работе сепаратора занимает поддержание разрыхленного состояния разделяемой минеральной смеси в рабочей зоне сепарации, зависящее от формы и скорости вращения барабана [2]. В настоящее время существует множество интересных уставновок и оборудований, в которых обеспечиваются условия разрыхленного состояния минеральной смеси [3,4]. Многие авторы утверждают об необходимости изучения процессов, протекающих в новых аппаратах по переработке, обогащению твердых полезных ископаемых, а также, необходимости компьютерного моделирования [5,6].

2. Методика исследований

Для изучения процессов разделения различных минеральных частиц разной плотности в гидродинамической (водной) среде в барабанных противоточных сепараторах были изготовлены три лабораторные модели с барабанами цилиндрической, конусной и многогранной формы.

Исследования эффективности разделения различных минералов в трех моделях сепараторов проводились с использованием в качестве обогащаемой среды - водного потока, где разделение происходит в нисходящем потоке. Геоматериал разделяется в беспрерывном противонаправленном потоке, в отличии от сепараторов фирмы Кнельсон, где процесс протекает в однонаправленном потоке [7,8].

Схема разделения минералов в барабанных противоточных сепараторах в водной среде представлена на рисунке 1.

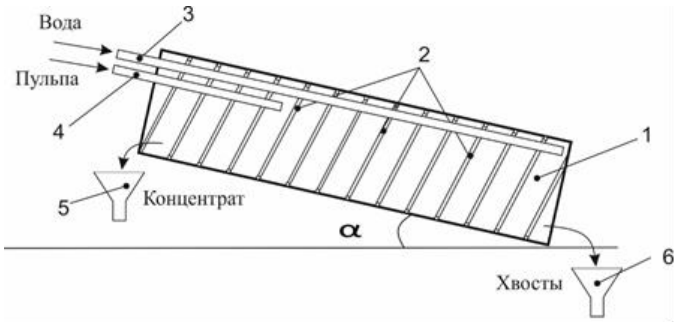


Рисунок 1. Схема работы барабанного сепаратора в водном потоке: 1 – барабанный сепаратор; 2 – рифли в виде спирали; 3 – патрубок подачи воды для орошения; 4 – патрубок подачи пульпы; 5 – емкость для разгрузки концентрата; 6 – емкость для разгрузки хвостов.

Разделение материала в гидродинамической среде в барабанном противоточном сепараторе заключается в следующем.

Предварительно смешанные с водой минеральные частицы в виде однородной пульпы подаются через патрубок 4 в рабочую зону вращающегося барабанного сепаратора 1. Создаётся нисходящий поток и в донной части барабана происходит гравитационное разделение минералов. Тяжёлые минералы оседают и локализируются непосредственно на донной части барабана, и при вращении барабана постоянно происходит перемешивание материала, за счёт чего достигается перечистка оседающей тяжёлой фракции от механически увлекающихся лёгких частиц. Нисходящий поток пульпы выносит лёгкий материал в ёмкость для сбора хвостов, а тяжёлый оседающий материал перемещается вверх и постоянно находится в режиме перечистки, затем выгружается с помощью рифлей в концентратоприемник 5. Дополнительно для эффективного разрыхления материала, оседающего в донной части барабана, через патрубок 3 подается вода для орошения по всей длине сепаратора.

3. Исследования в цилиндрическом противоточном барабанном сепараторе

При проведении экспериментальных исследований процессов разделения минералов различной плотности ρ = 3,2-4 г/см^3, ρ = 4-6 г/см^3, ρ = 6,8-16 г/см^3, от пустой породы плотностью до ρ = 2,5 г/см^3 использовалась измельченная кварцевая руда с крупностью -3+0,1 мм. В качестве имитатора низкой плотности использовался гранат, средней – чугунный скрап, тяжелых минералов - вольфрам, пустой породы - кварцевый песок. Оценка эффективности разделения определялась по основному параметру – по степени извлечения. На каждом этапе исследований разделения различных минералов определялись наиболее рациональные параметры работы сепараторов по сводным показателям степени сокращения и эффективности разделения: дебита водного потока, число оборотов барабана, угол наклона барабана определяемой относительно оси вращения.

В результате предварительных исследований найдены наиболее рациональные параметры. Лабораторные исследования разделения различных минералов проводились при угле наклона установки относительно оси вращения барабана α = 40, числе оборотов 20 об/мин, дебит технологической воды 10-15 л/мин. Результаты показали, что при сепарации минералов высокой плотности от фонового материала по кварцу максимальная степень извлечения с дебитом технологической воды 10 л/мин составляет 95,3 %, а для материалов меньшей плотности (3,2-4 г/см^3) составляет 65,1 %.

4. Исследования в коническом противоточном барабанном сепараторе

Организация противонаправленного движения разделяемых частиц в сепараторе аналогично сепаратору с цилиндрической формой барабана. При разделении геоматериала нисходящий поток воды выносит легкие минералы к сужающейся части конусной формы барабана и далее в хвостоприемник. По длине сепаратора гидродинамическая сила воздействия увеличивается по принципу сужающегося желоба. В данном сепараторе в экспериментах изначальную скорость

подбирали с наименьшего его значения с последовательным ее увеличением для подбора рационального режима потока.

Режимные параметры разделения различных минералов были аналогичны как при экспериментах с сепаратором с цилиндрической формой барабана (число оборотов - 20, угол наклона - 40, дебит технологической воды – 10 л/мин).

Из экспериментов видно, что для минералов с высокой плотностью 6-16 $см^3$ извлечение в гидродинамической среде составляет 96,7 %. Для минералов с плотностью 3,2-4 $см^3$ извлечение от пустой породы кварца плотностью 2-2,5 $см^3$ составляет 71,1 %.

5. Исследования в многогранном противоточном барабанном сепараторе

Исследования разделения различных минералов в гидродинамической среде во вращающемся многогранном противоточном барабанном сепараторе (в данном случае, в семигранном варианте [9]) проводились с использованием аналогичных рабочих параметров и минералов (ρ = 2,5 $г/см^3$, ρ = 3,2-4 $г/см^3$, ρ = 4-6 $г/см^3$, ρ = 6,8-16 $г/см^3$,) как в цилиндрическом и конусном сепараторах (число оборотов - 20, угол наклона - 40, дебит технологической воды – 10 л/мин).

Данная форма многогранного барабана создаёт особые (фазовые) меняющиеся по времени интенсивности условия поддержания разрыхленного состояния разделяемой минеральной смеси при работе вращающегося барабана.

В отличие от цилиндрического и конусного барабанных сепараторов, в многогранном сепараторе разделение и перечистка в гидродинамической среде происходит наиболее эффективно, что доказывается извлечением тяжелых минералов 89,6-98,6 %.

6. Выводы исследований

Сводные результаты экспериментальных исследований по извлечению минералов разной плотности в лабораторных вращающихся противоточных барабанных сепараторах приведены в таблице 1.

Таблица 1

Извлечение минералов разной плотности в лабораторных барабанных сепараторах под действием гидродинамических потоков.

Параметры	Извлечение минералов в различных средах, (%)		
	Минералы плотностью 3,2-4 ($г/см^3$)	Минералы плотностью 4-6 ($г/см^3$)	Минералы плотностью от 6 ($г/см^3$) и выше
1. Цилиндрический сепаратор	65,1	81,2	95,3
2. Конусный сепаратор	71,1	85,1	96,7
3. Многогранный сепаратор	89,6	95,8	98,6
Расход технологической воды, (л/мин)		10 л/мин	
Число оборотов, (об/мин)		20	
Угол наклона, град		4	

Таким образом, в результате проведенных экспериментальных исследований эффективности разделения сыпучих геоматериалов крупностью -3+0,1 мм, но разного фракционного состава по плотности в гидродинамическом потоке, формируемом в барабанных противоточных сепараторах разной конструкции разделительной камеры установлено, что для разделения в гидродинамическом потоке с дебитом технологической воды 10-15 л/мин и числе оборотов барабана 20 об/мин, наиболее рациональным является многогранная форма рабочей камеры с показателями по извлечению тяжёлых фракций (имитаторов ρ = 6,8-16 $г/см^3$) в диапазоне от от 89,6 до 98,6 %.

7. Литература:

[1] Kuskova Ya.V. The use of gravitational-centrifugal fields to increase the efficiency of the separation of small particles by the gravitational method // Technique and technology of mining, 2018, no. 3, pp.29-42 (in Russian).

[2] Yarmola D.A., Afanasenko S.I., Lazaridi A.N. Theoretical analysis of the enrichment process in a centrifugal concentrator with a horizontal axis of rotation // Krasnoyarsk, Siberian Federal University, 2016, no. 50 (in Russian).

[3] Abramov, A. Reprocessing, enrichment and comprehensive utilization of solid minerals /Moscow: Moscow state mining University, 2017 (in Russian).

[4] Patent for Invention No. 2601345 Russian Federation, IPC B03B 5/70 (2006.01). Method of gravity extraction of fine and fine gold and complex for gold extraction / Khrunina N.P., Litvintsev V.S.; applicant and patent holder of the Institute of Mining of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences. - No. 2015130125/03; application No. 21.07.2015; publ. 10.11.2016, Byul. No. 31.

[5] Skorokhodov V.F., et al. Applied aspects of computer simulation of hydrodynamics of multiphase media in the studies of the processes of the separation of minerals in the beneficiation of ores // Physico-technical problems of mining, 2019, no. 2, pp. 139-153 (in Russian).

[6] Alexandrova T.N. et al. Improving the efficiency of processing precious metal ores based on modeling of technological processes // Ore dressing, 2019, no. 2, pp.8-13.

[7] Chen Q. et al. Analysis of the working mechanism of the Knelson concentrator // Mineral business, 2020, 158 (106547).

[8] Veiga M.M., Ganson A.J. Gravity concentration in artisanal gold mining. Minerals, 2020, no. 10 (11) (1026).

[9] Pat. on Utility model No. 199788 Russian Federation, MPKV03V 5/56 (2006.01). Drum countercurrent separator / Filippov V. E., Gavrilyev D. M., Osipov D. A., Lebedev I. F.; applicant and patent holder of the Yakut Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences. – No. 2020119812; application No. 08.06.2020; Publ. 21.09.2020, Byul. no. 27.

УДК 622.24

ТЕХНОЛОГИЯ ОТБОРА ПРОБ ПРИ БУРЕНИИ СКВАЖИН НА РОССЫПНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ

Сергей Леонтьев[1], Николай Тимофеев[2], Рево Скрябин[2]
1 ООО «Буровые технологии», ул. Лужников, 4, г. Нерюнгри, 678962, Россия
2 Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, ул. Кулаковского, 50, г. Якутск, 677000, Россия

SAMPLING TECHNOLOGY FOR DRILLING WELLS ON PLACER DEPOSITS

Sergey Leontiev[1], Nikolay Timofeev[2], Revo Skryabin[2]
1 LLC «Drilling technologies», 4 Luzhnikov St., Neryngri, 678962, Russia
2 M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, 50 Kulakovskiy St., Yakutsk, 677000, Russia

Annotation. Drilling wells in the exploration of placer mineral deposits due to the predominance of complicated mining and geological conditions requires a special technical approach to solving the problem of sampling from the well. In this direction, one of the priority tasks of improving the technology of drilling wells in complicated mining and geological conditions is the use of combined (shock-rotational) drilling.) a method of drilling with the use of pneumatic hammers, which will increase labor productivity and ensure high-quality sampling from the well.

The article presents a technical and technological solution to the problem of developing a new design of a drilling telescopic rod.

1. Введение

Идея разработки новой конструкции телескопической буровой штанги послужило бесконечные перевинчивание дополнительных штанг, что, в последствии спуско-подъемных операций в процессе бурения приводит к износу резьбовых соединений, большим затратам времени и снижению качество отбираемой пробы.

2. Основной раздел

Телескопическая буровая штанга предназначена для увеличения глубины бурения технологических, геологоразведочных скважин в два раза, без добавления дополнительных штанг, с прямой подачей воздуха (промывочной жидкости). Принципиальная схема конструкции телескопического снаряда представлена на рисунке 1: 1 - резьбовое соединение с проходным каналом воздуха через коллектор центральный. 2 - коллектор центральный двух канальный. 3 - ведущая штанга. 4 - шток гидроцилиндра подачи. 5 - уплотнительный поршень. 6 - уплотнительное соединение. 7 - поршень гидроцилиндра подачи. 8 - гильза гидроцилиндра подачи. 9 - штанга квадратного сечения. 10 - резьбовое соединение. 11 - каналы для воздуха.

Принцип работы новой конструкции буровой телескопической штанги:

Буровая телескопическая штанга состоит из: ведущей штанги - гильзы гидроцилиндра **3**, в верхней части с помощью резьбового соединения и резиновых уплотнителей соединена с коллектором центральным, в нижней части через уплотнительное соединение квадратного сечения **6**, в свою очередь которое передает крутящий момент на штангу квадратного сечения **9**, и уплотняет зазоры от проникновения в штангу абразива и шлама. Поршень **5,** служит уплотнением между штангами при подаче сжатого воздуха или промывочной жидкости и через отверстия направляет сжатый воздух (жидкость) в зазоры между гидроцилиндром и штангой квадратного сечения **11.** Внутри штанги квадратного сечения находится гидроцилиндр, отвечающий за выдвижение штанги. Подача гидравлической жидкости производится непосредственно с гидрораспределителя буровой установки через коллектор центральный двух канальный **2,** на шток гидроцилиндра **4**. Далее по каналам внутри штока попадает в

гидроцилиндр. Коллектор центральный крепится непосредственно к варащателю. Резьбовые соединения **1**, и **10**, служат для свинчивания с вращателем сверху и с превмоударным инструментом с низу. Конструкции резьбовых соединений находятся каналы направления сжатого воздуха (пром. жидкости) **12.**

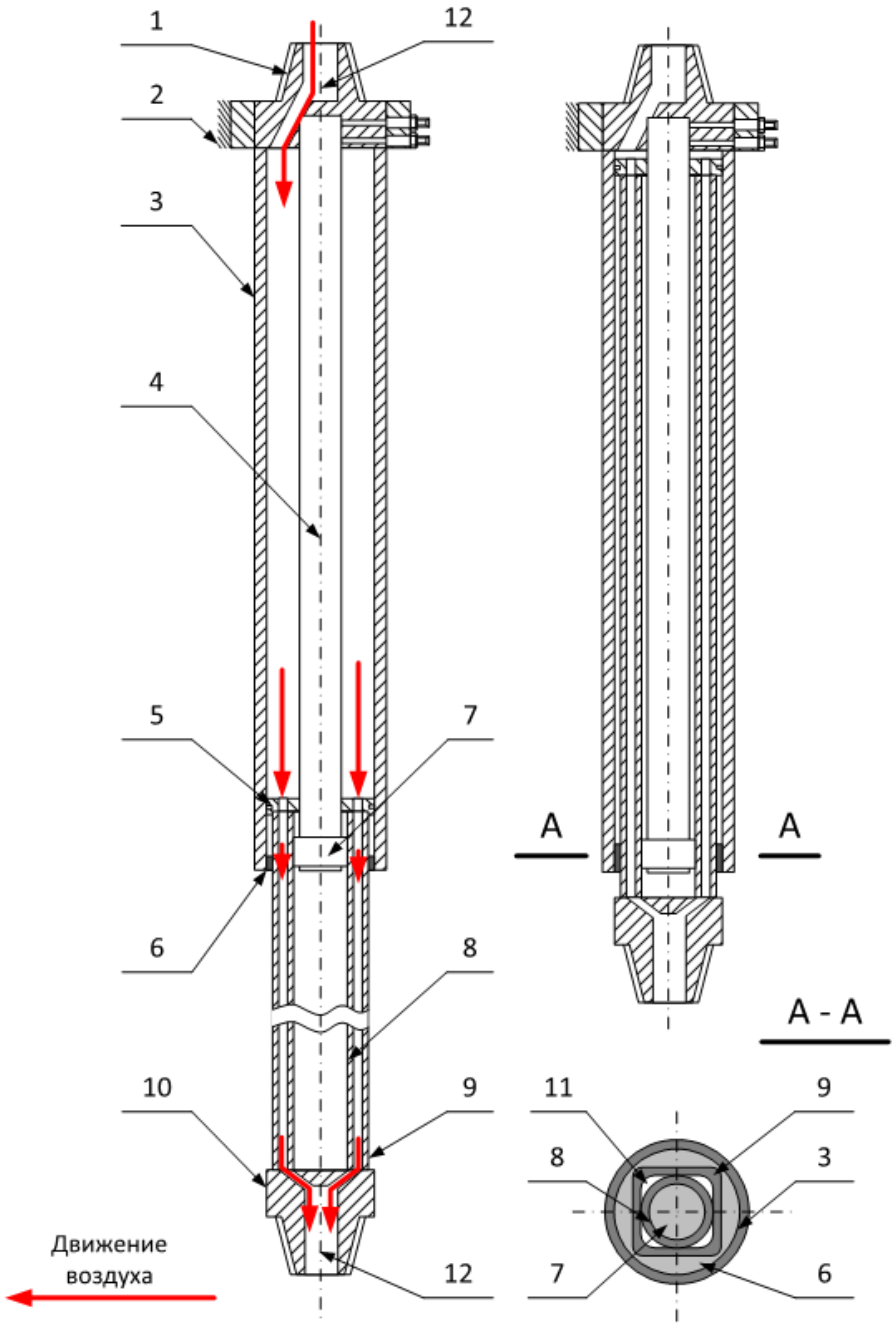


Рисунок 1. Принципиальная схема конструкции телескопического снаряда.

Буровой шламоприёмный снаряд

1, верхний зажим. 2, пневмоударник. 3, труба шламоприемная (дверцы). 4, Нижний фланец (зажим). 5, долото с расширителем. 6, шарниры. 7, замок дверцы.

Буровой шламоприемный снаряд предназначен для бурения скважин в россыпных, галечных, четвертичных и скальных породах короткими рейсами. Рабочим органом является пневмоударник, работающий от энергии сжатого воздуха, **2**, кинетическая энергия которого

передается на долото расширитель **5,** армированного твердосплавными зубьями они в свою очередь и дробят горную породу на забое скважины. Верхний зажим **1,** в виде хомута стягивается в верху пневмоударника, предотвращая деформацию шламовой трубы при аварийных ситуациях. Связку верхнего и нижнего зажима обеспечивает толстостенная труба **8,** к которой и привариваются дверцы, в виде полумесяца, с одной стороны в виде шарниров **6,** с другой в виде замка **7**. Проварка сварочных швов осуществляется полуавтоматической либо электродуговой сваркой.

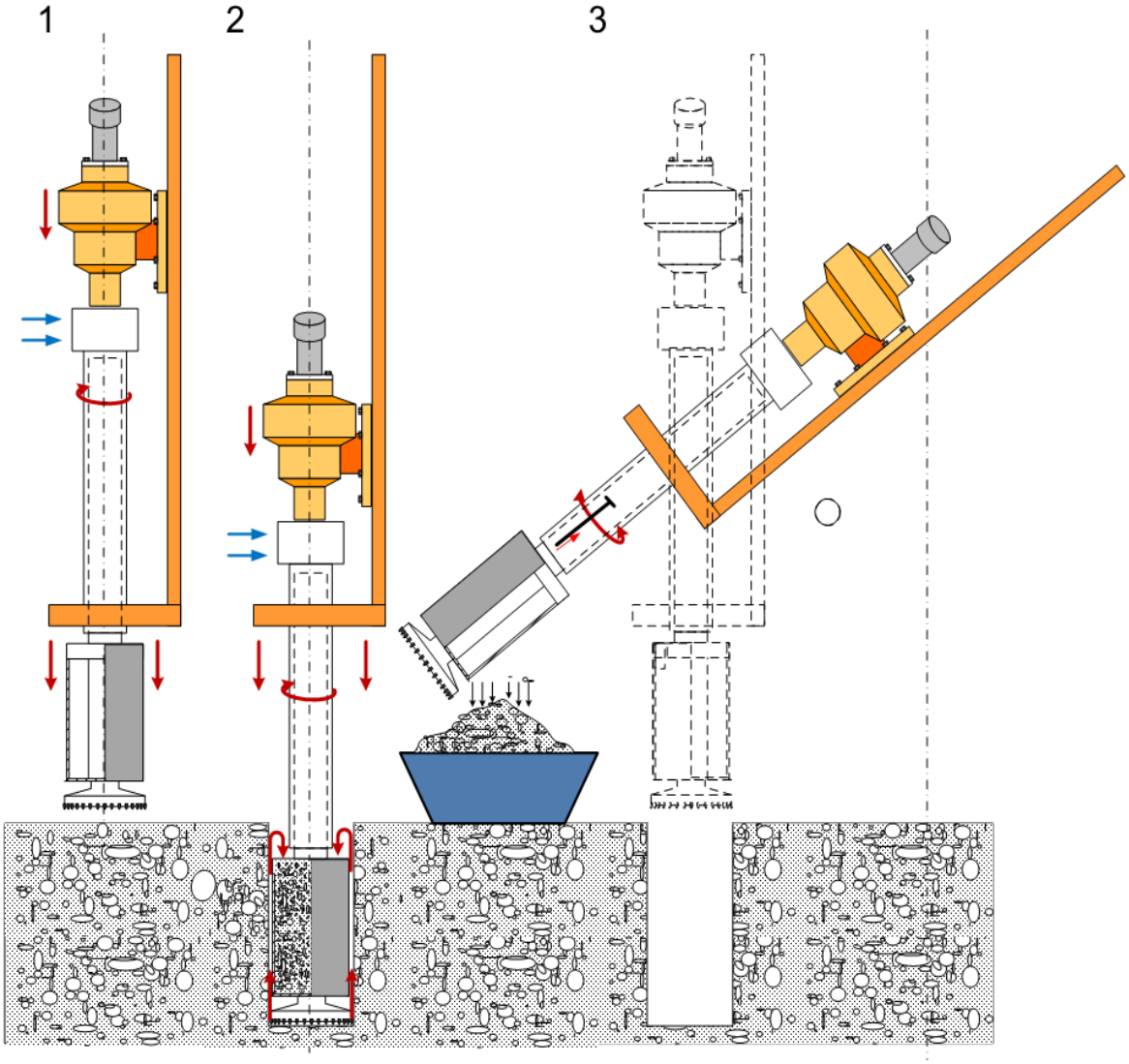


Рисунок 2. Технология бурения скважин и отбор пробы

Технология бурения скважин и отбор пробы с разработанной технологией (Рисунок 2).

1. Сборка бурового снаряда осуществляется в следующем порядке: к вращателю привинчивается телескопическая буровая штанга, фиксируется коллектор центральный, подсоединяются гидравлические шланги высокого давления. Подсоединяется как показано на рисунке шламоприемный снаряд.
2. Бурение производится по часовой стрелке с частотой вращения не более 30 об.мин. По мере углубления бурового снаряда, отработанный воздух под давлением поднимает шлам и раздробленную породу в затрубном пространстве между шламоприемной трубой **3,** и стенкой скважины. Проходя выше шламовой трубы, происходит разрядка воздуха и шлам падает в трубу, по мере её заполнения производим подъем над устьем скважины, и как показано на третьем рисунке, складываем мачту, вытаскиваем замковые штифты, вытряхиваем содержимое в тару, возможно вращением в обе стороны до полной очистки

шламовой трубы. Вставляем штифты – цикл продолжается. С помощью телескопического снаряда мы увеличиваем глубину бурения вдвое. При заклинивании или зашламовке бурового снаряда необходимо при вращении несколько раз поддернуть буровой снаряд над забоем до полной очистки затрубного пространства.

3. Выводы

Технология бурения скважин при разработке россыпных месторождений разработана с целью повышения качества отбора пробы полезных ископаемых, короткими рейсами при минимальном смешивании горизонтов залегания руды. При использования дополнительного оборудования и конструктивных особенностях буровой установки возможно бурение в обводненных породах с обсадными трубами.

УДК 678.019.396:569.61

ПРОБЛЕМЫ ПОИСКА И ХРАНЕНИЯ ИСКОПАЕМОЙ МАМОНТОВОЙ КОСТИ

Евгения Петухова, Максим Чепрасов, Иван Христофоров
Институт проблем нефти и газа ЯНЦ СО РАН, ул. Петровского, 2, г. Якутск, 677980, Россия

PROBLEMS OF SEARCHING AND STORING THE FOSSIL MAMMOTH BONE

Evgeniya Petukhova, Maksim Cheprasov, Ivan Khristoforov
Institute of Oil and Gas Problems YSC SB RAS, 2 Petrovsky St., Yakutsk, 677980, Russia

Annotation. The influence of different storage methods on physical properties and fracturing of samples from a mammoth's tusk was investigated. It is shown that storage conditions have a significant influence on the strength of the mammoth tusk, its moisture saturation and its tendency to fracture. It has been found that even under the most favorable storage conditions it is possible to detect single cracks on samples. The results will be applied to the development of an effective method of storing valuable raw materials.
The GPR (ground penetrating radar) method was tested to detect the bone residues at the bottom of waters in the Arctic zone of Republic of Sakha (Yakutia). Detailed data on the characteristics of the GPR signals reflected from the mammoth tusk were obtained by using different frequency antenna units. The proposed approaches make it possible to distinguish a mammoth tusk from other objects with similar in characteristics of GPR signals, for example, tree trunks.

1. Введение

Ископаемая мамонтовая кость (бивень мамонта, сокр. ИМК, БМ) – это дорогостоящее высоколиквидное сырье, пользующееся устойчивым спросом на международном рынке. Коммерческий интерес, устойчиво сохраняющийся в последние десятилетия к данному виду сырья, связан с запретом добычи и поставки современной слоновой кости на мировой рынок. По экспорту ИМК Россия занимает первое место в мире. Однако, в соответствии с существующим законодательством шахтовый вид поиска БМ на территории Российской Федерации запрещен [1,2], что ставит перед исследователями крайне актуальный вопрос по разработке неразрушающих методов обследования перспективных территорий с целью поиска ИМК.
Кроме того, БМ, как и другие материалы органического происхождения, характеризуется крайне высокой степенью чувствительности к воздействию факторов внешней среды. После извлечения из мерзлых пород ископаемый объект под воздействием резких перепадов температуры и влажности воздуха, солнечного излучения, ветра, атмосферных осадков, микробной атаки и пр. начинает достаточно быстро разрушаться. Для обеспечения сохранности сырья после извлечения из мерзлых пород необходимо осуществить комплекс мер по первичной обработке объектов, а также создать условия, сводящие к минимуму влияние негативных факторов окружающей среды и позволяющие сохранить его качество вплоть до переработки в изделия либо продажи.
Таким образом, целью данной работы являлось рассмотреть возможности неразрушающего поиска ИМК и оценить влияние различных способов хранения на сохранность сырья.

2. Результаты исследования

При извлечении из мерзлых грунтов, БМ, подвергаясь воздействию внешних факторов, начинает быстро терять свою сортность. Существующие в настоящее время методы сохранения сырья после добычи не стандартизованы и их эффективность далеко не всегда достаточна для обеспечения сохранности добытого сырья. Участники отрасли опираются на традиционные методы, такие как хранение при пониженных температурах либо в проветриваемых помещениях предварительно обернув БМ в ткань, которая впитывает выделяющуюся влагу. Есть еще ряд

методов, которые не учитывают изначальное состояние бивня, возможность биозаражения сырья, а также целевое назначение сохраняемого материала [2-4].

Для разработки эффективного метода сохранения БМ необходимо провести ряд исследований и установить какие условия обеспечивают сырью наилучшую сохранность. Климатические исследования, проведенные в период с июня по декабрь 2020 г., моделирующие как естественные условия залегания бивня, после выпадения из вмещающих пород, а также некоторые существующие методы хранения, позволили установить закономерности между состоянием сырья и его физическими свойствами (трещинообразованием, влагонасыщением, прочностью при сжатии) (Рисунок 1). Показано, что хранение образцов из БМ на открытом испытательном полигоне в неизолированном состоянии приводит к быстрому растрескиванию материала, что сопровождается большими значениями влагонасыщения и снижением прочности образцов. Экспонирование образцов, обернутых в полиэтиленовую пленку, в тех же условиях несколько снижает влагонасыщение испытываемых материалов, однако их растрескивание также протекает достаточно быстро. Хранение в неотапливаемом помещении позволило еще более снизить влияние факторов внешней среды на образцы. Влагонасыщение и растрескивание уменьшились. Визуально трещины на образцах, хранившихся в отапливаемом помещении и морозильной камере, не выявлялись. Прочность и влагонасыщение данных образцов имели постоянные значения. Однако исследования на оптическом микроскопе при 20тикратном увеличении все же позволили выявить одиночные трещины на их поверхности.

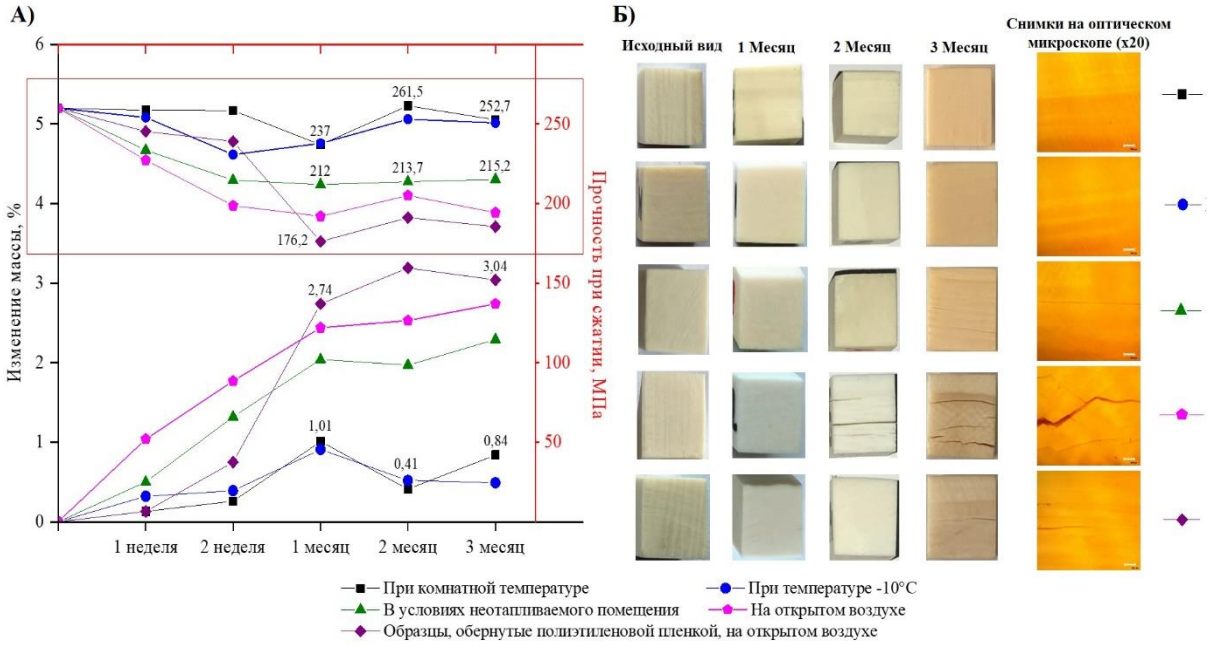


Рисунок 1. Результаты климатических испытаний образцов из бивня шерстистого мамонта *Mammuthus primigenius*: А) изменение массы и прочности при сжатии при разных условиях экспонирования; Б) внешний вид образцов

Установлено также, что биозаражение образцов определяется наличием грибковой и бактериальной микрофлоры в окружающей среде, т.е. биозаражение, в нашем случае, носит привнесенный характер. Однако, не исключается, что микрофлора была привнесена в объект при жизни особи, либо в период залегания в грунте. Таким образом, проведенные исследования позволили выявить благоприятные и неблагоприятные способы хранения БМ. На основе полученных результатов будут предложены методы хранения БМ, обеспечивающие наилучшие свойства ценному сырью.

Как уже отмечалось, шахтовый метод поиска БМ запрещен. Согласно требованиям лицензии, разрешен лишь попутный сбор БМ, выступивших на поверхность в результате протекания естественных природных процессов. Сбор БМ на дне водоемов, куда они попадают в результате обваливания берегов при их оттаивании и промывании водными потоками, также допустим. В

рамках экспедиционных работ, проведенных на территории Нижнеколымского района РС(Я) летом 2020 г., были выполнены рекогносцировочные работы по апробации метода георадиолокации для обнаружения костных остатков животных мамонтовой фауны на дне водоемов. В широком диапазоне частот получены данные по оконтуриванию БМ и других крупных костей на дне водоемов. Одной из задач при применении метода георадиолокации в данном случае, кроме собственно поиска БМ, являлся поиск возможностей отличить БМ от других объектов, к примеру, стволов деревьев. Ввиду того, что такие объекты имеют схожие амплитудные характеристики, решить задачу обнаружения верного объекта (БМ) возможно либо путем учета изогнутой формы БМ профилированием вдоль и поперек объекта, либо с использованием возможностей подводных камер. На рисунке 2 представлен георадарный профиль БМ, расположенного на дне водоема (АБ 400 МГц).

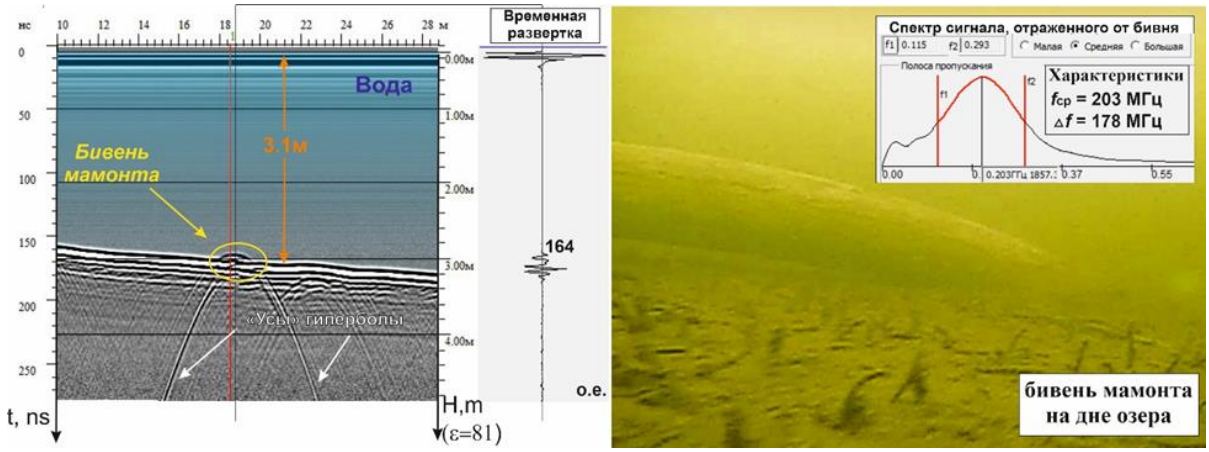


Рисунок 2. Георадарный профиль (АБ 400 МГц) бивня мамонта с характеристиками амплитудно-частотного спектра и его изображение, полученное с использованием подводной видеокамеры

Видно, что локальный объект, не смотря на его небольшие размеры достаточно уверенно отображается на радарограмме. Аналогичные результаты были получены при использовании антенного блока с частотой 250 МГц, различия выявлены в величинах амплитуды отраженного сигнала. Массив данных, полученных в ходе данных экспедиционных работ, позволит отработать четкую методику георадиолокационного обследования водоемов севера Якутии для обнаружения БМ на их дне.

3. Выводы

Таким образом, в предлагаемой работе, исследованы физические свойства образцов из БМ, хранившихся в различных условиях, что позволит разработать оптимальные методы хранения ценного сырья, включая антимикробные составы, и выполнена апробация метода георадиолокации при поиске БМ на дне водоемов, показавшая высокую эффективность в заданных условиях

4. Благодарности

Материал подготовлен в рамках государственного задания № АААА-А20-120011490003-9. Работа выполнена при участии всех сотрудников «Лаборатории технологий добычи и переработки сырья мамонтовой фауны» ЯНЦ СО РАН и кратко отражает результаты работы лаборатории за год.

5. Литература:

[1] https://rpn.gov.ru/regions/14/intro/news/yakutskaya_prirodookhrannaya_prokuratura_razyasnyaet_o_trebovaniyakh_predyavlyaemykh_k_sboru_paleont-58559.html

[2] Kirillin N.D. Methodological foundations for the rational use of a special geocryogenic mineral resource - fossil mammoth bone // Dissertation for a candidate of geological and mineralogical sciences. M., 2011, 185 pp.
[3] Potravny I.M., Protopopov A.V., Gassiy V.V. Mammoth tusks getting as a type of traditional nature management. Arctic: Ecology and Economy, 2020, no. 1 (37), pp. 109—121. DOI: 10.25283/2223-4594-2020-1-109-121. (In Russian).
[4] Plotnikov V.V., Protopopov A.V., Petrova T.F. Natural methods of conservation of mammoth tusks (Mammuthus primigenius Blumenbach, 1799) // Northern archives and expeditions. 2020, vol. 4, no. 3, pp. 131-141.

УДК 504:622:51

ПРОГНОЗ ДИНАМИКИ КОНЦЕНТРАЦИОННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ РАСТВОРОВ ХВОСТОХРАНИЛИЩА В УСЛОВИЯХ КРИОЛИТОЗОНЫ

Владимир Попов
Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского СО РАН, пр. Ленина, 43, г. Якутск, 677980, Россия

FORECAST OF THE DYNAMICS OF CONCENTRATION CHANGES IN THE SOLUTIONS OF THE TAILING DUMP UNDER CRYOLITHOZONE CONDITIONS

Vladimir Popov
Chersky Institute of Mining of the North SB RAS, 43 Lenin Ave., Yakutsk, 677980, Russia

Annotation. The results of a computational experiment on modeling the dynamics of concentration growth and the process of migration of highly mineralized technogenic brine in the frozen basement of the tailing dump are presented. At the same time, the main attention is focused on modeling the phase state of brine and the processes of convective and diffusion transfer of brine in the massif, including, respectively, the mechanisms of dilution and concentration of solutions, and ice melting upon contact with the solution.

1. Введение

Разработка рудных месторождений в том числе и благородных металлов на территории РС(Я) и сходных по климату регионах предполагает строительство и эксплуатацию накопителей отходов обогащения (хвостохранилищ). В соответствии с назначением, технология строительства этих обьектов должна обеспечивать их длительное существование после консервации или ликвидации производства с целью предотвращения поступления токсичных веществ в окружающую среду. При этом нельзя обойтись без учета климатических и иных природных факторов. Особенно остро этот вопрос встает в северных условиях, где температуры воздуха в течение года могут изменяться в широком температурном диапазоне с учётом образования морозобойных трещин и линз льда, а также в связи с термодинамической неустойчивостью процесса взаимодействия рассолов и мерзлых пород криолитозоны. В данной статье определены механизмы и представлены математические модели для количественной оценки тепловых и массообменных процессов в основании комплекса хвостохранилища, включающем тело ограждающей дамбы, толщу накопленных отходов обьекта горного производства, на длительном интервале времени [1].

2. Матмодель и метод решения

Математическая модель процесса тепломассопереноса в хвостохранилище включает рассмотрение процессов в жидкой фазе отходов в следующей последовательности: рассматривается тепловая задача промерзания жидкой фазы и связанное с перемещением границы лед-раствор концентрирование растворенного компонента в жидкой (не промерзшей части). Допускается существование (появление) дефекта в гидроизоляционном слое дна хвостохранилища на участке примыкания к борту. Проникновение раствора повышенной концентрации за пределы защитных гидроизоляционных слоев приводит к деградации мерзлотного водоупора и выносу отходов во внешнюю среду. В случае льдонасыщенного порового пространства время проникновения лимитируется диффузионными процессами на границах лед – раствор.

Геометрические характеристики области моделирования представлены на рисунке 1.

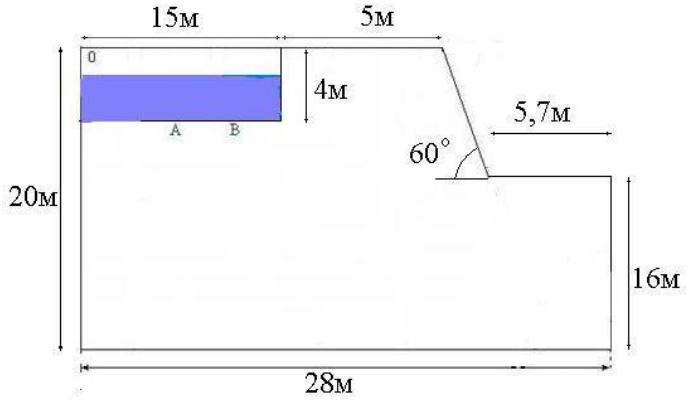


Рисунок 1. Параметры области моделирования.

На внешних верхних границах области и поверхности раствора действует конвективный теплообмен с воздушной средой с температурой T_{CP} соответствующей годичному тренду. Для потоков влаги и концентрации эти границы непроницаемы. На боковых поверхностях ставятся условия равенства нулю потоков тепла, влаги и соли. На нижней границе - постоянные значения влажности льдистости, температуры и концентрации.

Математическое моделирование динамики тепловых, влажностных и концентрационных полей в массиве ограждающих хвостохранилище геоматериалов, осуществлялось на основечисленного решения двухмерных уравнений тепло и массообмена [2] с соответствующими краевыми условиями, определяющими тепло и массообмен области с окружающей средой.

3. Обсуждение результатов

Решение системы уравнений следует ранее разработанному методу безитерационного определения количества влаги, замерзающей на каждом шаге по времени [2]. На рисунке 2 представлена динамика концентрационных изменений жидких отходов в придонном слое хранилища.

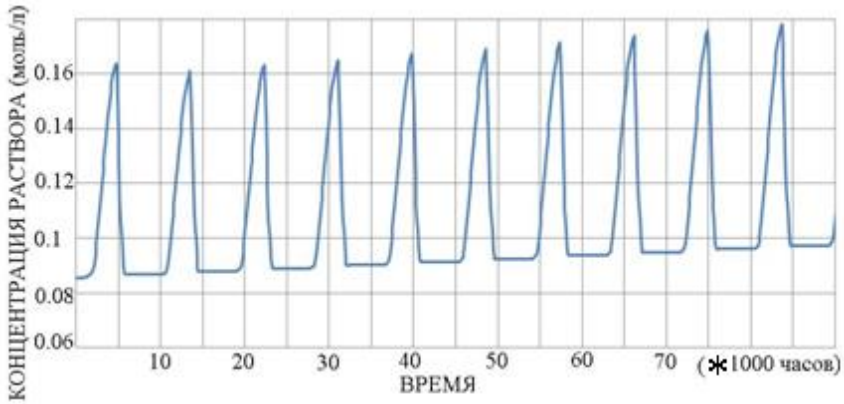


Рисунок 2. Динамика концентрации в придонном слое в течение 10 лет.

Экстремальный рост концентрации отходов в придонном слое может привести к деградации мерзлотного водоупора и выходу отходов в окружающую среду.

4. Литература:

[1] Shestakov V.M. Osnovy gidrogeologichskih raschetov pri filtracii iz hranilisch promyshlennyh stokov Moscow: 1961, 101 pp.

[2] Popov V.I., Kurilko A.S. Approximate method to solve problems of heat and mass transfer under water freezing in permafrost rocks // Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten’. 2018. No. 12, pp. 57–64.

УДК 551.345:502.55

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОМАССООБМЕНА В РУДНОМ ШТАБЕЛЕ ПРИ КУЧНОМ ВЫЩЕЛАЧИВАНИИ

Владимир Попов
Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского СО РАН, пр. Ленина, 43, г. Якутск, 677980, Россия

MODELING THE PROCESSES OF HEAT AND MASS EXCHANGE IN THE ORE STAFF AT HEAP LEACH

Vladimir Popov
Chersky Institute of Mining of the North SB RAS, 43 Lenin Ave., Yakutsk, 677980, Russia

Annotation. A computational algorithm developed to simulate the process of metal leaching in the cross-section of a pile of gold-bearing ore is presented. The model makes it possible to predict the processes of convective heat and mass transfer in the body of the stack and includes the equations of diffusion-convective heat transfer taking into account the possible phase transformations of the leaching solution and changes in its temperature during feeding, as well as the equations of convective diffusion of the leaching solution and the dissolved metal. An approximate solution of the diffusion process of the same components in lump ore material is determined as a separate stage. A comparative calculation of the metal yield for a polyfraction ore mixture is presented.

1. Введение

Одним из эффективных способов разработки месторождений с низким содержанием полезных компонентов является технология выщелачивания, отличающаяся существенно меньшей трудоемкостью и себестоимостью добычи металла. Однако опыт работы предприятий, применяющих процесс кучного выщелачивания показывает, что его использование в регионах с холодным климатом встречает ряд проблем, которые снижает его эффективность. Поэтому работы связанные с увеличением продолжительности и полноты извлечения металла в подобных условиях имеют обоснованный интерес. Обобщение и систематизация этих решений по объектам, процессам, условиям применения и техническим приемам представляется актуальным для выбора эффективных, оптимальных и экологически безопасных в конкретных природно-климатических и горно-геологических условиях месторождений.

2. Математическая модель

Проведенный анализ показывает, что построение минимальной модели тепловых и концентрационных преобразований в штабеле в рамках первичного приближения должно включать уравнения в частных поизводных: 1) диффузионно-конвективного теплопереноса; 2) диффузионно-конвективного переноса рабочего раствора; и 3) баланса концентрации активного цианида, и продуктивного раствора. Система уравнений замыкается кинетическими уравнениями, определяющими химическое взаимодействие и фазовое равновесие раствора. При этом используются апробированные алгоритмы фильтрации и тепломассопереноса в промерзающих-протаивающих породах [1]. Математическая модель процесса тепломассопереноса при промерзании состоит из трех уравнений параболического типа с конвективным членом; 1) уравнения конвективной теплопроводности; 2) диффузионно - конвективного движения влаги; и 3) растворенного компонента; замыкаемые уравнением фазового равновесия поровой влаги, объединяющим параметры термодинамического равновесия - температуру, влагосодержание и концентрацию. Потоки компонентов включают конвективный перенос. Для величины гидравлической проводимости используются выражения для ненасыщенного потока. Наличие льда в порах учитывается фактором фильтрационного сопротивления перемещению потока. Из условия подачи цианистого раствора 0,003 л/(м^2 сек)

получим для оценки скорости конвективного переноса фильтрационным потоком K_s величину порядка 3,0 10^{-6} м/сек для массива штабеля в талом состоянии. Решение системы уравнений осуществляется на основе конечно - разностных соотношений, полученных с помощью интегро-интерполяционного метода. Используются процедуры расщепления по физическим процессам (фильтрация, диффузия, фазовый переход, химические преобразования) исходной системы уравнений. Для рассматриваемой задачи геометрия области принята – высота -5 м. полуширина основания – 12,5 м. полуширина в верхней части - 8 м.

На внешних границах заданы условия конвективного теплообмена с окружающей средой и условия инфильтрации выщелачивающего реагента, на нижней границе. Предполагается и это существенно упрощает рассмотрение, что химическая реакция выщелачивания

$$2Au+4NaCN+2H_2O+O_2 = 2NaAu(CN)_2+2NaOH+H_2O_2$$

происходит мгновенно и основное время тратится на диффузионную транспортировку реагента в реакционную зону. Диффузия происходит в кусковом материале руды, который по предположению имеет шаровидную форму. Реагент из фильтрационного потока диффундирует в кусковой рудный материал, а продукты реакции также диффузионным путем выходят в омывающий раствор.

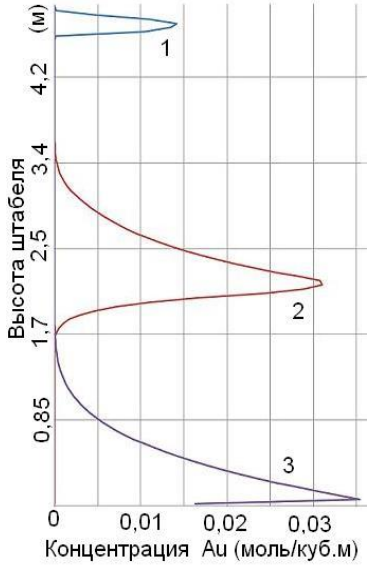


Рисунок 1. Распределение концентрации выщелаченного металла по высоте штабеля (1-2суток; 2-16 суток; 3-32 суток)

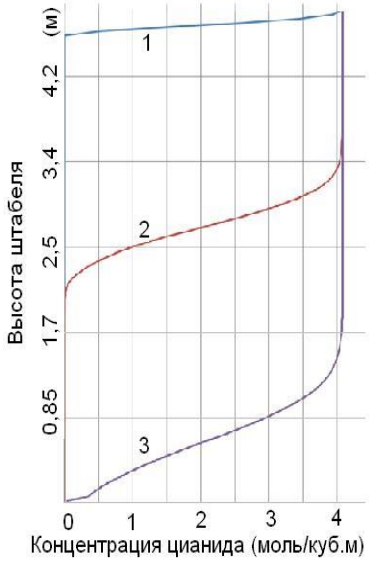


Рисунок 2. Распределение выщелачивающего раствора цианидапо высоте штабеля (1-2суток; 2-16 суток; 3-32 суток)

3. Выводы

На рисунках (1-2) представлены результаты расчетов по представленной модели. Их сравнение с экспериментальными данными других авторов подтверждает работоспособность предлагаемой модели процесса выщелачивания. Модель также допускает усложнение спектра химических реакций, связанных с процессом выщелачивания. Это позволит в дальнейшем прийти к достаточно полной картине описания процесса выщелачивания в условиях преобладания низких климатических температур.

4. Литература:

[1] Popov V.I., Kurilko A.S. Approximate method to solve problems of heat and mass transfer under water freezing in permafrost rocks //Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten’. 2018, no. 12, pp. 57–64.

УДК 66.011:553.981.2

ИЗУЧЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ИСКУССТВЕННЫХ ОБРАЗЦОВ КЕРНА В КАЧЕСТВЕ МОДЕЛИ ПЛАСТА МЕСТОРОЖДЕНИЙ НЕФТИ НЕПСКО-БОТУОБИНСКОЙ НЕФТЕГАЗОНОСНОЙ ОБЛАСТИ

Альберт Портнягин[1], Матвей Семенов[1,2], Екатерина Рыжкович[3]
1 Институт проблем нефти и газа ЯНЦ СО РАН, ул. Петровского, 2, г. Якутск, 677980, Россия
2 Институт геологии и нефтегазовых технологий КФУ, ул. Кремлевская, 4/5, г. Казань, 420008, Россия
3 Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, ул. Кулаковского, 50, г. Якутск, 677000, Россия

STUDY OF THE POSSIBILITY OF USING ARTIFICIAL CORE SAMPLES AS A RESERVOIR MODEL OF OIL FIELDS IN THE NEPSKO-BOTUOBINSK OIL AND GAS REGION

Albert Portnyagin[1], Matvey Semenov[1,2], Ekaterina Ryzhkovich[3]
1 Institute of Oil and Gas Problems YSC SB RAS, 2 Petrovsky St., Yakutsk, 677980, Russia
2 Institute of Geology and Oil and Gas Technologies KFU, 4/5 Kremlevskaya St., Kazan, 420008, Russia
3 M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, 50 Kulakovskiy St., Yakutsk, 677000, Russia

Annotation. The paper considers the possibility of using artificial core samples obtained by pressing a mixture of sand and epoxy resin as a model of the productive horizons of the Irelyakh OGF. It is shown that in order to develop options for stimulating the reservoir as a model of an oil and gas reservoir, it is possible to use core models in terms of reservoir properties close to the properties of a real productive horizon.

В настоящее время получить актуальный керновый материал нефтегазоносных пластов нефтяных месторождений для стороннего научного исследования практически невозможно, так как он и его характеристики входят в сферу действия коммерческой тайны недропользователя. Применение же кернового материала, хранящегося много лет вне специально оборудованных кернохранилищ, может исказить получаемую информацию, поскольку со временем, керновый материал стареет и перестает отражать действительные фильтрационно-емкостные характеристики нефтеносного пласта. Однако имея усредненные данные о фильтрационно-емкостных характеристиках коллектора, полученные экспериментальным путем на «свежем» керновом материале и по данным геофизических испытаний скважин (ГИС) в период опытно-промышленной эксплуатации месторождения и опубликованных в открытых источниках, возможно воспроизведение всех или некоторых характеристик породы коллектора в искусственных моделях керна. Данная имитация находит применение в лабораторных исследованиях по подбору методов увеличения нефтеизвлечения (МУН), прогнозирования гидратообразования в призабойной зоне, отработке методов физического и химического воздействия на пласт, в условиях, приближенных к пластовым. Чаще всего в качестве поровой среды используются очищенные пески, стеклянные сферы и специальным способом разрушенная скальная порода для имитации трещиновато-кавернозных коллекторов.

В работе рассматривается получение модельных образцов керна по фильтрационно-емкостным характеристикам близким к усредненным данным для Ботуобинского и Улаханского нефтеносных горизонтов Ирелияхского газонефтяного месторождения, входящего в Непско-ботуобинскую нефтегазоносную область.

Так как в рамках Ирелияхского месторождения Ботуобинский и Улаханский продуктивные горизонты преимущественно сложены из мелкозернистого песчаника, то в качестве пористой среды был использован схожий по гранулометрическому составу очищенный, мелкозернистый речной песок и его отдельные фракции.

Таблица 1

Гранулометрический состав речного песка и породы коллектора Ботуобинского продуктивного горизонта Иреляхского ГНМ.

№	Размер частиц, мм	Иреляхское ГНМ Скв. 155-051, глубина 2300 м., Ботуобинский горизонт		Речной песок г. Якутск	
		Масса частиц, г	%/доля	Масса частиц, г	%/доля
1	Больше 1,6	1,718	1,7/0,017	-	-/-
2	1,6-1,25	1,857	1,9/0,019	0,308	0,3/0,003
3	1,25-0,7	9,553	9,6/0,096	1,428	1,4/0,014
4	0,7-0,56	10,804	10,8/0,108	2,966	3,0/0,03
5	0,56-0,4	24,19	24,2/0,242	15,686	15,7/0,157
6	0,4-0,315	22,61	22,6/0,226	30,055	30,1/0,301
7	0,315-0,2	24,327	24,3/0,243	40,428	40,4/0,404
8	0,2-0,16	4,068	4,1/0,041	5,604	5,6/0,056
9	Меньше 0,16	0,197	0,2/0,002	2,923	2,9/0,029
	ИТОГО	99,324	99,4/0,994	99,398	99,4/0,994

В качестве связующего применялась эпоксидная смола в количестве 2,5, 5, 7,5 и 10 грамм на один образец.

Образцы готовились следующим образом: в специальный смеситель засыпалась смесь из 50 грамм песка и соответствующего количества смеси эпоксидной смолы с отвердителем, изготовленной в строгом соответствии с рекомендуемыми изготовителем пропорциями. Затем смесь песка с эпоксидной смолой перемешивалась до однородного состояния. Далее, полученную композицию помещали в специально изготовленную пресс-форму, предварительно смазав внутреннюю часть тела пресс-формы парафином и проложив между торцами плунжеров и прессуемой композицией фторопластовые прокладки для исключения прилипания образца к пресс-форме. Схема пресс-формы представлена на (Рисунок 1).

Подготовленную пресс-форму помещали под гидравлический пресс и сдавливали под нагрузкой в 150 кгс/см^2 на протяжении 8 часов, далее образец вынимался из пресс-формы и сушился в сушильном шкафу в течение 2 часов при температуре 150 °С.

Затем торцы образца подвергались механической обработке напильником с целью открытия пор забившихся фторопластом или излишками связующей смолы.

Далее образцы маркировались и определялись их фильтрационно-емкостные свойства. Газопроницаемость определялась на установке УИПК-02М по методике [1]. Пористость определялась по методике [2].

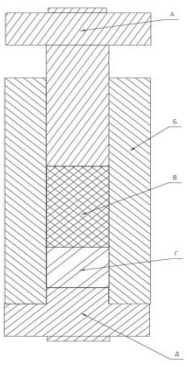


Рисунок 1. Схема пресс-формы для прессования образцов керна d=30 мм,
где А- верхний плунжер, Б – тело пресс-формы, В – образец, Г – дополнительная вставка, Д – нижний плунжер.

Установлено, что с увеличением в композиции содержания смолы, проницаемость полученных образцов заметно снижается, при незначительном снижении их пористости, особенно это

проявляется у образцов изготовленных из композиции, состоящей из 50 г. песка и 10 г. эпоксидной смолы, проницаемость которых падает практически до нуля. Такое снижение проницаемости образцов можно объяснить стеканием излишков связующего в нижнюю часть образца и закупоркой сквозных пор и препятствованию фильтрации флюида через образец.

Таблица 1

Фильтрационно-емкостные свойства получаемых образцов керна и продуктивных горизонтов Иреляхского ГНМ.

№	Образец	Ср. пористость, доли ед.	Ср. проницаемость, мкм^2
1	Песок (50 г.) + 2,5 г эпоксидной смолы	0,185	1,03
2	Песок (50 г.) + 5 г эпоксидной смолы	0,167	0,39
3	Песок (50 г.) + 7,5 г эпоксидной смолы	0,158	0,08
4	Песок (50 г.) + 10 г эпоксидной смолы	0,161	0,01
5	Ботуобинский горизонт Иреляхского ГНМ	0,125	0,27
6	Улаханский горизонт Иреляхского ГНМ	0,135	0,15

Видно, что наибольшей проницаемостью и пористостью обладают образцы, изготовленные из 50 г. песка и 2,5 г. эпоксидной смолы, однако данные образцы не обладали достаточной стойкостью к механическим нагрузкам и большинство испытанных на проницаемость образцов разрушились в процессе испытания. Наиболее удачными с точки зрения прочности и фильтрационно-емкостных свойств, являются образцы, изготовленные из 50 г. песка и 5 г. эпоксидной смолы. Однако их средние пористость и проницаемость значительно выше аналогичных параметров Улаханского и Ботуобинского продуктивных горизонтов Иреляхского ГНМ.

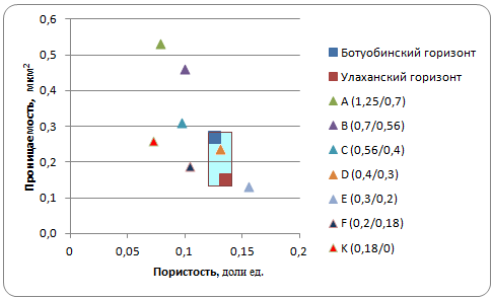


Рисунок 2. Зависимость средних показаний проницаемости от пористости полученных образцов из Ботуобинского и Улаханского горизонтов Иреляхского ГНМ.

Исходя из вышеизложенного, было принято решение изготовить образцы керна из моноразмерных фракций речного песка, по наиболее удачной рецептуре.

Установлено, что с уменьшением размера частиц песка, составляющих образец, проницаемость полученных образцов снижается до минимального значения у образцов, полученных из фракции песка размерностью 0,3-0,15 мм и дальше незначительно растет. При этом, четкой зависимости пористости образцов от размера частиц песка не установлено.

Наиболее близким по средним значениям проницаемости и пористости к фильтрационно-емкостным свойствам Улаханского и Ботуобинского продуктивных горизонтов Иреляхского ГНМ являются образцы, изготовленные из смеси песка с размерностью частиц 0,4-0,3 мм и 5 г. эпоксидной смолы.

Таким образом, показано, что для отработки вариантов воздействия на пласт с целью увеличения нефтеизвлечения или уменьшения риска гидратообразования в условиях, приближенных к пластовым, можно использовать модели керна по фильтрационно-емкостным свойствам, приближенным к свойствам реального продуктивного горизонта.

Благодарности

Работа выполнена в рамках Госзадания №АААА-А21-121011490056-4.

Литература:

[1] Agzamov Ph.A., Morozov D.V. Application of biopolymers for reservoir water insulation // Neftegazovoe delo. Electronic edition: http://ogbus.ru/files/ogbus/authors/Agzamov/Agzamov_1.pdf (in Russian).

[2] Revil, D. Grauls, O. Bre´vart Mechanical compaction of sand/clay mixtures // Journal of Geophysical Research. 2002, vol. 107, no. B11, pp. 2293 (doi:10.1029/2001JB000318).

[3] Mok, U., Bernabé Y., Evans, B. Permeability, porosity and pore geometry of chemically altered porous silica glass // JGR: Solid Earth, 2002, vol. 107, pp. ECV 4-1-ECV 4-10 (doi: 10.1029/2001JB000247).

[4] Bondarenko V.A., Savenok O.V. Analysis of existing methods for combating sand phenomena and development of a statistical model of deformation-spatial instability and destruction of sandy rocks // Scientific Journal Nauka. Techic. Technologies (Polytechnic Bulletin), 2014, no. 1, pp. 35-42 (in Russian).

[5] Kalinko M.K. Method of investigation of reservoir properties of cores. Moscow: Gostoptechiazdat, 1963, 435 pp (in Russian).

[6] Gimatudinov Sh.K., Shirkovskiy A.I. Oil and gas reservoir physics. Moscow: Nedra, 1982, 311 pp (in Russian)

УДК 622.24

О ПРОБЛЕМЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ САМОХОДНЫХ БУРОВЫХ УСТАНОВОК В УСЛОВИЯХ ЗИМЫ КРАЙНЕГО СЕВЕРА

Дмитрий Татаринов, Игорь Егоров, Рево Скрябин, Василий Самсонов
Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, ул. Кулаковского, 50,
г. Якутск, 677000, Россия

ABOUT THE PROBLEM OF OPERATION OF SELF-PROPELLED DRILLING RIGS IN WINTER CONDITIONS OF THE FAR NORTH OF RUSSIA

Dmitriy Tatarinov. Igor Egorov. Revo Skryabin. Vasiliy Samsonov
M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, 50 Kulakovskiy St., Yakutsk, 677000, Russia

Annotation. This article reveals the problem of operating self-propelled drilling rigs in the winter conditions of the Far North. Its further solution, with the creation of a thermal protection device for the hydraulic system using self-regulating heating cables and heat-insulating material.

1. Введение

В районах Северо-Востока и Арктики Российской Федерации при геологоразведочных и инженерных работах широко востребованы самоходные буровые установки различной модификации для бурения скважин различного целевого назначения. В связи с географической труднодоступностью участков производственных работ в теплое время года, основной объем буровых работ приходится в зимнее время года.

Буровой парк геологоразведочных организаций устаревает из-за отсутствия стабильного выпуска отечественными заводами бурового оборудования нового поколения, поэтому сейчас начался процесс закупки импортного оборудования, обладающего более высокими технологическими возможностями, но недостаточно приспособленного для работы в суровых климатических условиях криолитозоны северных и арктических регионов. К тому же, увлечение импортной техникой, как известно, приводит к постоянной зависимости от зарубежных фирм – поставщиков запасных частей, технологических средств и материалов и обеспечивающих техническое обслуживание буровых установок.

Все это не соответствует политике импортозамещения, проводимой в стране в последнее время в условиях санкций.

В районах Севера и Арктики задачи научно-технического прогресса и внедрения инновационных технологий в бурении скважин приобретают особую актуальность. Требуются современная буровая техника северного исполнения и специальные технологии, учитывающие геокриологические и природно-климатические особенности региона.

2. Основной раздел

Мощные толщи многолетнемерзлых пород со сложным структурным строением характерны для месторождений Якутии, где температура в зимние месяцы достигает - 50 °С, а средняя годовая - не превышает минус 10-15 °С. Это предопределяет весьма неблагоприятные условия бурового процесса, обслуживания буровых установок и работы смежных механизмов геологоразведочного и горного производства. Главной причиной осложнений является недоучет температурного фактора, нарушение нормального температурного режима скважины, при котором интенсивность теплообменных процессов между мерзлыми породами и циркулирующим в скважине очистным агентом, вызывает нарушения агрегатного состояния льда как связующего цемента мерзлого массива горных пород.

Многолетний опыт бурения геологоразведочных, инженерно-изыскательских скважин зимой показывает ряд проблем, связанных с отрицательной температурой окружающей среды. Так в колонковом бурении скважин в зимнее время при температуре воздуха ниже – 30 °С, происходит

мгновенное смерзание выбуренной породы (керна) к внутренней стенке колонковой трубы в процессе подъема снаряда из скважины. Это объясняется тем, что процесс механического разрушения породы сопровождается выделением тепловой энергии и нагревом буровой коронки и керна на забое. Положительная температура между керном и колонковой трубой в процессе бурения сохраняется до окончания углубления забоя скважины, т.е. до подъемных операций, когда прекращается вращение и нагрев колонковой трубы за счет трения о стенки скважины. После извлечения полной колонковой трубы из ствола скважины идет обратный процесс промерзания бурового снаряда и происходит мгновенное смерзание выбуренного керна [1,2].

Одним из наиболее распространенных осложнений в эксплуатации самоходных буровых установок в зимнее время года (отечественных и зарубежных) при экстремально низких температурах (ниже -40 °С), является замерзание гидравлических рукавов высокого давления (РВД) [3], приводящее в последствии к их разрыву в местах изгиба при спуско-подъемных и вспомогательных операциях, вытеканию гидравлической жидкости и прекращению буровых работ, с созданием дискомфортных ситуаций обслуживающему персоналу (Рисунок 1) [5,6].

Рисунок 1. Наиболее уязвимые места обрыва РВД гидросистемы при спуско-подъемных операциях и вспомогательных работах

Рукава высокого давления – гибкие трубопроводы, которые являются вложенными одна в другую резиновыми (пластиковыми) трубками с соединительными фитингами, (Рисунок 2). Такие изделия отличаются особой прочностью за счет металлической навивки или оплетки. Посредством РВД – рукавов, армированных высокого давления – передается усилие в машинных механизмах, транспортируются гидравлические и моторные жидкости, водные и масляные эмульсии [8].

Рисунок 2. Рукав высокого давления (РВД). Гибкая часть трубопровода, которая используется в гидравлических коммуникациях для стыковки подвижных элементов и подвода к ним рабочих жидкостей (машинное масло, смазки и т. д.)

Специфика устройства рукава высокого давления обусловлена его назначением, условиями эксплуатации, в ходе которой она подвергается влиянию агрессивных сред и значительного давления.

Резервуар буровой установки, наполненный гидравлической жидкостью, постоянно подвергается перепаду температур при частых подогревах и охлаждениях жидкости,

покрывается изнутри конденсатом, увеличивающимся с каждым циклом замерзания-оттаивания. В результате такого явления образуется не допустимое количество воды в гидравлической системе буровой установки, которое приводит к прихвату гидравлических соединений и крана системы, с аварийными последствиями.

Дальнейшее учащение таких аварийных ситуаций, приводит к преждевременному выходу из строя основных узлов кинематики установки, частому ремонту оборудования, большим затратам по закупке запасных частей и др., что крайне усложняет работу бурового персонала по эффективной эксплуатации бурового оборудования и достижению высоких технико-экономических показателей буровых работ в зимнее время.

Рабочему персоналу постоянно приходится контролировать условия работы узлов гидросистемы бурового оборудования:

- на предмет избыточного изгиба;
- дефекта рукавов высокого давления (РВД) гидравлической системы;
- посезонной замены рабочей жидкости гидравлической системы;
- предварительного прогревания гидросистемы перед работой;
- обеспечения постоянной циркуляции рабочей жидкости в гидравлической системе при остановке процесса бурения.

Большинству буровых организаций, в силу отсутствия специальных технологических укрытий и защиты основных узлов гидросистемы самоходной буровой установки, приходится останавливать рабочий процесс при температуре окружающей среды ниже -40 °С, что приводит к срыву производственных планов.

Существующие тентовые буровые укрытия предназначены для стационарных и передвижных буровых установок (типа А-50, установка для капитального ремонта скважин), в особенности для установок бурения нефтяных и газовых скважин. Для круглогодичной работы буровых установок нефтяные компании как ГАЗПРОМ, РОСНЕФТЬ и др. заказывают для работы в зимних условиях специальные буровые укрытия.

Эти укрытия применительно самоходным буровым установкам неглубокого бурения в силу частых перемещений имеют некоторые недостатки:

- применение только на стационарных буровых установках глубокого бурения;
- трудности монтажа и демонтажа конструкции укрытия;
- невозможность использования на самоходных буровых установках;
- необходимость дополнительного отопления в зимних условиях.

В этой связи, в районах Северо-Востока и Арктики Российской Федерации проведение исследований и разработка инновационных методов улучшения условий труда рабочего персонала и технологии защиты гидравлической системы самоходного бурового оборудования, учитывающей суровые особенности климата региона, является актуальной научно-технической задачей всего бурового производства крупных региональных компаний.

Одним из возможных путей решения этой сложной задачи нами рассматриваются способы утепления гидравлической системы самоходной буровой установки в зимнее время. Для минимизации угрозы промерзания и разрыва рукавов высокого давления путем обеспечения постоянной оптимальной температуры масла и шлангов гидросистемы.

Нами предлагается идея создания теплозащитного устройства гидросистемы с использованием саморегулирующихся греющих кабелей и теплоизолирующего материала [7].

Выбор саморегулирующегося кабеля обусловлен его свойством «саморегулировать» сопротивление полупроводников в зависимости от температуры окружающей среды. Чем ниже температура, тем меньше сопротивление, а, следовательно, больше ток и мощность нагрева. Немаловажным полезным эксплуатационным свойством такого кабеля следует считать то, что его можно резать на куски любой длины, начиная от 20–ти см, это позволяет свободно его наращивать и укорачивать.

Резервуар буровой установки по всей площади стенок обматывается кабелем (Рисунок 3 а), далее его покрывают плотным теплоизолирующим материалом. Греющий кабель с резервуара дальше

прокладывается уже по рукавам высокого давления, поверх обмотки, для теплоизоляции крепится теплоизолирующий материал. (Рисунок 3 б).

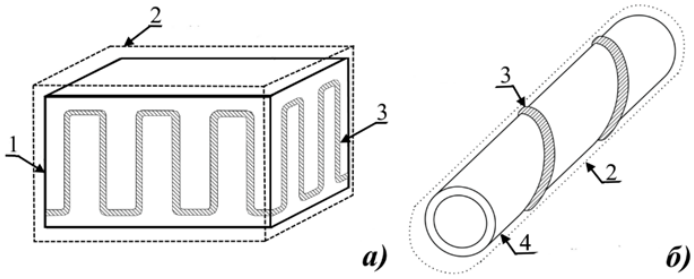


Рисунок 3. Обмотка греющим кабелем резервуара гидравлической системы (а) и рукавов высокого давления (б). 1 - Резервуар; 2 - теплоизоляционное покрытие; 3 – греющий кабель; 4 – рукава высокого давления.

Для усиления утепления гидравлического шланга и оборудования, наравне с греющим кабелем, рекомендуется точечное использование теплоизолирующего материала от компании «Сахатент» [8], структура которого состоит из четырех слоев (Рисунок 4):

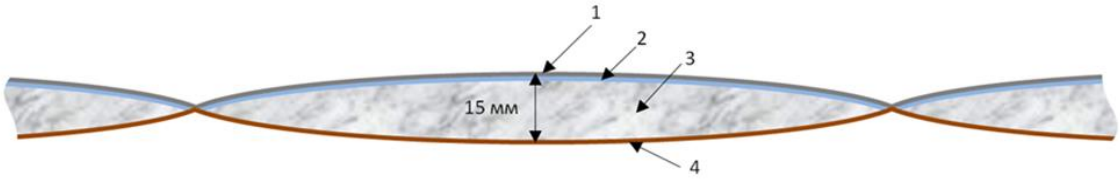


Рисунок 4. Теплоизолирующий материал «Сахатент»: 1 – наружный слой; 2 – гидроизоляционный слой; 3 – средний слой; 4 – внутренний слой.

1. Наружный слой — один из разновидностей европейского материала “Оксфорд” с металлическим напылением. Уникальность его заключается в том, что он полностью не продуваемый, сверхпрочный, солнцезащитный, влагостойкий, легкий и компактный. Его используют в изготовлении парашютов, дельтапланов и парусов. Еще одной важной особенностью данного материала является то, что к нему не прилипает снег при сборке.
2. Гидроизоляционный слой: полиэтиленовая пленка — тонкий слой материи, изготовленный из полиэтилена. Упаковочный полиэтилен обладает такими свойствами, как эластичность, влагонепроницаемость, морозостойкость и гигиеничность.
3. Средний слой — южнокорейское бамбуковое волокно в качестве утеплителя, который очень похож на советскую вату. Но по сравнению с ней, он в 10 раз легче и в отличие от других утеплителей в 5 раз лучше удерживает тепло. Структура бамбукового волокна пористая, она идеальна как наполнитель. Микропоры и микроотверстия пронизывают всю нить. В процессе обработки стебли бамбука не теряют своих уникальных свойств, наоборот, они приобретают новые положительные качества. Хорошая воздухопроницаемость и вентилируемость, ткань и наполнитель из бамбуковых волокон дарят летом прохладу, а зимой уют и тепло. После намокания волокна быстро высыхают, влагу ткань впитывает моментально. Механические свойства волокна очень прочные в сухом и влажном состоянии, износостойкость у них также на высоте.
4. Внутренний слой - ткань “Оксфорд” с металлическим напылением — это самый лучший вариант, например, для мобильного гаража, так как по закону физики, серебристый цвет отражает тепло обратно во внутрь, тем самым позволяя автомобилю дольше стоять с выключенным двигателем при самых низких температурах.

3. Выводы

Учитывая имеющуюся тенденцию возрастания объемов буровых работ различного целевого назначения в регионах Севера и Арктики, и актуальность проведения исследований по разработке инновационных методов улучшения условий труда рабочего персонала и тепловой технологии защиты гидравлической системы самоходных буровых установок, нами намечено продолжение теоретических и экспериментальных исследований.

4. Литература:

[1] Alekseyev V.V., Startsev O.I. Analiticheskaya model udelnogo raskhoda elektroenergii na bureniye skvazhin // Izv. vuzov. Geologiya i razvedka, 2006, no. 4, pp. 54-58.

[2] Alekseyev V.V., Startsev O.I. Raskhod topliva dvigatelyami vnutrennego sgoraniya v samokhodnykh burovykh ustanovkakh // Izv. vuzov. Geologiya i razvedka, 2006, no. 5. pp. 59-66.

[3] Vorobyev A.E., Lyashenko V.I., Kislyy B.P. Gidravlicheskoye gorno-shakhtnoye oborudovaniye - veleniye vremeni / Tezisy dokladov XIII mezhdunarodnoy konferentsii «Resursovosproizvodyashchiye. malootkhodnyye i prirodookhrannyye tekhnologii osvoyeniya nedr» (Tbilisi. Gruziya.15-21 sent. 2014 g.). vol. 1, Moscow: RUDN, 2014, pp. 153-155. ESh

[4] Kirsanov A.N., Zinenko V.P., Kardysh V.G. Burovyye mashiny i mekhanizmy. Moscow: Nedra, 1981, 448 pp.

[5] Timofeyev N.G., Skryabin R.M., Tatarinov D.M. O probleme bureniya skvazhin samokhodnymi burovymi ustanovkami v usloviyakh kraynego severa / Bureniye skvazhin v oslozhnennykh usloviyakh: II Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya 30 oktyabrya – 1 noyabrya 2017 g. Tezisy dokladov / Sankt-Peterburgskiy gornyy universitet. – SPb, 2017, pp. 57-59.

[6] Timofeyev N.G., Petrov V.L. Sposob sokhraneniye rabotosposobnosti samokhodnykh burovykh ustanovok v zimneye vremya/ Geonauki: problemy. dostizheniya i perspektivy razvitiya: materialy Vserossiyskoy molodezhnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. 27-28 aprelya 2018 g. [Elektronnyy resurs]. – Yakutsk: Izdatelskiy dom SVFU, 2018, pp. 219-222.

[7] Primeneniye samoreguliruyushchikhsya nagrevatelnykh kabeley: http://electrik.info/main/fakty/335-primenenie-samoreguliruyuschihsya-nagrevatelnyh-kabeley.html.

[8] https://sakhatent.ru.

УДК 622.24

О ПРОЦЕССЕ ТЕПЛОВЫДЕЛЕНИЯ ПРИ РЕЗАНИИ РЕЗЦАМИ ПОРОДОРАЗРУШАЮЩЕГО ИНСТРУМЕНТА ГОРНОЙ ПОРОДЫ НА ЗАБОЕ

Николай Тимофеев, Дмитрий Вершинин
Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, ул. Кулаковского, 50, г. Якутск, 677000, Россия

ABOUT THE PROCESS OF HEAT RELEASE WHEN CUTTING ROCK-BREAKING TOOLS AT THE BOTTOM OF THE ROCK FACE

Nikolay Timofeev, Dmitry Verchinin
M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, 50 Kulakovskiy St., Yakutsk, 677000, Russia

Annotation. The process of drilling various wells and workings, especially in the conditions of permafrost distribution (cryolithozone), is accompanied by a significant change in the physical properties of rocks due to the temperature factor, which are in direct contact with the cutters of the drilling tool. The process of heat release at the bottom of the well when cutting rock depends mainly on the method of drilling and on the amount of heat released due to cutting rocks.
The article describes the problem of the influence of the temperature factor on the process of drilling wells.

1. Введение

При бурении различных скважин в условиях распространения криолитозоны и не только, в связи с появлением и развитием новых технических средств и технологий, резким увеличением мощности современного оборудования, с постоянным увеличением глубины скважин, контроль температурного процесса становится все более важным и актуальным производственным вопросом [1]. Проведения горных выработок в зоне распространения многолетней мерзлоты существенно отличается от аналогов, расположенных в районах с умеренным климатом и положительной температурой пород. Специфика их обусловлена комплексным взаимодействием и влиянием горно-геологических, горнотехнических, мерзлотных и климатических факторов. В основе осложненных условий сооружения скважин в многолетнемерзлых породах лежит температурный фактор, определяющий эффективность процесса разрушения и транспортировки мерзлых горных пород на поверхность. В процессе резания мерзлой горной породы, при контакте резцов породоразрушающего инструмента с горным массивом, в области рабочей поверхности резцов интенсифицируется тепловыделение, которое способствует таянию мерзлых пород и последующему примерзанию к буровому инструменту разрушенной горной породы, приводящее к различным осложнениям и авариям.

2. Основной раздел

Особенностью бурения скважин в мерзлых породах является их чувствительность к изменению теплового режима. Даже малые колебания температуры приустьевой части скважины значительно меняют прочностные свойства мерзлых пород. Это обусловлено возникновением в порах мерзлых пород переходных процессов, в котором с понижением температуры часть содержащейся воды переходит из твердого состояния в жидкое. Дальнейшее изменение температуры приводит к смене состава воды в мерзлой породе и увеличению количества льда за счет воссоединения молекул чистой воды к кристаллам льда.
Основными определяющими компонентами многолетнемерзлых пород являются - лед, вода незамерзшая и (или) прочносвязанная, твердые минеральные частицы, а также пары и газы (Рисунок 1), которые в зависимости от формы и размеров оказывают существенное влияние на физико-механические свойства многолетнемерзлых пород.

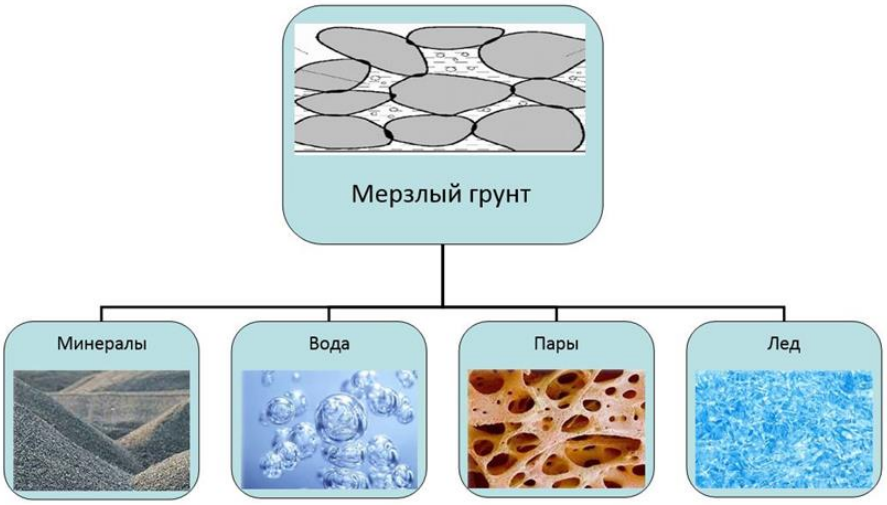


Рисунок 1. Состав многолетнемерзлых пород.

Лёд – является основным компонентом мёрзлых грунтов. Выделяют 1,2,3 модификации льда. В криолитозоне, содержится лёд 1-й модификации, имеющий высокую анизотропию свойств, существующий при температуре до -100 ºС, характеризующийся тем, что механические свойства кристаллов льда, в перпендикулярном направлении оси подчиняются законам реологической механики, в параллельном направлении, после упругих деформаций наступает хрупкое разрушение льда [2].

Тепловыделение, возникающее при разрушении горной породы, является основным фактором повышения температуры в призабойной части скважин. Данное явление объясняется тем, что в процессе бурения, механическая энергия разрушения горных пород переходит в тепловую энергию. Эта тепловая энергия нагревает породоразрушающий инструмент и пространство вокруг забоя, что отрицательно сказывается на бурении и процессах, связанных с ним.

Иными словами, тепловые явления, происходящие в скважине, способны оказывать влияние на:

1. Буримость пород;
2. Износ породоразрушающего инструмента;
3. Агрегатное состояние горной породы в зоне распространения многолетнемерзлых пород;
4. Целостность стенок скважин в условиях криолитозоны;
5. Свойства очистных агентов, промывочных жидкостей в частности;
6. Свойства цементных растворов;
7. На работу оборудования в скважине.

3. Выводы

Таким образом, данная область процесс тепловыделения при резании резцами породоразрушающего инструмента мерзлых горных пород при бурении, в силу малого количества широко поставленных исследований, все еще остается актуальным производственным вопросом. Решение поставленной задачи, а именно математическое моделирование термодинамического процесса, поспособствует разработке новой технологии бурения скважин в условиях криолитозоны, уменьшению тепловыделения в скважине, что в свою очередь, положительно скажется на предупреждении осложнений и аварийных ситуаций в процессе бурения.

4. Литература:

[1] Esman B.I., Dedusenko G.Ya., Yaishnikova E.A. Vliyaniye temperatury na protsess bureniya glubokikh skvazhin. - Moscow: Gostoptekhizdat, 1962, 152 pp.

[2] Proselkov. Yu. M. Teploperedacha v skvazhinakh / Yu. M. Proselkov. Moscow: Nedra, 1975, 209 pp.

УДК 622.33 (985) + (571.6)

ТРАНСФОРМАЦИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО УГЛЯ ПРИ ПОСТАВКАХ ПОТРЕБИТЕЛЯМ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ ЯКУТИИ

Владислав Федоров[1], Владимир Гаврилов[1,2]
1 Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского СО РАН, пр. Ленина, 43, г. Якутск, 677980, Россия
2 Институт горного дела им. Н.А. Чинакала СО РАН, Красный пр., 54, г. Новосибирск, 630091, Россия

THERMAL COAL TRANSFORMATION WHEN DELIVERED TO CONSUMERS OF THE ARCTIC ZONE YAKUTIA

Vladislav Fedorov[1], Vladimir Gavrilov[1,2]
1 Chersky Institute of Mining of the North, SB RAS, 43 Lenin Ave., Yakutsk, 677980, Russia
2 Chinakal Institute of Mining, SB RAS, 54 Krasniy Ave., Novosibirsk, 630091, Russia

Annotation. The coal mines of the central and northern zones of Yakutia, despite their small capacity, are important in providing fuel for the enterprises of the housing and communal sector of the Arctic. To study the nature of the transformation of coal flows from a geo-resource to shipment to consumers, the coal production and supply chains are considered. The transformation of thermal coal occurs due to external technological and internal physical and chemical processes with changes in the technical characteristics of solid fuel.

1. Введение

Местный и завозимый уголь является одним из основных видов топливно-энергетических ресурсов для выработки тепловой энергии в ряде арктических районов Якутии. Действующие в центральной и северной зоне республики угольные разрезы, несмотря на небольшие мощности, имеют достаточно большое значение в обеспечении топливом рассматриваемой труднодоступной территории. Взаимодействие добывающих и потребляющих уголь предприятий формирует цепочки его разведки, добычи, транспортирования, хранения и потребления с разной длиной и количеством звеньев. Под воздействием природных и технологических факторов, длительных сроков доставки топливо подвергается количественным и качественным изменениям [1,2]. Из-за этого результативность работы всей цепочки варьирует в широком диапазоне. Это предполагает актуальность изучения механизма и характера трансформации угля при переходе его от геологического ресурса в готовую продукцию для разработки и реализации комплексных мер, ориентированных на более эффективное использование.

2. Методика анализа схем обеспечения углем труднодоступных энергоизолированных районов Якутии

Анализ действующих и перспективных схем добычи и поставок угля показывает, что имеются как короткие цепочки типа «месторождение – разрез – котельная», так и многозвенные. Для последних характерно длительное время доставки, неоднократные перевалки и применение автомобильного, речного и морского транспорта. Такая ситуация связана с влиянием следующих основных факторов: удаленность друг от друга мест добычи и потребления; несовпадение периодов применения разных видов транспорта, различия в типах используемого оборудования, число перевалок и складов постоянного и временного хранения, качество угля. Для идентификации процессов изменения угля в цепочках поставок и описания условий и характера трансформации угольных потоков при прохождении ими от геологического ресурса до потребителя использована методика [3], адаптированная к условиям Севера [4] и дополненная с учётом пространственно-временных особенностей исследуемых технологических комплексов в рамках отмеченного выше вопроса.

3. Технологические процессы в цепочках поставок угля

В сформированной схеме добычи и поставок угля (Рисунок) представлен набор базовых вариантов, позволяющий более глубоко рассмотреть механизмы, ведущие к изменению свойств топлива в цепочках поставок. Выполненный анализ основных процессов, реально или потенциально влияющих на изменение количественных и качественных характеристик угля, учитывает исходную горно-геологическую информацию о месторождениях и данные об изменениях, происходящих с ним при прохождении от забоя в разрезах малой и сверхмалой мощности до потребителей в энергоизолированных арктических районах Якутии.

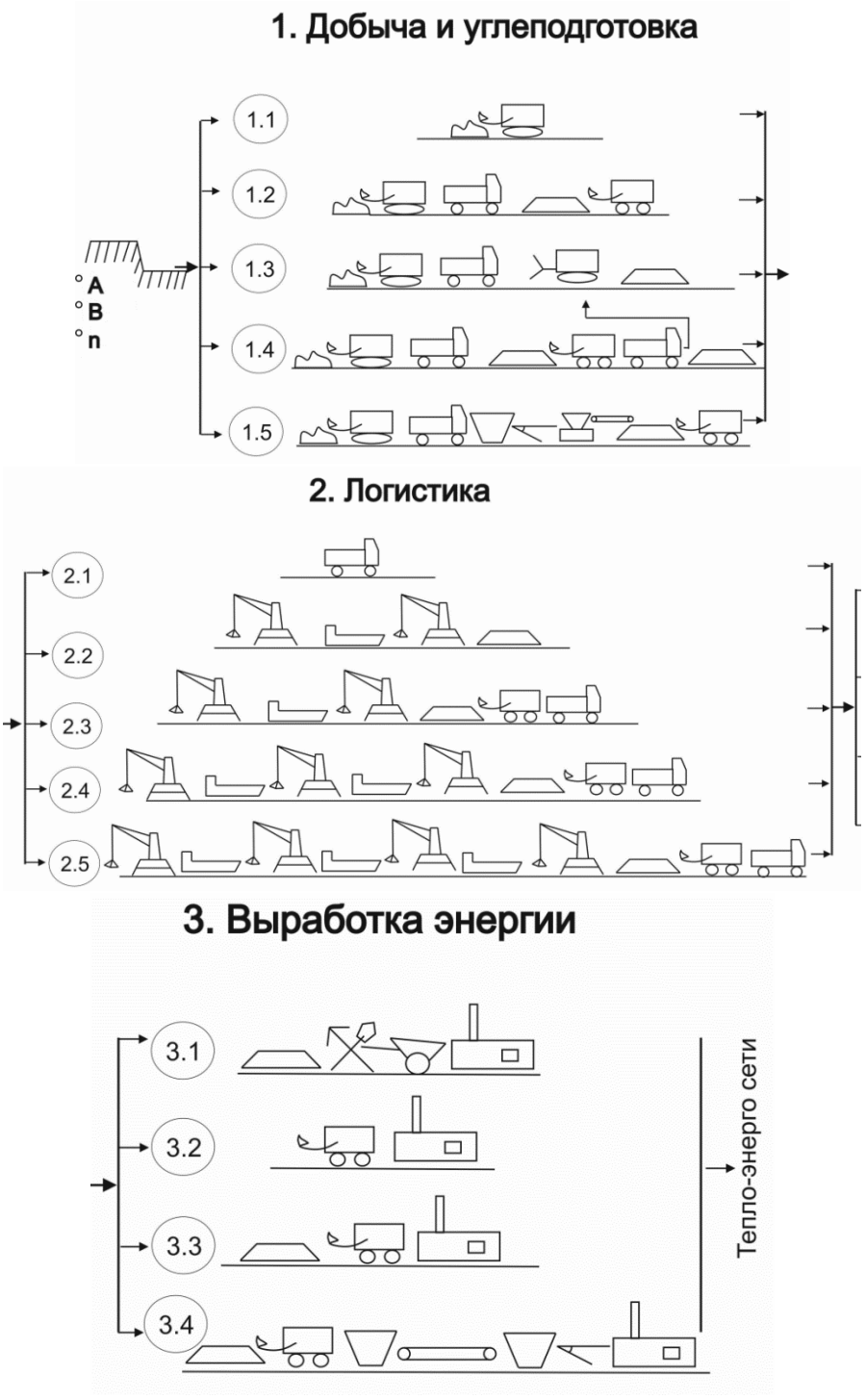


Рисунок 1. Схемы цепочек поставок.

Комплексное использование и обработки этих данных позволили рассмотреть схемы поставок как систему потоков угля различной интенсивности под воздействием внешних (экзо) и внутренних (эндо) процессов, приводящих, в том числе, к сверхнормативным количественным и ненормируемым качественным потерям топлива. Происходящие в неуправляемом или управляемом режиме физические процессы трансформации угля в потоках протекают по всей длине цепочки и сводятся к: аккумуляции, перестановке, классификации, разубоживанию, смерзанию, смешиванию, делению, сегрегации, выветриванию. Качественные характеристики угля также трансформируются, что связано с влиянием природно-климатических и организационно-технологических факторов. Топливо подвергается влиянию не только внешних физических воздействий, но и физико-химических эндо процессов, что ведёт к изменению: рабочей влажности; теплотворной способности; гранулометрического состава, зольности; степени окисления угля.

4. Выводы

Учёт процессов количественных и качественных изменений, которые происходят с углем в цепочках его поставок в арктические районы Якутии позволяет более обоснованно принимать решения при совершенствовании их работы.

Уточнение структурно-морфологических особенностей месторождений и функционала различных вариантов поставок угля приводит к возможности абстрагирования взаимосвязей, представлению их в виде схем, позволяющих вычленять базовые особенности эндо- и экзопроцессов, связанных с разведкой добычей, складированием, транспортировкой угля и выработкой из него энергии.

Обратная связь между конечными потребителями, добывающими и ведущими разведку угольных месторождений предприятиями позволяет точнее настраивать их совместную работу в многозвенных цепочках поставок твёрдого топлива, согласованную по общим для всех критериям эффективности.

5. Литература:

[1] Tkach S.M., Gavrilov V.L. Effect of georesource–consumer process flows on coal loss in energy supply of the Polar regions in Yakutia // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 53 (2017) 012017. DOI:10.1088/1755-1315/53/1/012017/.

[2] Zakharov V.E., Kozlov A.N., Donskoy I.G. Modeling of changes in the heating value of coal transported to Russia’s far north regions on the example of the republic of Sakha (Yakutia) // Bulletin of the Academy of Sciences. Energy. 2018, no. 9, pp. 132-141 (in Russian).

[3] Ershov V.V. Geological surveying support of ore quality management. Moscow: Nedra. 1986, 261 pp. (in Russian).

[4] Fedorov V.I., Gavrilov V.L., Khovutanov E.A. Schemes of qualitative and quantitative coal transformation for mining and preparation for supply to the remote consumers // Advances in current natural sciences. 2017, no. 9, pp. 102-107 (in Russian).

УДК 622.33 (004) (571.56)

О МОДЕЛИРОВАНИИ ЗАПАСОВ СЛОЖНОСТРУКТУРНЫХ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Евгений Хоютанов[1], Владимир Гаврилов[1,2]
1 Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского СО РАН, пр. Ленина, 43, г. Якутск, 677980, Россия
2 Институт горного дела им. Н.А. Чинакала СО РАН, Красный пр., 54, г. Новосибирск, 630091, Россия

ON THE MODELING OF RESERVES OF COMPLEX STRUCTURE COAL DEPOSITS

Evgenii Khoiutanov[1], Vladimir Gavrilov[2]
1 Chersky Institute of Mining of the North SB RAS, 43 Lenin Ave., Yakutsk, 677980, Russia
2 Chinakal Institute of Mining SB RAS, 54 Krasniy Ave., Novosibirsk, 630091, Russia

Annotation. The article describes the results of research, on the basis of which problems can be formulated for three-dimensional modeling of coal deposits with a complex structure and heterogeneous spatial distribution of qualitative and quantitative indicators. The developed methodology for assessing the natural and technological dilution of extracted coal raises the question of the possibility of spatial assessment of mineable and non-mineable rock and high-ash partings, identification of zones with a high concentration of them, convenient accounting of the number and thickness of partings, and determination of various components of the ash content index.

1. Введение

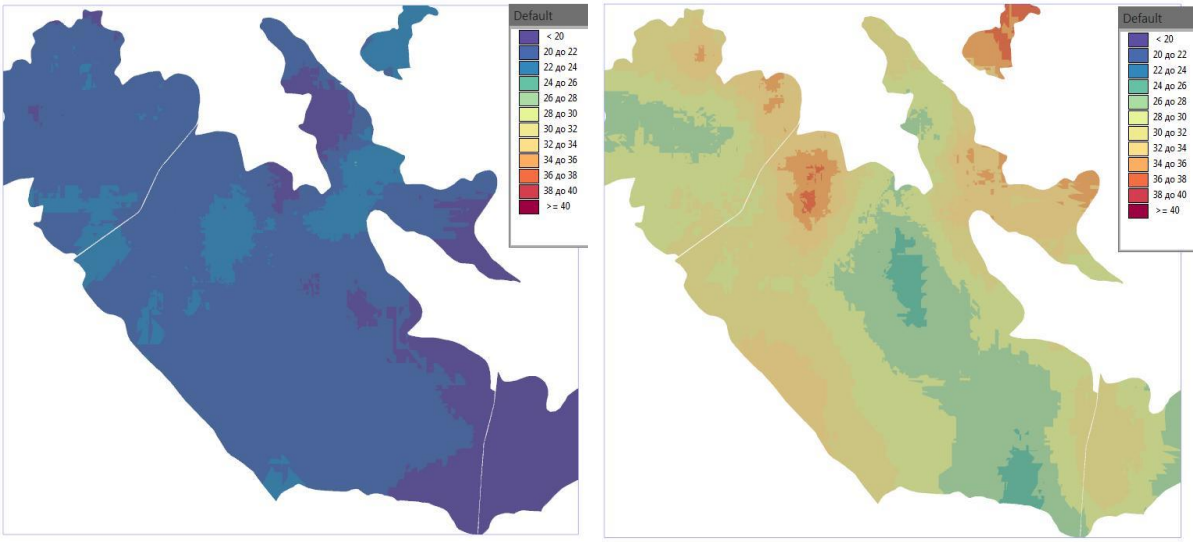
Условия разведки и освоения месторождений с дефицитными марками коксующегося угля и антрацита сопоставимы по сложности с рудными залежами. Для таких сложных месторождений характерны: выклинивание, расщепление, невыдержанная мощность пластов; наличие нарушенности горных массивов; неоднородные характеристики пород междупластьев; высокая изменчивость и неаддитивность потребительских свойств топлива в запасах; кластерное распределение в них полезных и вредных компонентов; различная достоверность данных, полученных на разных этапах изучения недр; другие природные и техногенные факторы. Теория и практика разведки, моделирования, оценки запасов и их разработки не в полной мере учитывает эти важные особенности, что актуализирует необходимость поиска резервов для повышения эффективности работы. Обработка данных и представление их в форме трехмерной модели позволяет ускорить доступ к необходимой информации, упрощает принятие решений, связанных с освоением сложноструктурных месторождений. Суммируя ряд ежегодных докладов, представленных на конференции, можно отметить, что публикуется множество работ, посвященных проблемам моделирования, исследования достоверности данных, использования методов интерполяции и др. Например, приводятся алгоритмы, блок-схемы создания моделей [1], описывается опыт использования того или иного метода моделирования [2,3], сравниваются разные методы [4,5], описываются нестандартные подходы с комбинированием традиционных технологий и, в частности, метода главных компонент (PCA), при котором сложный набор данных с вероятно коррелирующимися переменными переводится в сравнительно меньший с некоррелированными факторами, содержащий большую часть первоначальной информации [6,7]. Также к нестандартным подходам можно отнести, например, создание структурных, литологических моделей для угольного месторождения посредством программного обеспечения, ориентированного в первую очередь на залежи углеводородов, Petrel Software [8] и автоматизацию создания геологических моделей на основе технологий, применяемых в системах автоматического проектирования [9].

2. Методика, результаты и обсуждение

Ранее предложена с учётом необходимости повышения качества добываемого угля, особенностей возникновения его природного разубоживания, вытекающих из изучения месторождений Южной Якутии, методика оценки зольности добываемого угля A^d по пяти составляющим: вмещающие породы кровли и почвы пластов A^d_1; извлекаемые внутрипластовые породные и высокозольные прослойки A^d_2; не извлекаемые по различным причинам породные и высокозольные прослойки A^d_3; минеральные частицы, заполняющие часть трещин и порового пространства или вкрапленные по всей массе угля A^d_4; материнские неорганические минеральные примеси A^d_5 [10].

Эта методика ставит новые задачи перед трехмерным моделированием месторождений, в частности возможность пространственной оценки извлекаемых и неизвлекаемых породных и высокозольных прослоев, возможность выявления зон с высокой их концентрацией, возможность оперативного учета количества и мощности прослоев, в т.ч. совокупной по пластам, оперативной оценки показателя зольности.

С использованием различного программного инструментария (Surfer, Micromine, Mineframe) ведутся работы по моделированию, изучению алгоритмов создания геологических моделей пластовых залежей, адаптации в современных цифровых реалиях разработанных и разрабатываемых методов и способов, относящихся к эффективному комплексному рациональному ресурсосберегающему экологически сбалансированному освоению месторождений твердых полезных ископаемых (Рисунок).



а) б)

Рисунок 1. Изолинии зольности верхней (а) и нижней (б) выделенных пачек пласта H_{16} Эльгинского месторождения.

Среди множества различных условий разведки, добычи и переработки минерального сырья для каждого месторождения в целом, его блоков, горизонтов и выемочных участков встречаются уникальные сочетания всего нескольких факторов, которые в решающей степени определяют эффективность и безопасность разработки. На практике таких сочетаний для крупного и сложного месторождения может быть до сотни, что необходимо учитывать при планировании и ведении разведочных и горных работ.

На рисунке продемонстрированы возникающие возможности для планирования добычи, основанные на ранее выявленной особенности структуры пласта H_{16} – концентрации большинства породных прослоев в нижней части, что приводит к выраженной разнице по показателю средней зольности верхней и нижней условно выделенных пачек.

Возможности дополнительной дифференциации в пространстве добываемого угля по типам, сортам и технологическим группам ставят вопрос о целесообразности применения позабойного

управления качеством угля. Суммирование потенциала оцениваемых раздельно участков, пластов, их пачек с учётом сложности строения, содержания минеральных примесей в угле, его спекаемости, обогатимости на основе реализации теоретических подходов с помощью различных цифровых технологий должно способствовать общему росту инвестиционной привлекательности месторождений.

3. Выводы

Вопросы изучения достоверности исходной информации, необходимости ведения опережающего опробования, установления оптимального размера разведочной сети скважин, необходимого и достаточного уровня знаний о георесурсе, выбора метода интерполяции при моделировании угольных месторождений, установления количественной оценки сложности структуры залежей, совместного картирования имеющих определяющие значения квалиметрических показателей, объяснения причин неполного соответствия модельных построений реальным природным объектам, взаимосвязанной разработки и совместного использования геологических, геофизических, геомеханических и геотехнологических моделей, учитывающих возможности методов линейной и нелинейной интерполяции для оценки типов горных пород, свойств угля в запасах и технологических потоках в рамках комплексного управления качеством и многое другое должно способствовать и оказывать влияние на совершенствование алгоритмов и методов моделирования.

4. Литература:

[1] Izhar Mithal Jiskani, Fahad Irfan Siddiqui and Abdul Ghani Pathan Integrated 3D geological modeling of Sonda-Jherruck coal field, Pakistan // Journal of Sustainable Mining, 2018, vol. 17, iss. 3, pp. 111-119.

[2] D. Che and Q. Jia Three-Dimensional Geological Modeling of Coal Seams Using Weighted Kriging Method and Multi-Source Data // IEEE Access, 2019, vol. 7, pp. 118037-118045.

[3] Ricardo A. Olea and James A. Luppens Sequential Simulation Approach to Modeling of Multi-Seam Coal Deposits with an Application to the Assessment of a Lousiana Lignite // Natural Resources Research, 2012, vol. 21, no. 4, pp. 443-459.

[4] Hui Juan Zhang, Shou Chen Ma, Wen Kai Liu, He Bing Zhang and Song He Yuan Three-Dimensional Spatial Simulation and Distribution Characteristics of Soil Organic Matter in Coal Mining Subsidence Area // Materials Science Forum, 2020, vol. 980, pp. 437-448.

[5] Ahmet Dag and Ali Can Ozdemir A, Comparative Study for 3D Surface Modeling of Coal Deposit by Spatial Interpolation Approaches // Resource Geology, 2013, vol. 63, no. 4, pp. 394-403.

[6] Louloudis G., Roumpos C., Theofilogiannakos K. and Stathopoulos N. Multi-Seam Coal Deposit Modeling via Principal Component Analysis & GIS // Minerals, 2019, vol. 9 (9): 532.

[7] Sideri D., Roumpos C., Pavloudakis F., Paraskevis N. and Modis K. Multivariate Geostatistical Modeling of Lower Calorific Value in Multi-Seam Coal Deposits // Applied Sciences, 2020, vol. 10 (18): 6208.

[8] Tomasz Urych, Magdalena Głogowska, Robert Warzecha, Anna Wątor & Jarosław Chećko 3D model of hard coal deposit and analysis of the possibility of using it to plan deposit management // 19th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM 2019 Conference proceedings, 2019, no 1.3, pp. 3-14.

[9] Ayten Eser and Ahmet Dağ Geological modeling of a stratified deposit with CAD-Based solid model automation // REM - International Engineering Journal, 2017, vol. 70 (3), pp. 339-346.

[10] Khoyutanov E.A. and Gavrilov V.L. Procedure for estimating natural and technological components in ash content of produced coal // Journal of Mining Science, 2018, vol. 54, no. 5., pp. 782-792.

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

Агашев А.М. 268, 327
Акинин В.В. 31, 98
Александров А.Р. 122, 371, 374
Алексеев В.И. 127
Алексеев В.Р. 381, 401
Алимгузин А.М. 228
Аминов А.В. 299
Андреев А.П. 308
Андросов Д.В. 204
Анисимова Г.С. 129, 164, 176, 206
Антонова Т.А. 272, 299
Афанасьев В.П. 275, 303, 327, 340
Баранов Б.В. 115
Баранов В.В. 33, 37, 85
Баранов Л.Н. 134, 138
Бартова А.В. 11
Батугина Н.С. 142
Бекренев К.А. 311
Берёзкин В.И. 146
Биллер А.Я. 279
Бондарь Н.А. 146
Бураков А.М. 463
Васильев Д.А. 15, 42, 105
Васильев М.С. 352
Васильева А.Е. 19
Васильева А.Н. 23, 27, 150, 454
Васильева Т.И. 185, 354
Вахрин И.С. 359
Верниковская А.Е. 257
Вершинин Д.В. 502
Винокурова Д.П. 336
Вирт Р. 303
Гаврилов В.Л. 467, 504, 507
Галанин А.А. 23, 27, 150, 454
Гамянин Г.Н. 160
Гейслер В. 115
Герасимов Б.Б. 154
Гибшер А.А. 283, 332, 348
Глухов А.Н. 31, 98, 101, 158
Глязнецова Ю.С. 262, 265, 363, 391
Гоголева С.С. 19
Гололобова А.Г. 367, 388
Горячев Н.А. 160
Гриненко В.С. 33, 37
Громилов С.А. 340
Гулый С.А. 425
Егоров В.В. 235
Егоров И.А. 470, 497
Егорова Н.М. 371
Ермаков Н.Н. 15, 42, 105
Ефимов С.Е. 374
Железняк М.Н. 425
Желонкин Р.Ю. 154, 268
Желонкина М.С. 45, 49
Журавлев А.И. 45, 49, 213
Забелин А.В. 332
Заякина Н.В. 185
Землянскова А.А. 378, 381, 401
Земнухов А.Л. 19, 213, 268
Зинчук М.Н. 286
Зинчук Н.Н. 286, 291
Зуева И.Н. 262, 265, 363, 395
Иванников С.И. 204
Иванов А.И. 45, 49
Иванов М.С. 45, 49
Иванова З.Е. 231
Имаева Л.П. 51
Каймонов М.В. 472, 475
Кардашевская В.Н. 129, 164, 176
Карпова М.И. 231
Килясов А.Н. 56
Кирсанов А.А. 166
Кирсанов Г.А. 166
Климова И.В. 27
Козлова И.В. 388
Козьмин Б.М. 60, 76, 115
Колесник А.Ю. 297
Коломиец В.Л. 170, 172
Колосов П.Н. 64
Кондратьева Л.А. 129, 176
Коновалова Е.А. 200
Копылова А.Г. 180
Корольков А.Т. 72
Костин А.В. 182
Котов А.Б. 31, 98
Котов П.И. 436
Кравченко А.А. 45, 49, 146
Крылов А.А. 115
Крымский Р.Ш. 254
Крюгер Ф. 115
Кряжев С.Г. 160
Кудрин М.В. 185, 189, 217, 250, 254
Кузнецов А.Б. 98
Кузьмин Д.С. 283
Курбанов Р.Н. 23, 150
Кутыгин Р.В. 68
Куть А.А. 385
Кычкин В.А. 242
Лебедев И.Ф. 477
Лебедева Л.С. 415
Легостаева Я.Б. 354, 367, 388, 450
Леонтьев С.Н. 481
Летунов С.П. 72
Липашова А.Н. 272, 299
Липияйнен К.Л. 166
Литвиненко И.С. 192
Литовко А.А. 395
Лифшиц С.Х. 262, 265, 363, 391
Лиханов И.И. 94
Логвинова А.М. 303
Лоскутов Е.Е. 45, 49
Лунецкайте В.В. 395
Лыткин В.М. 23, 27
Макаров А.А. 60, 76
Макаров В.Н. 397, 419
Макарьева О.М. 378, 381, 401, 412
Макошин В.И. 78
Мальковец В.Г. 94, 283, 348
Марсанова М.Р. 197
Милаушкин М.В. 81
Мишин Л.Ф. 200
Молотков А.Е. 340
Молчанов В.П. 204
Мурзин Ю.А. 405
Мустафин С.К. 206, 408
Нестерова Н.В. 378, 381, 401, 412
Николаев А.И. 85
Николенко Е.И. 303
Ноев Д.С. 388
Оболкин А.П. 90
Овсов Р.Н. 210
Овчинников И.М. 307, 332
Огонеров В.В. 415
Округин А.В. 146, 213
Олейников О.Б. 279, 311, 320, 327
Опарин Н.А. 311
Остапенко Д.В. 316
Осташов А.А. 381, 401
Ощепкова М.Г. 311, 320, 327
Павлова К.А. 239
Павлова Н.А. 415
Павлушин А.Д. 324, 340
Панишев С.В. 475
Пермяков П.П. 371
Петров Е.О. 42, 105
Петрова Е.С. 419
Петухова Е.С. 485
Плётц А. 115
Ползуненков Г.О. 31, 98
Полуфунтикова Л.И. 217, 250
Помазанский Б.С. 272
Поморцев О.А. 422
Поморцева А.О. 422
Попов В.Ф. 388
Попов В.Ф. 489, 491
Попов Н.В. 94, 146
Порошина И.Д. 422
Портнягин А.С. 493
Похиленко Л.Н. 311, 320, 327
Похиленко Н.П. 268, 272, 311, 327
Прийменко В.В. 31, 98, 101, 158
Прокопьев А.В. 15, 42, 105
Протопопов Р.И. 109
Пуляев Н.А. 222, 225
Рассказов С.В. 113
Ратьковский Г.Е. 246
Рожина М.С. 425
Рыжкович Е.В. 493
Рязанов К.П. 42, 105
Саввин Д.В. 239
Сальникова Е.Б. 31, 98
Самданов Д.А. 324
Самсонов В.В. 497
Сасим С.А. 72
Семенов М.Е. 493
Севостьянова Р.Ф. 239
Серкебаева Е.С. 228
Серов В.И. 268
Сивцев А.И. 231, 235, 470
Сивцева Н.Е. 428
Ситников В.С. 239
Скрябин Р.М. 470, 481, 497
Скрябина А.С. 454

Смирнов М.Ю. 166
Собакин П.И. 431
Соколов Е.П. 129, 176
Соколова А.В. 197
Соловьев Е.Э. 242
Старостин П.В. 336
Стативко В.С. 246
Стручков К.К. 408
Сысолятин Р.Г. 425
Талтыкин Ю.В. 200
Тананаев Н.И. 436, 440
Тарасов Я.А. 217, 250
Тарских О.В. 332, 336
Татаринов Д.М. 470, 497
Терентьев Р.Р. 363
Тимофеев В.Ф. 45, 49
Тимофеев Н.Г. 481, 502
Тихонравова Я.В. 444
Толстов А.В. 134, 138
Торговкин Н.В. 419
Торговкин Я.И. 456
Трифонов А.Н. 408
Туктаров Р.М. 60, 115
Тычков Н.С. 327
Угапьева С.С. 303, 340
Федоров В.И. 504
Филиппов В.Р. 422
Фомина М.И. 158
Фрейдина Е.В. 467
Фридовский В.Ю. 185, 189, 217, 250, 254, 257
Хаберланд К. 115
Халгаев Е.У. 176
Хоютанов Е.А. 507
Храмцов А.А. 336
Христофоров И.И. 485
Цуканов Н.В. 115
Цыганков А.А. 160
Чалая О.Н. 262, 265, 363, 391
Чепрасов М.Ю. 485
Чербунина М.Ю. 440
Червяковская М.В. 268
Червяковский В.С. 268
Черепанова А.М. 448
Чжан Т.Р. 395
Чувашова И.С. 113
Шадринова О.В. 450
Шапошников Г.И. 23, 27, 454
Шарыгин И.С. 327
Шестакова А.А. 456
Шибаев С.В. 60, 76, 115
Шихов А.Н. 381, 401
Шкодзинский В.С. 119, 345
Юдаков А.А. 204
Юдин С.В. 105
Яицкий Д.В. 235
Яковлев А.А. 235
Яковлев И.В. 348
Яковлева К.Ю. 257
Янников А.М. 460
Янникова С.А. 460
Ясныгина Т.А. 113

Научное издание

ГЕОЛОГИЯ И МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВЫЕ РЕСУРСЫ СЕВЕРО-ВОСТОКА РОССИИ

Материалы XI Всероссийской научно-практической конференции
05-07 апреля 2021 г.

Выпускается в авторской редакции

Дата подписания к использованию 03.08.2021. Электронное издание
Объем 19,7 Мб. Тиражж 10 дисков. Заказ № 136.
Минимальные системные тебования:
Процессор с тактовой частотой 1,3 Гц и выше, оперативная память 128 Мб,
операционные системы: Microsoft Windows XP/Vista/7/8/10, ОС MAC OS версии 10,8.
Издательский дом Северо-Восточного федерального университета,
677891, г. Якутск, ул. Петровского, 5. E-mail: izdat-svfu@mail.ru

Изготовлено с готового оригинал-макета в Издательском доме СВФУ