

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова
Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН
Академия наук Республики Саха (Якутия)
Якутское отделение Российского минералогического общества



**ГЕОЛОГИЯ И МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВЫЕ РЕСУРСЫ
СЕВЕРО-ВОСТОКА РОССИИ**

**Материалы X Всероссийской научно-практической конференции
с международным участием**

08 – 10 апреля 2020 г.

Якутск
2020

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

Ответственный редактор
В.Ю. Фридовский

На обложке: Гора Красивая – геологический памятник России.
Фото М. Кудрина, 2020 г.

Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России:
материалы X Всероссийской научно-практической конференции
с международным участием, 08 - 10 апреля 2020 г. / [Отв. ред.
В.Ю. Фридовский]. – Якутск: Издательский дом СВФУ, 2020. – 631 с.
ISBN 978-5-7513-2970-9

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

Материалы сборника представляют интерес для ученых и исследователей, а также студентов, обучающихся по геологическим специальностям.

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

© Северо-Восточный федеральный
университет, 2020

ISBN 978-5-7513-2970-9

© ИГАБМ СО РАН, 2020

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕКТОНИКА, ГЕОДИНАМИКА И ЭВОЛЮЦИЯ ЛИТОСФЕРЫ СЕВЕРО-ВОСТОКА АЗИИ

Баранов В.В., Гриненко В.С. Эволюция глобальной палеогеографии и палеобиогеографии от позднего триаса до поздней юры по замковым брахиоподам	15
Баранов В.В., Гриненко В.С., Князев В.Г., Шурыгин Б.Н., Дзюба О.С. Совершенствование региональной стратиграфической схемы верхнего триаса – юры востока сибирской платформы и северо-востока Азии	20
Белолобский И.Н., Боескоров Г.Г. Четвертичные отложения на реке Бадяриха (бассейн р. Индигирка, Якутия)	25
Васильев Д.А., Прокопьев А.В., Ермаков Н.Н., Рязанов К.П., Петров Е.О. Тектонические структуры юго-восточного фланга зоны сочленения Иньяли-Дебинского синклиория и Омuleвского террейна	30
Галанин А.А., Шапошников Г.И., Павлова М.Р., Васильева А.Н. Свидетельства климатической катастрофы позднего триаса (12,7 тыс. л.н.) в Восточной Сибири	34
Ганелин А.В., Лучицкая М.В., Маскаев М.В., Травин А.В. Состав и особенности формирования вулканитов Индигирского разреза Уяндино-Ясачненской вулканической дуги	38
Гриненко В.С., Баранов В.В. Верхоянский терригенный комплекс – бассейновая тектоника	42
Гриненко В.С., Баранов В.В., Васильева Т.И. Особенность прогнозной продуктивной специализации Верхоянского терригенного комплекса Куранахского антиклиория (Западное Верхоянье)	46
Ермаков Н.Н., Прокопьев А.В., Васильев Д.А., Рязанов К.П., Петров Е.О., Юдин С.В. Новые данные о стратиграфии и магматизме юго-восточного фланга Иньяли-Дебинского синклиория	51
Жиренко Д.О., Сивкова Е.Д., Ступакова А.В., Суслова А.А., Стафеев А.Н. Палеогеографические условия формирования Куонамского горизонта Восточной Сибири	55
Иванов Е.Е., Шарина А.К., Кравченко А.А., Березкин В.И., Герасимов Б.Б., Павлов В.И. Рудные минералы галек аллювия рек Молодо и Далдын	59

Иванов М.С., Иванов А.И., Журавлев А.И., Лоскутов Е.Е., Желонкина М.С. Петрографический состав магматических образований Медведевского массива (Южная Якутия, Алданский щит)	62
Иванов А.И., Иванов М.С., Журавлев А.И., Лоскутов Е.Е., Желонкина М.С. Химический состав магматических образований Медведевского массива (Южная Якутия, Алданский щит)	66
Имаева Л.П., Гусев Г.С., Имаев В.С. Новейший структурный план и сейсмотектоническая активизация Усть-Ленского разлома	69
Килясов А.Н. О первой находке лепидодита рода <i>ursodendron</i> в каменноугольных отложениях Верхоянья	74
Киргуев А.А., Константинов К.М. Палеомагнитные реконструкции сибирской платформы в конце перми начале триаса	78
Козьмин Б.М., Шibaев С.В., Макаров А.А. Макросейсмические проявления сильных землетрясений зоны Черского на северо-востоке Якутии	82
Колосов П.Н., Акимова Е.Д., Берёзкин В.И. Новые данные о вулканизме в районе Тээтэ (Якутия) – местонахождения раннемеловых позвоночных	85
Константинов К.М., Николенко Е.И., Козлов Г.И. Новые палеомагнитные данные по базитам западного фланга Чаро-Синского дайкового пояса	89
Константинов К.М., Шарыгин И.С., Хороших М.С., Антонова Т.А., Потапов С.В. Петро- и палеомагнитные характеристики кимберлитов месторождения Верхнемунское	93
Копылова А.Г., Васильева А.Е. Петрохимическая характеристика траппов с проявлениями самородного железа	96
Кузнецов В.М. Геокинематическая модель формирования структуры Верхоянно-Чукотской складчатой области	101
Лазарева Е.В., Пономарчук В.А., Жмодик С.М., Добрецов Н.Л., Травин А.В., Сурков О.Н., Толстов А.В., Карманов Н.С. Ультракалийевая порода Томторского комплекса (Арктическая Сибирь)	105
Макаров А.А., Козьмин Б.М., Шibaев С.В. Сейсмичность и геофизические поля Тимптоно-Учурского блока	109
Макошин В.И. Филогения рода <i>jakutoproductus</i> Верхоянья	112
Нигаи Е.В., Гурьянов В.А. Алтахинский интрузивный комплекс (Буреинский массив)	116

Петрова М.Н. Состав интрузивных образований северной части Балыгычано-Сугуйского прогиба (Магаданская область)	120
Прокопьев А.В., Ершова В.Б., Стокли Д. Позднемезозойские осадочные бассейны Восточной части Колымо-Омолонского микроконтинента и их связь с магматическими поясами Восточно-Азиатской активной континентальной окраины	124
Протопопов Р.И. Геодинамика северного гранитоидного пояса Верхояно-Колымской орогенной области	128
Симонов В.А., Котляров А.В., Алифирова Т.А., Николенко Е.И., Васильев Ю.Р. Глубинные источники базит-ультрабазитовых магм северо-востока Сибирской платформы: данные по геохимии расплавных включений в хршпинелидах	132
Сычев С.Н., Лебедева О.Ю., Рогов А.В., Маклашин В.С. Среднепалеозойский гранитоидный магматизм Рассошинской зоны Омурского поднятия	136
Томшин М.Д., Копылова А.Г., Васильева А.Е. Петролого-геохимические особенности Айхальского траппового силла с проявлениями самородного железа	140
Третьяков Ф.Ф. Тектоническая схема Верхояно-Колымских мезозоид	144
Трунилина В.А. Цирконы гранитоидов Верхояно-Колымской орогенной области	147
Туктаров Р.М., Шibaев С.В., Козьмин Б.М., Гейслер В., Крюгер Ф., Плетц А. Сейсмичность дельты реки Лена и соседних районов в 2016-2018 гг	151
Шкодзинский В.С. Природа геологической эволюции Земли	155
Шпикерман В.И., Брусницына Е.А. Новая схема расчленения протерозойских образований Восточного Приколымья	159
Яковлева К.Ю., Фридовский В.Ю., Верниковская А.Е. Петрография, геохимия и геодинамическая обстановка формирования позднеюрских даек Вьюнского рудного поля (Северо-Восток Якутии)	164

ГЕОЛОГИЯ И МИНЕРАЛОГИЯ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ СЕВЕРО-ВОСТОКА РОССИИ

Александров А.Р., Ефимов С.Е., Ерофеевская Л.А. Природный цеолит как геохимический барьер на пути миграции радионуклидов на объекте ПЯВ «Кратон-3»	168
Алексеев В.И. Петрографические признаки генезиса «белых гранитов» Кестёрского месторождения, Якутия	171
Анисимова Г.С., Кондратьева Л.А., Кардашевская В.Н. Вещественный состав руд Спокойнинского узла	175
Анисимова Г.С., Кардашевская В.Н. Формы нахождения теллура и селена в рудах золоторудного месторождения Бодороно (Южная Якутия)	179
Аширов Э.Э., Сивцев А.И. Особенности Бысахтахского горизонта и перспективы нефтегазоносности	184
Баранов Л.Н., Толстов А.В., Округин А.В. Благородные металлы в щелочных породах и карбонатах	188
Гамянин Г.Н., Горячев Н.А., Кряжев С.Г. Изотопно-геохимические особенности кварца и карбонатов рудных и безрудных жил Верхояно-Колымского региона	192
Герасимов Б.Б., Желонкин Р.Ю. Апокарбонатные гидротермально-метасоматические образования – новый тип золотоносных проявлений Анабарского района	195
Глухов А.Н., Колова Е.Е., Савва Н.Е. Золото-серебряное оруденение Восточной Чукотки	199
Жмодик С.М., Добрецов Н.Л., Лазарева Е.В., Белянин Д.К., Толстов А.В., Карманов Н.С. Золото и серебро в щелочных породах массива Богдо (Арктическая Сибирь)	201
Журавлев А.И., Округин А.В., Иванов А.И., Лоскутов Е.Е., Кравченко А.А., Иванов М.С., Желонкина М.С. Типохимизм самородного золота из россыпей Эвотинского уран-золоторудного района (Алданский щит)	205
Заякина Н.В., Кудрин М.В., Фридовский В.Ю. Неизвестный сульфат-арсенат-фосфат Al и Fe из месторождения Хангалас (Восточная Якутия)	210
Зуева И.Н., Чалая О.Н., Глязнецова Ю.С., Лифшиц С.Х., Попова Н.И., Прокопьев А.В., Александров А.Р. Геохимия поверхностных нафтидо-проявлений в среднекаменноугольных отложениях Приколымского поднятия	214

Кислицын А.А., Кузнецов С.В. Оценка запасов газового месторождения методом материального баланса	218
Коломиец В.Л. Фациально-генетическая характеристика и промышленное значение четвертичных осадочных толщ Усть-Баргузинской впадины (Байкальская рифтовая зона)	223
Коломиец В.Л. Сырье для стекольной промышленности Байкальского региона: отложения, критерии поисков и потенциал	227
Кондратьева Л.А., Минаков А.В., Кравченко А.А. Золото-теллуридная минерализация Нимгерканского рудного узла (Алданский щит)	231
Космачева А.Ю., Федорович М.О. Комплексная оценка генерационного потенциала нефтегазопроизводящих толщ Хапчагайского мегавала (бассейновое моделирование)	236
Костин А.В. Fe-оксидные-Au-Cu проявления Восточной Якутии	239
Кравченко А.А., Березкин В.И., Журавлев А.И., Округин А.В., Тимофеев В.Ф., Попов Н.В., Кардаш Е.А., Рожков А.А., Лоскутов Е.Е. Металлогеническая специализация палеопротерозойских гранитоидов и кристаллосланцев центральной части Алдано-Станового щита	243
Кравченко А.А., Тимофеев В.Ф., Мельников А.И., Березкин В.И., Попов Н.В., Кардаш Е.А., Рожков А.А., Лоскутов Е.Е., Иванов Е.Е. Рудоконтролирующие структуры гранулитовых комплексов Алдано-Станового щита	246
Кудрин М.В., Фридовский В.Ю., Полуфунтикова Л.И. Рентгеновская компьютерная микротомография сульфидов с «невидимым» золотом месторождения Хангалас (Восточная Якутия)	250
Лемешев Я.В., Сивцев А.И. «Цветковые структуры» и связанные с ними нефтегазопрооявления	254
Лоскутов Е.Е., Кравченко А.А., Терехов А.В., Иванов А.И., Журавлев А.И., Иванов М.С., Желонкина М.С. Структурный контроль мезозойских щелочных интрузий и вероятный возраст золотой минерализации на южном продолжении Якутской зоны разломов Алданского щита	258
Михалицына Т.И., Глухов А.Н., Приimenko В.В., Фомина М.И. Геохимические особенности Au-Ag (Sn) месторождения Невенрекан (ОЧВП, Магаданская область)	262
Молчанов В.П., Андросов Д.В., Юдаков А.А., Иванников С.И. Высокотехнологичные металлы золото-ильменитовых россыпей Сихотэ-Алиня	265

Никифорова З.С. Золотоносность гидротермально- метасоматических образований в терригенно-карбонатных толщах (восток Сибирской платформы)	269
Округин А.В., Журавлев А.И., Якубович О.В. Геодинамическая обстановка формирования мезозойских Au-Pt месторождений Алданского щита	273
Округин А.В., Толстов А.В., Баранов Л.Н., Земнухов А.Л. Лено-Анабарская благородно-редкометалльно-алмазоносная металлогеническая провинция	279
Павлова К.А. Тастахский прогиб – первоочередной объект нефтегазо-поисковых работ на северо-востоке Якутии	285
Сарыг-оол Б.Ю., Лазарева Е.В., Жмодик С.М., Мягкая И.Н., Баранов Л.Н., Толстов А.В. Распределение Au и Ag в породах Томторского комплекса (Арктическая Сибирь)	288
Сахно В.Г., Кузнецов Ю.А. Платиноиды золото-серебряных месторождений и рудопоявлений Охотско-Чукотского и Восточно-Сихотэ-Алинского вулканоплутонических поясов Дальнего Востока (Россия)	293
Севостьянова Р.Ф., Ситников В.С. Прогноз потенциальной нефтеносности северо-западной части непско-ботуобинской НГО	298
Сивцев А.И., Александров А.Р., Петров Д.М. Селеняхский блок: геологическая позиция и вопросы нефтегазоносности Восточной Якутии	301
Ситников В.С. О нетрадиционных подходах к изучению нефтегазоносности недр	305
Цыганков А.А., Горячев Н.А., Хубанов В.Б., Бурмакина Г.Н. Новые изотопно-геохимические данные по гранитоидам юго-восточного фланга главного Колымского батолитового пояса	308
Чалая О.Н., Лифшиц С.Х., Зуева И.Н., Глязнецова Ю.С., Карелина О.С. Углеводороды алмазоподобного строения в нефтях и конденсатах венд-кембрийских отложений Западной Якутии	311

ГЕОЛОГИЯ И МИНЕРАЛОГИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ АЛМАЗА

Архипенков А.И., Иванов А.С., Шамаков И.И. Переход состава спессартин-гроссуляр-пироп-альмандин в пироп-гроссуляр-андрадит в кимберлитах Рио-Ранч (Ззимбабве)	315
Афанасьев В.П. Датировки кимберлитов U-Pb методом по цирконам: возможности и возможные ошибки	319
Афанасьев В.П., Похиленко Н.П. Контаминация в алмазной минералогии: пути и значение	322
Афанасьев В.П., Угапьева С.С., Бабич Ю.В., Елисеев А.П., Горький С.В. Отражение неоднородности алмаза в разных методах исследования	326
Бардухинов Л.Д., Специус З.В. Перспективы наличия (обнаружения) крупных алмазов в кимберлитовых трубках Якутии	330
Гибшер А.А., Мальковец В.Г., Яковлев И.В., V. Griffin, L.T. Oliveira, Старкова Т.С., Муллаярова Л.С., Гаранин К.В. Химизм гранатов из трубки Сюльдюкарская: приложения к глубинному строению и метасоматическим процессам в мантии	334
Горев Н.И., Колесник А.Ю., Николенко Е.И., Проценко Е.В., Старостин П.В., Шахурдина Н.К. Эрозионный срез среднепалеозойских кимберлитов Алаakit-Мархинского поля (Западная Якутия)	338
Зинчук Н.Н. О составе и генезисе кимберлитовых пород	341
Иванов А.С. Пузырьковые диаграммы составов пиропов	350
Иванов М.А., Федотова М.А., Протопопов Ф.Ф. Некоторые типоморфные особенности алмазов из россыпного месторождения Молодо	353
Кедрова Т.В., Липашова А.Н., Богущ И.Н. Алмазы из россыпей Далдынского кимберлитового поля	357
Коногорова Д.В., Ковальчук О.Е., Бардухинов Л.Д., Кедрова Т.В., Толстов А.В. «Алмаз-матрешка»	361
Мальковец В.Г., V. Griffin, L.T. Oliveira, Дак А.И., Гибшер А.А., Яковлев И.В., Серов И.В., Муллаярова Л.С., Старкова Т.С., Гаранин К.В. Особенности строения и метасоматических процессов в литосферной мантии под накинским кимберлитовым полем, сибирский кратон	364

Николенко Е.И., Мальковец В.Г., Афанасьев В.П., Яковлев И.В., Биллер А.Я. Редкоэлементный состав пиропов из гравелитов карнийского яруса верхнего триаса (северо-восток Сибирской платформы)	369
Опарин Н.А., Олейников О.Б., Баранов Л.Н. Апатит из кимберлитовой трубки Манчары (Центральная Якутия)	373
Остапенко Д.В. Характеристика верхнепалеозойских отложений Сюльдюкарского кимберлитового поля	377
Павлушин А.Д., Степенщиков Д.Г. Кристаллографические симметричные и комбинаторные типоморфные признаки додекаэдров алмаза из россыпей северо-востока Сибирской платформы и кимберлитов Якутской алмазоносной провинции	381
Похиленко Н.П., Афанасьев В.П., Толстов А.В. Состояние, перспективы и проблемы развития минерально-сырьевой базы стратегически важных твердых полезных ископаемых Лено-Хатангского района Сибирской Арктики	386
Ратьков С.С., Суслонов Ю.В. Структурированное хранение первичной геологической информации для возможности оперативного вовлечения в аналитическую обработку	393
Салихов Р.Ф., Толстов А.В., Томшин М.Д. Геокартирование базитовых комплексов на площади Алаakit-Мархинского кимберлитового поля при прогнозно-поисковых работах на алмазы	396
Специус З.В., Иванов А.С., Бурева М.В. Геохимический образ кимберлитовых тел по данным анализа составов основной массы кимберлитов методом плазменной спектроскопии	401
Старкова Т.С., Толстов А.В. Особенности пикроильменитов Верхне-Сюльдюкарского ореола	405
Тарских О.В., Забелин А.В., Зайцевский Ф.К., Старостин П.В. Опыт применения алгоритма «случайный лес» в прогнозно-поисковых целях на примере Алаakit-Мархинского кимберлитового поля (Якутия)	409
Тарских О.В., Шахурдина Н.К., Старостин П.В. О необходимости доизучения слабоалмазоносных и неалмазоносных кимберлитовых тел на примере Алаakit-Мархинского кимберлитового поля (Якутия)	413
Федорова Л.К., Бескрованов В.В., Дьячковская Т.К. Об особой роли углерода в природе	417
Шахурдина Н.К., Проценко Е.В. Структурно-тектонические факторы размещения проявлений кимберлитового магматизма в пределах Виллойско-Мархинской зоны (Западная Якутия)	422
Шкодзинский В.С. Природа особенностей распространения кимберлитов и карбонатитов	426

ГИДРОГЕОЛОГИЯ, ГЕОЭКОЛОГИЯ И МЕРЗЛОТОВЕДЕНИЕ

Варламов С.П., Скрябин П.Н. Инженерно-геокриологическое состояние коридоров трасс трубопроводов Центральной Якутии	430
Васильев М.С. Причина аномального спектрального распределения АОТ над центральной частью Якутии в ноябре 2006 г.	433
Васильев М.С. Динамика АОТ в Центральной Якутии по данным Terra-2 за период 1980-2018 гг.	437
Васильев М.С. Метод определения возникновения лесных пожаров от гроз в Якутии по данным Modis/Terra, Aqua & WLLN	440
Васильева А.Н., Павлова М.Р., Климова И.В. Особенности криолитологического строения нижне-палеолитической стоянки дириг (Центральная Якутия)	444
Васильева Т.И., Легостаева Я.Б. Минералогический состав природных и техногенно-преобразованных почв Далдынского кимберлитового поля	448
Глязнецова Ю.С., Зуева И.Н., Лифшиц С.Х., Чалая О.Н., Попова Н.И. Проблемы восстановления нефтезагрязненных почв	452
Гололобова А.Г., Габышева А.А. Сорбционные свойства мерзлотных почв по отношению к свинцу	456
Горова Н.М., Александров А.Р., Пермяков П.П. Природные загрузочные материалы для очистки воды	460
Ефремов В.Н. Влияние особенностей геоэлектрического строения мерзлых толщ на применение геофизических методов	464
Иванов В.А., Чжан Т.Р. Исследование изменения геохимических условий почво-грунтов после снятия техногенной нагрузки	467
Ильин А.В., Синчук Е.В. Попутное использование природных высокоминерализованных рассолов глубоких горизонтов при отработке подземным способом кимберлитовой трубки Удачная в качестве гидроминерального сырья	469
Куть А.А., Спектор В.В. Перигляциальные отложения Абалахской поверхности: криолитологическое строение и обстановка формирования	474
Легостаева Я.Б., Шадринова О.В. Миграция солей в профиле почв и техноземов в зоне воздействия объектов алмазодобычи в Якутии	478

Легостаева Я.Б., Козлова И.В., Попов В.Ф., Ноев Д.С. Геозкологическая ситуация в районе Айхальского ГОКа	482
Лифшиц С.Х., Глязнецова Ю.С., Чалая О.Н., Зуева И.Н., Попова Н.И. Современное состояние почв и донных осадков Арктического региона (Нижнеколымский район РС(Я)) по углеводородным компонентам	486
Лыткин В.М., Сыромятников И.И. Развитие термокарста в условиях современного климата в Юго-Западной Якутии	490
Макаров В.Н. Благородные металлы в биосфере Якутска	494
Макаров В.Н., Торговкин Н.В. Взвешенные вещества в атмосфере Якутска	498
Новиков Д.А., Черных А.В., Чертовских Е.О., Дульцев Ф.Ф., Юрчик И.И., Хилько В.А. Новые данные по распределению лантаноидов в вендских рессолах южных районов Сибирской платформы	502
Новоприезжая В.А., Федоров Н.А. Моделирование температурного режима грунтов на льдонасыщенных ландшафтах межальсы в условиях дренажа	506
Павлова Н.А., Федорова С.В. Фтор в природных водах Центральной Якутии	510
Сивцева Н.Е. Геозкологические условия долины Туймаада (Центральная Якутия)	514
Собакин П.И., Герасимов Я.Р., Горохов А.Н. Радиоэкологическая обстановка золото-уранового месторождения Лунное в Южной Якутии	518
Спектор В.Б., Шестакова А.А., Торговкин Я.И. Карта параметров слоя годовых колебаний температуры криолитозоны территорий Восточной Арктики России масштаба 1:2500000	523
Тананаев Н.И., Котов П.И., Николаев П. Тепловой режим пород центральной Якутии при различных сценариях изменения климата	526
Тихонравова Я.В. Ледогрунтовые жилы	531
Торговкин Н.В., Макаров В.Н. Загрязняющие взвешенные вещества в атмосфере Якутска	535
Чжан А.А. Оценка применимости теплоизоляции откосов для термостабилизации дорожных насыпей в криолитозоне	539
Чжан Т.Р., Тирская Д.С. Мерзлотно-грунтовые условия на объекте «РБ №1-НЦМ»	542
Шапошников Г.И., Галанин А.А., Скрыбина А.С. Методика радиоуглеродной датировки ИМЗ СО РАН	545

**ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ РАЗВЕДКИ И ДОБЫЧИ
ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ**

Батугина Н.С., Ткач С.М. О рисках при создании малых угольных разрезов в арктических и субарктических районах Северо-Востока России	548
Бураков А.М. Стабилизация среднего содержания металла при обработке россыпного месторождения	552
Винокуров В.Р., Матвеев А.И. Разработка новой конструкции вертикальной центробежной мельницы	555
Григорьев Б.В., Скрыбин Р.М. Перспективы применения программных комплексов для моделирования температурного режима бурения скважины сжатым воздухом	559
Дягилева Р.А., Соколов К.О., Куляндин Г.А., Федоров А.А. Возможности георадиолокации и электротомографии по выявлению геокриологических структур в массиве горных пород криолитозоны (на примере Кангаласского угольного разреза)	564
Иванова И.К., Калачева Л.П., Портнягин А.С., Семенов М.Е., Соловьева С.А., Николаев А.И. Влияние минерализации модельных пластовых вод на процессы образования гидратов природного газа	567
Каймонов М.В., Киселёв В.В. Способ возведения искусственных столбообразных целиков в россыпных шахтах криолитозоны	571
Каймонов М.В., Киселёв В.В. Способ кучного выщелачивания золота из гале-эфельных отвалов первичной переработки золотосодержащих песков россыпных шахт криолитозоны в условиях отрицательных температур	575
Калачева Л.П., Портнягин А.С., Иванова И.К., Рожин И.И., Аргунова К.К. Изучение гидратообразования природного газа в модельной пористой среде	580
Калачева Л.П., Иванова И.К., Портнягин А.С., Семенов М.Е., Соловьева С.А., Николаев А.И. Зависимость скорости гидратообразования диоксида углерода от минерализации модельных пластовых вод	584
Лебедев И.Ф., Осипов Д.А. Исследования процессов трансформации золота в рабочей зоне барабанной шаровой мельницы	588
Николаев А.И., Портнягин А.С., Калачева Л.П., Соловьева С.А. Изучение эффективности извлечения компонентов С ₂ -С ₄ при образовании и гидратов природного газа Отграднинского ГКМ в пластовых водах хлоридно-кальциевого типа	592

Овчинников Н.П., Дамбуев Б.И., Зырянов И.В. О причинах низкой эксплуатационной надежности секционных насосов подземных кимберлитовых рудников	596
Попов В.Ф. Прогноз процесса выщелачивания полидисперсного рудного материала	599
Семенов М.Е., Портнягин А.С. Изучение процесса образования гидратов природного газа из льда различной дисперсности	603
Семенов М.Е., Калачева Л.П., Иванова И.К., Рожин И.И., Аргунова К.К., Портнягин А.С., Соловьева С.А., Николаев А.И. Исследование процессов гидратообразования в водных системах, образующихся при добыче нефти и газа	607
Федоров В.И., Гаврилов В.Л. Особенности ведения горных работ на разрезах в составе цепочки поставок угля в удаленные районы РС(Я)	611
Федоров Л.Н., Федоров И.В. Буровая коронка с клином в промывочном пазу и увеличенным числом резцов	615
Хоютанов Е.А., Гаврилов В.Л. Выбор метода интерполяции для построения карт качества угольных месторождений	619
Ширман Г.В., Матвеев А.И. Интенсификация дезинтеграции высокодисперсных материалов после криогенной обработки	623

**ТЕКТОНИКА, ГЕОДИНАМИКА И ЭВОЛЮЦИЯ ЛИТОСФЕРЫ
СЕВЕРО-ВОСТОКА АЗИИ**

УДК 551.8+56/551.76

**ЭВОЛЮЦИЯ ГЛОБАЛЬНОЙ ПАЛЕОГЕОГРАФИИ И
ПАЛЕОБИОГЕОГРАФИИ ОТ ПОЗДНЕГО ТРИАСА ДО
ПОЗДНЕЙ ЮРЫ ПО ЗАМКОВЫМ БРАХИОПОДАМ**

Валерий Баранов, Виталий Гриненко

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

**EVOLUTION OF GLOBAL PALEO GEOGRAPHY AND
PALEO BIOGEOGRAPHY FROM THE LATE TRIASSIC
TO THE LATE JURASSIC FOR ARTICULATE
BRACHIOPODS**

Valeryi Baranov, Vitaliy Grinenko

Diamond and Precious Metals Geology Institute, Siberian Branch, Russian
Academy of Sciences, 39 Lenina ave., Yakutsk, 677000, Russia

Annotation. The evolution of paleogeography and paleobiogeography of the Earth from the Late Triassic to the Late Jurassic for articulate brachiopods is traced. It was established, that all modern oceans were laid on the continental crust, and until the beginning of the Late Triassic, all marine basins on Earth were shallow, epicontinental. The oceanization, which began in the Late Triassic and grew in the Jurassic. Paleobiogeography was developed based on the analysis of geographical distribution, identification of centers of origin and migration of the brachiopods. Three superrealms have been distinguished: Equatorial, Boreal, and Notal, within which areas, provinces and district are established. It has been established that the west of the Tetiyan Realm remained the main center of birth for 58 million years.

Key words: global paleogeography, paleogeography, Triassic, Jurassic, brachiopods.

1. Введение

Эволюция глобальной палеогеографии и палеобиогеографии мезозоя рассматривалась нами в нескольких публикациях и конференциях [1]. В конце триаса наша планета была представлена тремя суперконтинентами: Афалией, Пацифидой и Аразией, и двумя континентами на северном – Гипербореей и южном полюсе – Антарктидой. Существование суши на месте океана Палеопацифика западнее архипелага Александр, начиная с раннего палеозоя, подтверждается А. Ирдли. Этот тезис обосновывается находками галек и валунов гранитоидов в отложениях различного возраста, которые отсутствуют восточнее архипелага Александр, а также зернами терригенных пород и отсутствием слоистости в мощных пластах, свидетельство ближнего переноса. В публикациях Пронина А.А. отмечается наличие грубообломочных и терригенных пород по обеим сторонам Америк, которые по своему литологическому составу не имеют аналогов на их континентальной части. Результаты полученные Васильевым Б.И., Чойем Д.Р., Ломакиным И.Э. Прониным А.А, Рудичем Е.М., Орленком В.В, Блюманом Б.А. подтверждают, что Тихий, Атлантический и Индийский океаны заложились на континентальной коре, а океанизация началась в позднем триасе и продолжается по настоящее время, т.е. океанов до этого времени не существовало, а суперконтиненты и континенты были разделены мелководными эпиконтинентальными морскими бассейнами с максимальной шириной 1500-3500 км (рисунок 1). Климатическая поясная зональность обусловила существование в позднем триасе трех палеобизоохорий – Экваториальной, Бореальной и Нотальной надобластей. Такая конфигурация палеобизоохорий сохранялась от позднего триаса до поздней юры. Внутри них выделены: области, провинции, субпровинции и районы. Наибольшее биоразнообразие в течение этого периода сохранялось на западе Тетиса.

2. Обсуждение полученных результатов

В позднем триасе в Экваториальной надобласти выделяются Альпийская, Крымско-Гималайская, Индо-Меланезийско-Китайская, Западно-Северо-Американская и Западно-Южно-Американская области (рисунок 1).

Палеогеография Земли в эту эпоху была представлена тремя суперконтинентами – Афалией, Пацифидой и Аразией – и двумя континентами – Гипербореей и Антарктидой, которые были разделены мелководными шельфовыми бассейнами. Выделены три палеозоохории

высшего ранга: Экваториальная, Бореальная и Нотальные надобласти. Экваториальная надобласть характеризуется наивысшим таксономическим разнообразием и подразделяется на Альпийско-Меланезийско-Китайскую, Западно-Южно-Американскую биогеографические области и Мадагаскарский район. В ее состав входили Невадская провинция Западно-Северо-Американской области и Новокаледонская провинция Новозеландско-Новокаледонской области. В пределах Альпийско-Меланезийско-Китайской области выделены Альпийско-Кавказская, Меланезийская и Китайско-Японская провинции. В составе Бореальной надобласти установлены Сибирско-Аляскинская и Западно-Канадская области. Обособленно расположен Гренландский биогеографический район. К Нотальной надобласти относится только Новозеландская провинция Новозеландско-Новокаледонской области.

В тоарском веке палеогеография Земли не изменилась. Бореальный бассейн в это время соединялся с Тетическим бассейном через западный и восточный проливы. В Экваториальной надобласти установлены Альпийско-Меланезийско-Китайская и Западно-Южно-Американская биогеографические области, первая подразделяется на Альпийско-Кавказскую, Китайско-Японскую и Меланезийскую провинции. Альпийско-Кавказская провинция представлена Европейской, Северо-Африканской и Крымско-Кавказско-Аравийской субпровинциями. В Бореальной надобласти выделены Сибирско-Аляскинская область и Западно-Канадской провинцией Западно-Северо-Американской области. Невадская провинция Западно-Северо-Американской области входит в Экваториальную надобласть. Новозеландско-Новокаледонская область включена в Нотальную надобласть.

В средней юре, по сравнению с поздним триасом и ранней юрой, площадь морских бассейнов заметно увеличилась и изменилась конфигурация континентов. Вдоль восточного обрамления Русской платформы возникает морской бассейн, который соединяет Бореальный и Тетический бассейны. Морской бассейн, который заложен вдоль восточного края Африканского континента, соединился с Антарктическим бассейном и своей акваторией разделил суперконтинент Афалию на два континента – Лемуриду и Атлантиду. В средней юре (аален-келловей) палеогеография Земли была представлена двумя суперконтинентами – Пацифидой и Аразией – и четырьмя континентами – Атлантидой, Лемуридой, Гипербореей и Антарктидой. Бореальный бассейн соединялся с Тетическим – западным, восточным проливами и Русским морем.

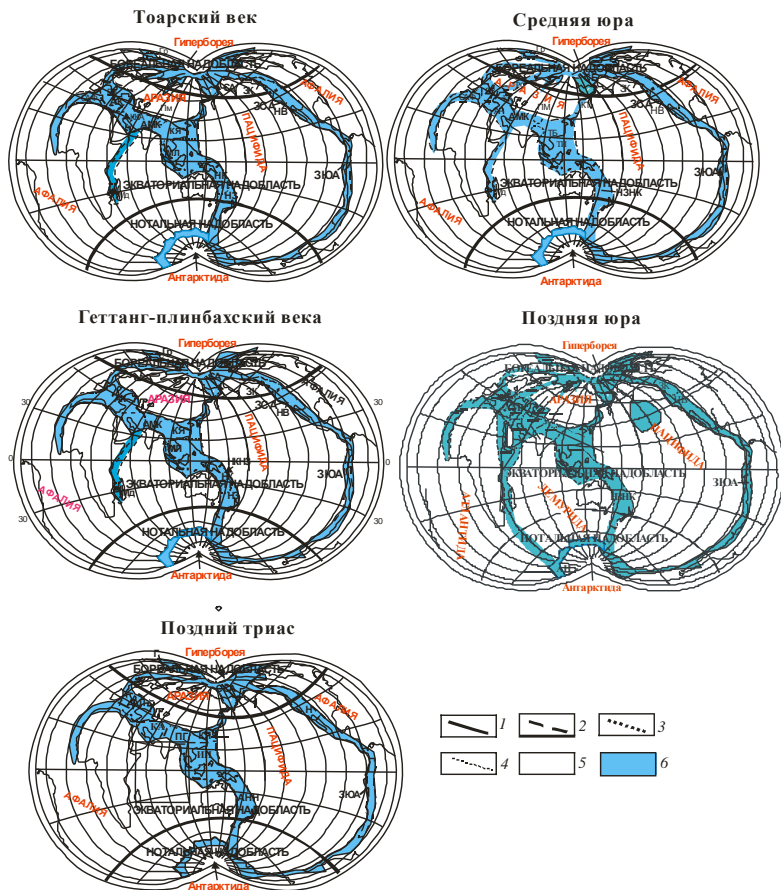


Рисунок 1. Схемы глобальной палеогеографии и палеогеографии позднего триаса – юры по брахиоподам. 1–6 – границы: 1 – надобластей, 2 – областей, 3 – провинций, 4 – районов.

Антарктический морской бассейн имел общие связи с бассейнами, которые окружали Пацифиду. С Тетическим бассейном он сообщался также морским бассейном, который протягивался вдоль восточного склона Африканского континента. Экваториальная надобласть представлена Тетической, Новозеландско-Новокаледонской и Западно-Южно-Американская областями (Realm), в составе первой выделяются 11 провинций. В составе Бореальной надобласти установлена Сибирско-

Северо-Американская область с четырьмя провинциями: Сибирской, Западно-Канадской, Невадской и Гренландской. В составе Нотальной надобласти установлена Антарктическая область.

В поздней юре (оксфорд-волга/титон) палеогеография Земли была представлена суперконтинентами Пацифидой и Аразией, последний был расчленен на три части мелководными морями, и четырьмя континентами – Атлантидой, Лемуридой, Гипербореей и Антарктидой, которые были разделены мелководными шельфовыми морскими бассейнами. Антарктический морской бассейн имел общие связи с бассейнами, которые окружали Пацифиду. С Тетисом он сообщался морским бассейном, который протягивался вдоль восточного края Африканского континента. Заполняются водой внутренних впадин Пацифиды и Мексиканская котловина Атлантического океана. Море трансгрессирует на территорию Южной Африки. Внутри Экваториальной надобласти установлены: Альпийско-Меланезийско-Китайская (Тетическая), Западно-Южно-Американская и Новозеландско-Новокаледонская, области. Первая из них расчленяется на десять палеобиогеографических провинций: В составе Бореальной надобласти выделены Северо-Уральско-Сибирская, Русская и Западно-Северо-Американская биогеографические области и Гренландский биогеографический район. Южные территории Русской и Западно-Северо-Американская областей были расположены в зоне экотона Бореальной и Экваториальной надобластей. В Нотальной надобласти установлен Антарктический биогеографический район.

3. Выводы

Установлено, что все современные океаны заложились на континентальной коре и до начала позднего триаса все морские бассейны на Земле были мелководными, эпиконтинентальными. Океанизация, начавшаяся в позднем триасе и нарастала в юре. Выделено три надобласти: Экваториальная, Бореальная и Нотальная, внутри которых установлены области, провинции, субпровинции и районы. Установлено, что главным центром родообразования на протяжении 58 млн. лет оставался запад Тетической области.

4. Благодарности

Исследование выполнено по государственному заданию ИГАБМ СО РАН и профинансировано Минобрнауки России.

5. Литература:

[1] Baranov V.V., Grinenko V.S. The evolution of global paleogeography – paleobiogeography of the Middle Paleozoic and early - Middle Mesozoic // Geodynamic evolution of the lithosphere of the Central Asian mobile belt (from the ocean to the continent): Materials of the meeting. Vol. 16. Irkutsk: Institute of the Earth's Crust, SB RAS, 2018. P. 28–30.

УДК 551.761

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РЕГИОНАЛЬНОЙ СТРАТИГРАФИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ВЕРХНЕГО ТРИАССА – ЮРЫ ВОСТОКА СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ И СЕВЕРО-ВОСТОКА АЗИИ

Валерий Баранов¹, Виталий Гриненко¹, Валерий Князев¹,
Борис Шурыгин², Оксана Дзюба²

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

² ФГБУН Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А.
Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. академика
Коптюга, 3

IMPROVEMENT OF THE REGIONAL STRATIGRAPHIC SCHEME OF THE UPPER TRIASSIC – JURASSIC OF EAST SIBERIAN PLATFORM AND NORTHEAST ASIA

Valeriy Baranov¹, Vitaliy Grinenko¹, Valeriy Knyazev¹, Boris Shurygin²,
Oksana Dzyuba²

¹ Diamond and Precious Metals Geology Institute, Siberian Branch, Russian
Academy of Sciences, 39 Lenina ave., Yakutsk, 677000, Russia

² Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics, Siberian Branch of
Russian Academy of Sciences, 3 ave. Akademika Koptyuga, Novosibirsk,
630090, Russia

Annotation. It is proposed to introduce the following biostratigraphic subdivisions for brachiopods into the regional stratigraphic scheme of the Upper Triassic - Jurassic of East Siberian Platform and Northeast Asia: *Costspiriferina asiatica*

(Upper Triassic, Ratian, Byrandian regiestage), layers with *Piarorhynchia pomtyroli omolonensis* (Sinemiurian), layers with *Rudirhynchus najanensis* (upper Plainsbachian), layers with *Tetrorhynchia yacutica* (Toarcian), layers with *Gigantorhynchus jacuticus* (Aalenian), layers with *Ptilorhynchia anabarensis* (Bajosian), layers with *Ptilorhynchia exigua* (Lower Batonian), layers with *Holcorhynchia laevis* (Upper Batonian), layers with *Boreiothyris pelecypodaiformis* (Callovian, Oxfordian), layers with *Ptilorhynchia lenaensis* (Kimmeridgian), layers with *Fissirhynchia micropteryx* (Lower Volgian), layers with *Lenothyris ovalis* (Upper Volgian).

Key words: regional stratigraphic scheme, Upper Triassic, Jurassic, Siberian platform, Northeast Asia.

1. Введение

Прошло уже около двадцати лет после последнего Межведомственного стратиграфического совещания, на котором были утверждены Унифицированные стратиграфические схемы триасовых и юрских отложений Северо-Востока России [1]. За этот промежуток времени были получены новые данные по палеонтологии, стратиграфии, палеобиогеографии и палеобиогеографии мезозойских отложений этого региона [2-4]. В результате наших работ было установлено, что история геологического развития востока Сибирской платформы неразрывно связана с Северо-Востоком Азии. На этой территории отсутствовал океанический бассейн [3]. Бореальный морской бассейн был эпиконтинентальным, теплым. Как показали последние исследования, глендониты не являются индикаторами похолодания, они могут образовываться в осадке при температуре поверхностных слоев воды более +40° [5]. Не является показателем глубоководности и наличие кремнистых аргиллитов. По данным Я.Э. Юдовича и М.П. Кэтрис [6] источником кремнезема могут служить и силикаты, когда в процессе катагенеза происходит бентонизация вулканического стекла с превращением его в смектит. Избыточный кремнезем при этом сбрасывается и в результате происходит окремнение вмещающих осадочных пород. Кроме того, поставщиком кремния могут служить и планктонные кремнистые микроорганизмы [7]. В случае заморозов они могли формировать кремнистые осадки и на мелком шельфе.

Таблица 1.

Региональные биостратиграфические подразделения по брахиоподам терминального триаса, нижней и средней юры востока Сибирской платформы и Северо-Востока Азии

Отдел	Ярус	Подъярус	Зона	Зоны и слои по аммонитам	Зоны и слои по белемнитам	Зоны и слои по брахиоподам		
Средняя юра	Байос	Верхний	Oxyerites orbis	Cadoceras barnstoni	Pachyteuthis subrediviva	Ptilorhynchia anadyrensis		
			Procerites hodsoni	Arctoceras(?) cranocephaloide				
		Средний	Tulites subcontractus	Arctoceras ishmae	Pachyteuthis tschernyschewi			
	Procerites progradilis		Arctoceras harlandi	Cylindroteuthis confessa				
	Нижний	A. tenuipicatus	Zigzagoceras zigzag	Arctoc. aff. greenlandicus	Paramegateuthis manifesta			
				Oxyerites jugatus			Arctoc. arcticus	
		Parkinsonia parkinsoni	gracilis	Cr.carlsbergensis			Cylindroteuthis spathi	
	Garantiana garantiana	Cranocephalites gracilis						
	Аален	Верхний	Strenoceras niortense	Boreiocephaltes borealis	Paramegateuthis parabajosicus			
				Stephanoceras humphriesianum			Chondroceras cf. marshalli	
		Нижний	Otoites sauzei	Arkeloceras tozeri			Sachsibelus mirus	
	Witchellia laeviuscula	Ps. (T.) fastigatus						
Hyperioceras discites	Pseudoloceras (Tugurites) tugurensis							
Нижняя юра	Тоар	Верхний	Dumortieria levesquei	Pseudoloceras macintocki	Hasites motorschunensis	Gigantotyris jacuticus		
			Grammoceras thouarsense	Ps.beyrichi				
			Haugia variabilis	Pseudoloceras falcidiscus				
	Нижний	Hilloceras bifrons	C. crassum	Pseudoloceras wurtenbergeri	Tetrahynchia yacutica			
			Peron. fibulatum	Pseudoloceras compactile				
		Dactyloceras commune	Zugodactylites braunianus	Clastoteuthis spp.				
	Плинсбах	Верхний	Harpoceras falciferum	Dactyloceras commune	Dactyloceras commune		Nannobelus pavlovi	
				Harpoceras falciferum	Harpoceras falciferum			Acrocoelites triscissus
				Dactyloc. tenuicostatum	Tiftoniceras propinquum			
		Нижний	Pleuroceras spinatum	Amaltheus viligaensis	Amaltheus viligaensis		Amaltheus margaritatus	
					Amaltheus margaritatus			
					Amaltheus stokesi			Amaltheus stokesi
Силемор	Верхний	Productactioceras davoei	?	Polymorphites	Ochotohynchia omolonensis			
			Tragophylloceras ibex			Angulatoceras kolymicum		
	Нижний	Uptonia jamesoni	Enchoceras rancostatum	Coroniceras siverti		Anetites libratus		
				Oxyndoceras oxynotum			Schlothemia angulata	
	Верхний	Asteroceras obliquum	Caenistes turneri	Arnioceras semicostatum		Aisattites liasicus		
				Arnioceras semicostatum				
Нижний	Anetites bucklandi	Schlothemia angulata	Arnioceras semicostatum	Psiloceras planorbis				
			Aisattites liasicus					
В. триас	Геттан	Верхний	Psiloceras planorbis	Psiloceras planorbis	Cyrtopspirifer asiatica			
			Psiloceras planorbis					

Таблица 2.

Региональные биостратиграфические подразделения по брахиоподам нижней и средней юры востока Сибирской платформы и Северо-Востока Азии (продолжение таблицы 1)

Отдел		Общая шкала		Региональные стратиграфические подразделения				
Ярус	Период	Зоны по аммонитам	Зоны и слои по по аммонитам		Зоны и слои по по двустворкам		Зоны и слои по по брахиоподам	
Верхняя юра	Волжский	Верхний	Craspedites nodiger	Chetaites chetae		Buchia B40		Lenothyris ovalis
				Craspedites taimyrensis	Buchia unscensis			
		Средний	Craspedites subditus	S. originalis	Craspedites okensis	Buchia B38		?
			Kachpurites fulgens	V. exoticus		Buchia obliqua B39		
		Нижний	Paracrasp. opressus	E. variabilis	E. vogulicus	Buchia taimyrensis		Buchia mosquensis
			Epivirgatis nikitini	L. groenlandicus		Buchia B37		
	Климедринж	Верхний	Virgatis virgatus	Dorsoplanites maximus		Buchia B36		Fussirhynchia micropteryx
				Dorsoplanites ilovaiskii		Buchia rugosa		
		Средний	Dorsoplanites panderi	Pavlovia iatriensis		Buchia B35		
			Il. pseudoscythica	Pectinatites pectinatus		Buchia B34		
		Нижний	Ilowaiskya sokolovi	Subdichotomoceras		Buchia mosquensis		
			Ilowaiskya klimovi	Eosphinctoceras				
Средняя юра	Оксфорд	Верхний	Aulacostephanus autissiodorensis	Oxydiscytes taimyrensis		Buchia ex gr. teunistriata B33		Ptilorhynchia lenaensis
				Aulacostephanus eudoxus	Aulacostephanus eudoxus			
		Нижний	Aulacostephanus mutabilis	Aulacostephanus mutabilis		Buchia B32		
			Rasenia cymodoce	Rasenia borealis	Amoeboceras kitchini	Buchia concentrica		
	Pictonia baylei	Pictonia involuta						
	Келловей	Верхний	Ringsteadia pseudocordata	Am. ex gr. rosenkrantzi		Praebuchia kirghisensis B31		Boreiothyris pelecypodaeformis
			Decipia decipiens	Amoeboceras regulare				
			Perispinctes cautisnigrae	Amoeboceras serratum				
		Средний	Gregoriceras transversarium	Cardioceras tenuiserratum		Praebuchia orientalis B30		
			Perispinctes plicatus	Cardioceras densiplicatum				
Нижний		Cardioceras cordatum	Cardioceras cordatum		Grammatodon schourovskii B29			
	Vertumnicerias mariae	Cardioceras gloriosum						
		Card. praecordatum						
Верхний	Quenstedtoceras lamberti	Eboraciaceras subordinarium		? B27				
	Peltoceras athleta	Longaeviceras keyserlingi						
Средний	Erymnoceras coronatum	Rondiceras milaschevici		Praebuchia anabarensis B27				
	Kosmoceras jason							
Нижний	Sigaloceras calloviense	Cadoceras emelianzevi		Grammatodon B28				
	Macrocephalites herveyi	Cadoceras anabarensis Cadoceras falsum						
Б а т	Верхний	Clydoniceras discus	Cadoceras barnstoni		Hdcorhynchia laevis			

2. Обсуждение полученных результатов

Авторы намеренно не приводят двустороннюю схему погоризонтного расчленения, поскольку этапность развития фауны выдерживается по всему Бореальному бассейну и схема должна быть единой. В мелководных бентосных сообществах верхнего триаса и юры господствовали двустворки. Брахиоподы играли более скромную роль и поэтому не вошли в бореальный стандарт, хотя в некоторых интервалах разреза они преобладают. Авторы на анализе своих материалах и публикации А.С. Дагиса [1968] разработали схему биостратиграфического расчленения терминального триаса и юры по брахиоподам (таблица 1, 2).

3. Выводы

В региональную стратиграфическую схему верхнего триаса – юры востока Сибирской платформы и Северо-Востока Азии введены биостратоны по брахиоподам: зона *Costspiriferina asiatica* (верхний триас, рэтский ярус, бырандянский региоярус), слои с *Piarorhynchia romtyroli* (геттанг), слои с *Ochtorhynchia omolonensis* (синемюр), слои с *Rudirhynchus najanensis* (верхний плинсбах), слои с *Tetrahynchia yacutica* (тоар), слои с *Gigantorhynchus jacuticus* (аален), слои с *Ptilorhynchia anabarensis* (байос), слои с *Ptilorhynchia exigua* (нижний бат), слои с *Holcorhynchia laevis* (верхний бат), слои с *Boreiothyris pelecypodaeformis* (келловей, оксфорд), слои с *Ptilorhynchia lenaensis* (киммеридж), слои с *Fissirhynchia micropteryx* (нижняя волга), слои с *Lenothyris ovalis* (верхняя волга).

4. Благодарности

Исследование выполнено по государственному заданию ИГАБМ СО РАН и профинансировано Минобрнауки России.

5. Литература:

- [1] Decisions of the Third Interdepartmental Stratigraphic Meeting on Precambrian, Paleozoic, and Mesozoic. Publishing House VSEGEI. St. Petersburg. 2009.266 с.
- [2] Knyazev V.G., Grinenko V.S., Devyatov V.P. et al. Regional stratigraphic scheme of Jurassic deposits in East Yakutia // *Otechestvennaya geologiya*. 2002. No. 4. С. 73–80.
- [3] Zakharov V.A., Rogov M.A., Bragin N.Yu. Mesozoic of the Russian Arctic: stratigraphy, biogeography, paleogeography, paleoclimate // *Structure and history of the development of lithosphere*. 2002. С. 331–383.

- [4] Grinenko V.S., Baranov V.V. Global paleogeography and paleobiogeography of the Late Triassic (Carnian – Ratian) on brachiopods // *Otechestvennaya geologiya*. 2019. No. 2. С. 66–72.
- [5] Popov L.E., Álvaro J.J., Holmer L.E., Bauert H., Ghobadi Pour M., Dronov A.V., Lehnert O., Hints O., Männik P., Zhang Z. Glendonite occurrences in the Tremadocian of Baltica: first Early Palaeozoic evidence of massive ikaite precipitation at temperate latitude // Preprint December, 2018. 24 p.
- [6] Yudovich Ya.E., Katris M.P. Geochemical indicators of lithogenesis (lithological geochemistry). Syktyvkar: Geoprint, 2011.742 p.
- [7] Gladenkov A.Yu. The first finds of Eocene diatoms in the reference section of the Paleogene of northeastern Kamchatka (Ilyinsky Peninsula) // *Stratigraphy. Geol. correlation*. 2013. Vol. 21. No. 1. P. 91–101.
- [8] Dagens A.S. Jurassic and Early Cretaceous brachiopods of the north of Siberia // *Transactions of IGiG SB RAS*. 1968.16 p.

УДК 551.79

ЧЕТВЕРТИЧНЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ НА РЕКЕ БАДЯРИХА (БАССЕЙН Р. ИНДИГИРКА, ЯКУТИЯ)

Иннокентий Белолобский, Геннадий Боескоров
ФГБУН Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН,
677000, Россия, г.Якутск, пр-т Ленина, 39

QUATERNARY SEDIMENTS ON THE BADYARIKHA RIVER (THE INDIGIRKA RIVER BASIN, YAKUTIA)

Innocenty Belolyubsky, Gennady Boeskorov
Diamond and Precious Metals Geology Institute, Siberian Branch, Russian
Academy of Sciences, 39 Lenina ave., Yakutsk, 677000, Russia

Annotation. This article presents the results of a study of Quaternary sediments at the Badyarikha locality (Indigirka river basin, northeast of Yakutia). Two sections were excavated and investigated at this locality and spore-pollen spectra were investigated. These spectra indicate the presence of Olyer (Upper Eopleistocene - Lower Neopleistocene) sediments, as well as sediments of the Early - Middle Neopleistocene age. The remains of the fauna of large mammals collected from the Badyarikha

locality belong to the Middle and Upper Pleistocene. An analysis of the obtained data let us to suggest that Quaternary sediments are continuous from the Eopleistocene to the Upper Neopleistocene at the Badyarikha locality.

1. Введение

Обширная Абыйская низменность охватывает лево- и правобережья р. Индигирки в её среднем и нижнем течении. На этой низменности широко представлены четвертичные отложения. Район характеризуется многочисленными находками остатков млекопитающих мамонтовой фауны. В левобережье р. Индигирки в пределах Абыйской низменности с местонахождения Мылахчин описаны остатки трупов бизона и детёныша мамонта [1], в низовьях р. Уяндина найдены замороженные мумии детёнышей пещерного льва, остатки крупного бурого медведя и других представителей мамонтовой мегафауны [2]. В правобережной части данной низменности на р. Тирехтях известно местонахождение скелета мамонта [1], на р. Семейлях (приток р. Тирехтях) найдена замороженная мумия детёныша шерстистого носорога [3], на р. Огороха (приток р. Бадяриха) найдены различные остатки млекопитающих мамонтовой фауны [2]. На р. Бадяриха также имеется местонахождение, на котором широко представлены четвертичные отложения. В данном сообщении мы приводим предварительное описание палеонтологического материала с этого местонахождения.

2. Результаты исследований и обсуждение

На правом борту р. Бадяриха, в 14 км выше её правого притока р. Огороха, обнажены аналоги олёрской свиты неоплейстоцена. Здесь р. Бадяриха на протяжении 1,5 км дренирует увал высотой 60 м. Олёрские отложения (верхний эоплейстоцен – нижний неоплейстоцен) залегают в основании увала на плотных серых и коричневатых серых глинах предположительно миоценового возраста. Подошва свиты фиксируется на высоте 2 м от уреза реки. Опробование отложений проводилось по двум расчисткам, расположенным в верхней (обн. Бадяриха - I) и нижней (обн. Бадяриха - II) частях обнажения по течению. В обоих разрезах свита представлена серыми, тёмно – серыми супесями, неслоистыми, иногда горизонтально – слоистыми, оторфованными, с прослоями мелкозернистого серого песка, торфа и обилием растительных остатков. В ней отмечены псевдоморфозы по жильному льду, выполненные супесями, насыщенными обломками древесины, растительной трухой, ракушками.

Мощность свиты до 25 м. Перекрываются олёрские отложения льдистой толщей, которая слагает верхнюю часть увала. Олёрская свита выделена А.В. Шером в среднем течении р. Б. Чукочьа на участке от района оз. М. Олёр до устья р. Олёр. Стратотип её расположен на правом берегу названной реки, в 7,7 км выше устья р. Маастах – Юрэгэ [4].

Палинологические комплексы отложений.

Разрез 1, Бадяриха - II.

По всему разрезу чередуются спорово – пыльцевые спектры (определения А.И. Томской) с господствующей споровой группой или травянисто – кустарничковой группой. Только в самом верхнем образце (образец 15) преобладает древесно – кустарниковая группа. В споровой группе постоянно доминируют споры зелёных мхов, меньшая её часть принадлежит сфагновым мхам (0,3 – 14,1 %), гроздовнику (0,6 – 11 %), папоротниковым (0,3 – 8,2 %), хвощам (0,3 – 4,9 %), плаунам (0,7 – 4,9 %) и плаунку сибирскому (0,3 – 1,6 %). Травянисто – кустарничковая группа представлена главным образом, пылью верескоцветных (0,6 – 29,6 %), осоковых (1,7 – 13,5 %), злаковых (1 – 10,9 %), гвоздичных (0,5 – 21,1 %), полыней (до 3, 3), кипрейных (до 2,6). Редко встречается пыльца валерианы, астрагала, лютиковых, синюхи, мятника, горца и др. В спорово–пыльцевом спектре образца 12 в господствующей травянисто – кустарничковой группе (49,3 %), наряду с пылью злаковых и гвоздичных (по 10,9 %) важную роль играет пыльца маревых (13,7 %), что свидетельствует о прохождении границы между ниже - и верхнеолерской подсвитами на высоте примерно 13 – 16 м над урезом воды. Подавляющее большинство в древесно – кустарниковой группе принадлежит пыльце кустарниковых берёз из секции *Nanae*, ольховника, ивы и кедрового стланика. Из древесных пород встречается пыльца лиственницы, сосен, редко ели, берёзы, тополя и осины. В образцах 12 и 15 из них присутствует лишь единичная пыльца лиственницы и сосны. В последнем, благодаря резкому увеличению количества пыльцы берёзки тощей (47,7 %), преобладающей группой становится древесно – кустарниковая (48,3 %).

Разрез 2, Бадяриха - II.

Спорово – пыльцевые спектры подобны спектрам разреза 1, отличаясь менее разнообразным, бедным систематическим составом всех групп. Так, в древесно – кустарниковой группе отсутствует пыльца ели, сосен, тополя, осины и чозении, в травянисто – кустарничковой группе не встречена пыльца багульника, астрагала, представителей семейств

розовых, кипрейных (в том числе двухлепестника, произрастающего в настоящее время в Южной Якутии), зонтичных, кувшинковых, и др., из споровой группы выпали споры плаунка сибирского. В этих спектрах меньше пыльцы верескоцветных и несколько больше осоковых (до 16,5 %). В образце 58 много пыльцы полыней (21,3 %) и значительно участие пыльцы маревых (8,1 %), что свидетельствует о близости маревой палинозоны. Учитывая сравнительно бедный состав пыльцы, можно предположить, что в разрезе 2 нижняя часть нижнеоленерской подсвиты не представлена [5]. Спорово – пыльцевой спектр образца 48 (торф) характеризуется высоким содержанием древесно – кустарниковой группы (65,7 %), доминированием пыльцы берёзки тощей (40,3 %), значительным количеством пыльцы кустарниковой берёзы, ольховника и берёзы высокоствольной. Кроме пыльцы и спор в этом образце обнаружены спорангии щитовника (папоротниковые) и идиобласты черешка листа кубышки (водное растение). Спорангий, по-видимому, принадлежал одному из влаголюбивых видов щитовника, произрастающих в Южной Якутии. Это, а также присутствие пыльцы берёзы, позволяет предположить, что возраст торфа не моложе начала позднего неоплейстоцена, т.е. ранне- среднеплейстоценовый, соответствующий керемеситскому времени.

Палеомагнитная изученность разреза на р. Бадяриха.

Олёрская свита и её возрастные аналоги палеомагнитным методом изучены в бассейнах рек Б. Чукочьа, Алазея, Б. Хомус Юрях, Индигирка (рр. Бадяриха, Огороха, Керемесит), Колыма (рр. Крестовка, Поповка, руч. Слёзовка). Палеомагнитные характеристики разрезов приведены в работе П.С. Минюка [6]. В целом эти отложения на Бадярихе по магнитным свойствам практически не отличаются от одновозрастных толщ Колымской низменности. Результаты магнитных чисток свидетельствуют о преимущественно обратной намагниченности изученных отложений. На высотах 13 – 16 м (обн. Бадяриха - II) и 9 – 11 м (обн. Бадяриха - I) в них установлены субзоны прямой полярности. В последнем обнажении осадки в кровле названной субзоны нарушены псевдоморфозой по жильному льду. На границе разнополярных зон выделяются отложения, намагниченные аномально (зона аномальной полярности). Для них характерны пониженные значения I_n , отражающие, по-видимому, напряженность геомагнитного поля в период инверсии.

Палеонтологическая характеристика разреза.

В полевой сезон 1989 года на исследованных обнажениях на реке Бадяриха найдены костные остатки млекопитающих мамонтовой фауны позднего неоплейстоцена: волка *Canis lupus* L., шерстистого мамонта *Mammuthus primigenius* Blum. (позднего типа), шерстистого носорога *Coelodonta antiquitatis* Blum., ленской лошади *Equus lenensis* Russ., степного бизона *Bison priscus* Woj., северного оленя *Rangifer tarantus* L. В целом палеонтологические остатки фауны характеризуют и указывают на поздненеоплейстоценовый (едомный надгоризонт) возраст вмещающих отложений [4, 7]. Тем не менее, здесь же были найдены костные остатки восточной лошади *Equus orientalis* Russ., существовавшей в среднем – начале позднего неоплейстоцена [1].

3. Выводы

Анализ вышеперечисленных данных дает основание предполагать, что на местонахождении Бадяриха четвертичные отложения непрерывны от эоплейстоцена до верхнего неоплейстоцена, что нуждается в дальнейшем уточнении.

4. Благодарности

Работа выполнена в рамках государственного задания ИГАБМ СО РАН.

5. Литература:

- [1] Lazarev, P.A. Anthropogenic horses of Yakutia. Moscow: Nauka, 1980, 190 pp (in Russian).
- [2] Boeskorov, G.G., Baryshnikov, G.F., Tikhonov, A.N., Protopopov, A.V., Klimovsky, A.I., et al. New Data on Large Brown Bear (*Ursus arctos* L., 1758, Ursidae, Carnivora, Mammalia) from the Pleistocene of Yakutia // Doklady Earth Sciences, 2019, vol. 486, no. 2, pp. 617-622.
- [3] Chernova, O.F., Protopopov, A.V., Perfilova, T.V., Kirillova, I.V., Boeskorov, G.G. Microstructure of hair of the first-found woolly rhino *Coelodonta antiquitatis* calf // Doklady Biol. Sciences, 2016, vol. 471, no. 5, pp. 613-617.
- [4] Sher, A.V. Mammals and stratigraphy of the Pleistocene of the Far Northeast of the USSR and North America. Moscow: Nauka, 1971, 312 pp (in Russian).
- [5] Giterman, R.E. The history of vegetation in the Northeast of the USSR in the Pliocene and Pleistocene. Moscow: Nauka, 1985, pp. 60-66 (in Russian).

- [6] Minyuk, P.S. Cenozoic magnetostratigraphy of the Northeast of Russia. Magadan: NECS FEB RAS, 2004, pp. 62 - 68 (in Russian).
- [7] Belolyubsky, I.N., Boeskorov, G.G., Sergeenko, A.I., Tomshin, M.D. Catalog of the collection of Quaternary mammals in the Geological Museum of the Diamond and Precious Metals Geology Institute, SB of RAS. Yakutsk: Publishing House of the YaSC SB RAS, 2008, 204 pp (in Russian).

УДК 551.24

**ТЕКТОНИЧЕСКИЕ СТРУКТУРЫ
ЮГО-ВОСТОЧНОГО ФЛАНГА ЗОНЫ СОЧЛЕНЕНИЯ
ИНЬЯЛИ-ДЕБИНСКОГО СИНКЛИНОРИЯ
И ОМУЛЕВСКОГО ТЕРРЕЙНА**

Дмитрий Васильев¹, Андрей Прокопьев¹, Николай Ермаков¹,
Кирилл Рязанов², Евгений Петров²

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

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

**TECTONIC STRUCTURES OF THE SOUTHEAST FLANK
OF THE JUNCTION ZONE OF THE IN'YALI-DEBIN
SINCLINORIUM AND THE OMULEVKA TERRANE**

Dmitriy Vasiliev¹, Andrey Prokopiev¹, Nikolay Ermakov¹,
Kirill Ryzanov², Evgeniy Petrov²

¹ Diamond and Precious Metals Geology Institute, Siberian Branch, Russian
Academy of Sciences, 39 Lenina ave., Yakutsk, 677000, Russia

² A.P. Karpinsky Russian Geological Research Institute, 74 Sredny ave., St.
Petersburg, 199106, Russia

Annotation. For the first time in the studied region, a sharp angular and azimuthal unconformity was found between intensely deformed Middle Jurassic clastic deposits and Upper Jurassic volcanoclastic rocks. Two stages of deformations are established. The complex intense folding of the Middle Jurassic

rocks has a northwestern strike, while the superimposed simple large open folds by the Upper Jurassic rocks are oriented in the sub-latitudinal direction. It was established that structural paragenesis, represented by interlayer faults, thrusts, normal faults, and strike slip faults was formed in a single stress field with the folding of the first stage of deformations. Intensive folding occurred in the region at the end of the Middle Jurassic or at the beginning of the Late Jurassic, which led to the formation of the modern structural plan of the northwestern strike. The accumulation of Late Jurassic volcanoclastic rocks and the intrusion of subvolcanic rocks occurred already on / into the deformed sediments of the Middle Jurassic

1. Введение

Исследуемый район расположен в междуречье р.р. Момонтай и Урультун (хр. Улахан-Чистай). Главной тектонической структурой является северо-восточное крыло Момонтайской синклинали, расположенной на юго-восточном фланге Иньяли-Дебинского синклинория (Полоусно-Дебинский террейн) в зоне сочленения последнего со структурами Омудевского террейна Колымо-Омолонского супертеррейна Верхояно-Колымской складчатой области) [1]. Момонтайская синклиналь, осложненная складками более высоких порядков, протягивается в северо-западном направлении от верховьев р. Мылги до бассейна р. Омудевки. Ее центральная часть сложена интенсивно деформированными терригенными отложениями средней юры, несогласно перекрытыми верхнеюрскими вулканогенно-осадочными породами Уяндино-Ясачненской вулканической дуги. На юго-западном крыле синклинали развиты нижнеюрские отложения, а на северо-восточном – от среднего триаса до нижней юры. Максимальная ширина синклинали около 30 км, а длина превышает 80 км. Известные здесь золотые и золото-серебряные рудопроявления приурочены к системе разломов северо-восточного простирания и локализованы в субвулканических и вулканогенных образованиях, представленных преимущественно риолитами и дацитами.

2. Складчатые и разрывные структуры

Породы средней юры смяты в сжатые асимметричные концентрические, цилиндрические и, реже, конические складки. Складки разного размера шириной от первых метров до десятков и сотен метров. Часто

встречаются крупные опрокинутые на юго-запад складки, вплоть до изоклинальных, что устанавливается по большой протяженности обнажений, в которых породы имеют опрокинутое залегание. Шарниры складок ориентированы как субгоризонтально, так и относительно круто (до 20–25°). Складчатость пород средней юры имеет северо-западное простирание, как и, в целом, основные структуры орогенного пояса. Трещинный кливаж встречается крайне редко и ориентирован конформно складчатости. Кливаж непроникающий и отмечается только в прослоях алевролитов и аргиллитов; массивные прослои песчаников им не затронуты. Из разломов наиболее распространены взбросы и надвиги, простирание которых также преимущественно северо-западное. Однако, несмотря на общую юго-западную вергентность складчатости среднеюрских толщ, надвиги имеют как северо-восточное, так и юго-западное падения. Реже проявлены сбросы северо-западного простирания. Отмечены левосторонние и правосторонние сдвиги зачастую с надвиговой и сбросовой составляющей. Ориентировка сдвигов в достаточной степени хаотична, однако правые сдвиги имеют преимущественно северо-западное и северо-восточное простирание, а левые сдвиги – восток-северо-восточное простирание. Ориентировка сдвигов позволяет предполагать, что они могут являться трансферными по отношению к взбросо-надвиговым структурам.

Интенсивно деформированные породы средней юры перекрываются с резким угловым несогласием полого залегающими верхнеюрскими вулканитами. Породы верхней юры, в свою очередь, деформированы в открытые складки шириной в несколько километров. Одна из таких складок расположена в междуречье Ульбутакан–Прав. Ульбутакан–рч. Чара. Складчатость вулканитов ориентирована дискордантно по отношению к складкам средней юры. Простирание складчатых структур вулканитов субширотное. Таким образом, разделенные угловым несогласием породы средней и верхней юры имеют различный структурный план, что свидетельствует о, по крайней мере, двух этапах деформаций, проявленных в этом районе.

В позднеюрских субвулканических риолитах наблюдаются относительно пологие надвиги южной вергентности, ориентировка которых близка к простиранию складчатых структур вулканогенно-осадочных толщ.

Были предварительно рассчитаны главные оси напряжений по замерам ориентировок штрихов на зеркалах скольжения мелких разломов и их кинематике. Установлено, что ось сжатия для надвигов и сдвигов очень близка, имеет северо-восточное – юго-западное простирание и пологую ориентировку. Это может косвенно свидетельствовать о формировании взбросов, надвигов и сдвигов в одном поле напряжений. Ось растяжения для сбросов имеет субмеридиональное простирание. Происхождение этих структур растяжения пока не ясно.

3. Выводы

1) Впервые для этого района обнаружено резкое угловое и азимутальное несогласие между интенсивно деформированными породами средней юры и верхнеюрскими вулканитами.

2) Установлены два этапа деформаций. Сложная напряженная складчатость среднеюрских терригенных отложений имеет северо-западное простирание, тогда как наложенные простые крупные открытые складки, в которые смяты вулканогенно-осадочные толщи верхней юры, ориентированы в субширотном направлении.

Установлено, что структурный парагенезис, представленный межслоевыми срывами, надвигами, сбросами и сдвигами, был образован в едином поле напряжений со складчатостью первого этапа деформаций.

3) Таким образом, несомненно, что в конце средней юры или в начале поздней юры в регионе произошла интенсивная складчатость, приведшая к формированию современного структурного плана северо-западного простирания. Накопление позднеюрских вулканогенных пород и внедрение субвулканических образований происходило уже на/в деформированные отложения средней юры.

4. Благодарности

Исследование выполнено по плану НИР ИГАБМ СО РАН (проект 0381-2019-0001), при частичной поддержке гранта РФФИ № 19-05-00945.

5. Литература:

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

УДК 551.583: 551.761

**СВИДЕТЕЛЬСТВА КЛИМАТИЧЕСКОЙ
КАТАСТРОФЫ ПОЗДНЕГО ДРИАСА (12,7 ТЫС. Л.Н.)
В ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ**

Алексей Галанин, Григорий Шапошников, Мария Павлова,
Анжела Васильева

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

**EVIDENCES OF THE YOUNGER DRYAS (12.7 KYR BP)
CLIMATIC CATASTROPHY IN EASTERN SIBERIA**

Alexey Galanin, Grigoriy Shaposhnikov, Mariya Pavlova,
Anzhela Vasileva

Melnikov Permafrost Institute, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,
36 Merzlotnaya st., Yakutsk, 677010, Russia

Annotation. The Allerød soil-vegetation layers (14-12,7 kyr BP), containing the well preserved fossil larch forest, peat lenses and saturated with charcoal, were founded in sediments of Viluy, Lena and Chara rivers (Eastern Siberia) terraces on several remote locations. They buried under Younger Dryas (12,7-11,7 kyr BP) sand dune cover 5-10 m thick and appear numerous signatures (cryoturbation, polygonal sand wedges) of the catastrophic cooling and desertification of the region.

1. Поздний Дриас и его роль в эволюции Земли

Исключительно резкое, сильное и непродолжительное (около 800 лет) глобальное похолодание и опустынивание, произошедшее на рубеже плейстоцена и голоцена в интервале 12700-11700 л.н. и именуемое событием Поздний Дриас (ПД), на протяжении полувека объяснялось термогалинной гипотезой В. Брокера [Broecker et al, 1985]. Согласно нее, интенсивное таяние Лаврентийского и Скандинавского ледниковых щитов на протяжении Аллерёдского потепления (13500-12700 л.н.) вызвало опреснение поверхностных вод в Арктическом бассейне и привело к кардинальной перестройке циркуляции теплого течения Гольфстрим. За последние 10-15 лет опубликовано множество данных,

связывающих похолодание ПД с падением космического тела диаметром около 1 км в пределах восточной части Лаврентьевского ледникового щита [2-4 и мн. др.]. Огромная энергия столкновения вызвала суборбитальный разлет обломков и глобальные пожары, что привело к выбросу в атмосферу большого количества продуктов горения и пыли и спровоцировало эффект «ядерной зимы», длившейся около 800 лет. Среднегодовые температуры в Северном Полушарии понизились на 10 °С и достигли значений плейстоценового термического минимума (18-20 тыс. л.н), площади ледниковых щитов практически восстановились до размеров во время максимума МИС 2. В последние годы поступает все больше самых разнообразных фактов в пользу импактного происхождения события ПД, а также множество связанных с ним следствий (вымирание мамонтового биома, переход человечества от собирательства к земледелию, появление первых цивилизаций и др. [3, 4 и мн. др.]. Возникает вопрос, если на территории Северной Америки и Европы событие ПД привело к резкому похолоданию, возвращению климата ледниковой, кардинальному изменению ландшафтов, то каковы его роль и значение в эволюции климата и ландшафтов Восточной Сибири и Северной Азии? Современное состояние изученности пограничных плейстоцен-голоценовых отложений данной территории пока не позволяет пока оценить палеоклиматическое значение события ПД в регионе.

2. Разрезы со слоями Позднего Дриаса в Восточной Сибири

В 2018-2019 гг. в отложениях 20-метровой (кердемской) террасы в среднем течении р. Лены, а также 30-метровой террасы в нижнем течении р. Вилюя авторами установлено несколько разрезов, включающих выдержанные погребенные почвы с пнёвыми горизонтами. Эти горизонты представлены вертикально погребенными стволами деревьев и кустарников вместе с корневыми системами. В качестве примера ниже приведено описание наиболее информативного Харыялахского разреза (63.164° с.ш., 129.731° в.д.) расположенного в обрыве 15-18 метровой террасе на правом берегу р. Лены в 30 км выше устья р. Алдана. Снизу-вверх от меженного уреза р. Лены наблюдается следующее:

0-2 м - песчано-галечно-гравийный аллювий бестяхской свиты;

2-6 м - субгоризонтально и косослоистые аллювиальные пески и супеси с прослоями суглинков, с мощными линзами плавника (стволы деревьев) вблизи кровли пачки. Для плавника получена датировка 13310 ± 460 калибр. л.н. (MPI-135), что соответствует Аллерёдскому потеплению;

6-6,4 м – слой палеопочвы волнисто погружающийся в южном направлении, пронизан вертикальными супесчано-суглинистыми жилами шириной 20-50 см и глубиной 0,5-1,5 м, содержит криогенные микроскладки и диапиры размерами 0,5-1 м, содержит целые фрагменты растительного покрова хорошей сохранности, в том числе вертикально погребенные пни лиственниц диаметром до 15-20 см, линзы растительной подстилки и кустарники. Из пней была получена датировка 11450 ± 350 калибр. л.н. (MPI-138), что соответствует похолоданию Позднего Дриаса;

6,4-9 м – пачка светлых кварцевых супесей с облегающей волнистой и косой (перекрестной) слоистостью, падающей в юго-восточном направлении (противоположно современному течению р. Лены);

9-9,4 м – горизонтально и волнисто слоистая пылеватая супесь темного цвета с фрагментами почвенных горизонтов, растительного торфа, пнями лиственниц диаметром 10-15 см. Поверхность палеорельефа слабо волнистая с понижениями до 1 м, к которым приурочены скопления плавника (крупные стволы деревьев разной окатанности). Из плавника получены 2 датировки 11410 ± 320 и 11350 ± 300 калибр. л.н. (MPI-136 и MPI-137), что соответствует похолоданию Позднего Дриаса;

9,4 -12 (18) м – светлые горизонтально и волнистослоистые кварцевые супеси с включениями тонких прослоев растительного детрита, веток кустарников, охристых ожелезненных пятен. Кровля пачки образована сингенетическим рельефом копьевидных дюн, экспонируемым в настоящее время и закрепленным сосново-березовым лесом. Из линзы кустарникового торфа с глубины 1,5 м от поверхности получена дата 7900 ± 300 калибр. л.н. (MPI-134), что соответствует бореальному оптимуму голоцена.

3. Выводы

Сходные разрезы с палеопочвами и пнёвыми горизонтами, погребенными под дюнными отложениями, обнаруживались в Восточной Сибири ранее, но не были идентифицированы как событие Позднего Дриаса. Так, в 1993 г. С.К.Кривоноговым [5] на 3 различных участках долины р. Чары

(Чарская впадина, Становое нагорье) установлены пнёвые горизонты с фрагментами почвы, погребенные под слоем дюнных супесей мощностью до 5 м. Полученные автором 3 радиоуглеродных датировки от 10600-11990 некалибр. л.н. Выполненная нами калибровка дает абсолютную дату 12500-14000 калибр. л.н. Таким образом, исследованные участки ископаемого леса, несмотря на значительную удаленность друг от друга и приуроченность к разным типам рельефа и климатическим зонам, погибли по одной и той же причине и одновременно на рубеже Аллерёра и Позднего Дриаса. Они были поглощены быстро наступающими супесчаными дюнами за крайне короткое время, что обеспечило их консервацию и хорошую сохранность. Фациальный анализ Харыялахского и других разрезов Центральной Якутии свидетельствует о резком похолодании и катастрофическом опустынивании региона в данный интервал. Формы ископаемого эолового рельефа Позднего Дриаса хорошо сохранились до настоящего времени в виде закрепленных продольных и узких копьевидных дюн юго-восточной ориентировки.

4. Благодарности

Исследования поддержаны грантом РФФИ-РСЯ № 17-05-00954-а.

5. Литература:

- [1] Broecker, W.S., Peteet, D.M., Rind D. Does the ocean-atmosphere system have more than one stable mode of operation? // Nature, 1985. No. 315, pp. 21-26.
- [2] Firestone R.B., et al. Evidence for an extraterrestrial impact 12,900 years ago that contributed to the megafaunal extinctions and the Younger Dryas cooling // Proc Natl Acad Sci USA, 2007, vol. 104, no. 41, pp. 16016-16021.
- [3] Wolbach, W.S. et al. Extraordinary biomass-burning episode and impact winter triggered by the Younger Dryas cosmic impact <12,800 years ago. 1. Ice cores and glaciers // J. Geol., 2018, vol. 126, pp.165-184.
- [4] Pino, M., et all. Sedimentary record from Patagonia, southern Chile supports cosmic-impact triggering of biomass burning, climate change, and megafaunal extinctions at 12.8 ka // Sci. Rep., 2019, Vol. 9, no. 4413, pp. 1-27.
- [5] Krivonogov, S.K. Tree-stump horizons in Upper Pleistocene of Siberia // The news of paleontology and stratigraphy, 2001, issue 4, pp 143-152. (Addition to Russian geology and geophysics, 2001, vol. 42) (in Russian).

УДК 551.2:552.3

**СОСТАВ И ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ
ВУЛКАНИТОВ ИНДИГИРСКОГО РАЗРЕЗА УЯНДИНО-
ЯСАЧНЕНСКОЙ ВУЛКАНИЧЕСКОЙ ДУГИ**

Александр Ганелин¹, Марина Лучицкая¹, Михаил Маскаев¹,
Алексей Травин²

¹ ФГБУН Геологический институт РАН,

119017, Россия, Москва, Пыжевский переулок, 7

² ФГБУН Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН,
630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3

**COMPOSITION AND FORMATION FEATURES OF
VOLCANIC ROCKS OF INDIGIRKA SEQUENCE OF
YANDINA-YASACHNAYA VOLCANIC ARC**

Aleksandr Ganelin¹, Marina Luchitskaya¹, Mikhail Maskaev¹, Alexey Travin¹

¹ Geological Institute, Russian Academy of Sciences,

7 Pyzhevsky ave, Moscow, 119017, Russia

² V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy Siberian Branch Russian
Academy of Sciences, 3 ave. Akad. Koptyuga, Novosibirsk, 630090, Russia

Annotation. New data on the structure, composition and U-Pb age of Uyandina-Yasachnaya volcanic rocks in the middle part of Indigirka River are presented. Volcanites constitute lower (Oxfordian-Kimmeridgian) andesite-dacite-rhyolite sequence and upper (Kimmeridgian-Volgian) dacite-rhyolite sequence. U-Pb SIMS age of volcanites of both sequence and intruding them granites of Chimalginsky massif are 150-152 and 152 Ma respectively. Ar-Ar age for amphibole from granites is 149±6 Ma. Geochemical and isotopic composition of volcanites indicate their hybrid character and subduction-related formation. Volcanic rocks of upper sequence were probably formed in continental margin setting.

1. Введение

Вулканогенно-осадочные породы позднеюрского возраста, перекрывающие складчатые структуры коллизионного пояса Черского

выделяются в составе Уяндино-Ясачненской островной дуги (УЯВД). Они протягиваются на расстояние более 850 км с юго-востока (от верховьев р. Колыма) на северо-запад (к верховьям рр. Селенях и Уяндина) и имеют ширину выходов более 100 км. С северо-востока на юго-запад в строении дуги наблюдается зональность, выраженная сменой вулканитов основного состава вулканитами кислого состава. Несмотря на многочисленные исследования [2, 3, 5] геодинамическая природа вулканитов остается до конца не решенной. Констатируя общий надсубдукционный характер вулканизма, исследователи расходятся во мнениях относительно конкретных геодинамических условий формирования комплексов УЯВД. Одни авторы рассматривают ее в качестве позднеюрского рифта [4]; другие – в качестве островной дуги или окраинно-континентального вулканического пояса [2]. Не исключено, что УЯВД представляет собой сложное гетерогенное образование. Остается открытым вопрос о направлении субдукции и полярности дуги, а также расположения преддугового и задугового бассейнов. Для решения этих вопросов требуются новые современные данные о вещественном составе и абсолютных возрастах вулканитов.

2. Результаты

В 2018 году авторами был изучен разрез УЯВД в среднем течении р. Индигирка, где на протяжении 50 км от устья р. Уструктах до устья р. Сары-Кыллах вскрываются скальные обнажения преимущественно кислых вулканитов с прослоями терригенных пород. В разрезе выделено две толщи. Нижняя толща (оксфорд-кимеридж) включает в себя андезиты (залегающие в основании разреза), дациты, риолиты. Верхняя толща (кимеридж-волга) согласно залегает на нижней и включает в себя дациты и риолиты. Полученные для УЯВД абсолютные датировки цирконов U-Pb SIMS методом для риолитов из обеих толщ и андезитового туфа из нижней толщи составили 150-152 млн лет (рисунок), т.е. полностью подтвердили биостратиграфические данные.

Оксфорд-кимериджская часть разреза вулканитов прорвана гранитоидами Чималгинского массива. Гранитоиды представлены амфибол-биотитовыми гранитами первой фазы и лейкогранитами второй фазы. U-Pb SIMS возраст лейкогранитов составляет 152 ± 1 млн лет. Ar-Ar возраст амфибола из гранитов первой фазы составляет 148.6 ± 5.6 млн лет.

По химическому составу, в координатах $\text{SiO}_2\text{-K}_2\text{O}$ вулканиты образуют три серии. Вулканиты нижних частей разреза – андезиты, дациты,

риолиты – занимают пограничное положение между островодужной толеитовой и известково-щелочной сериями.

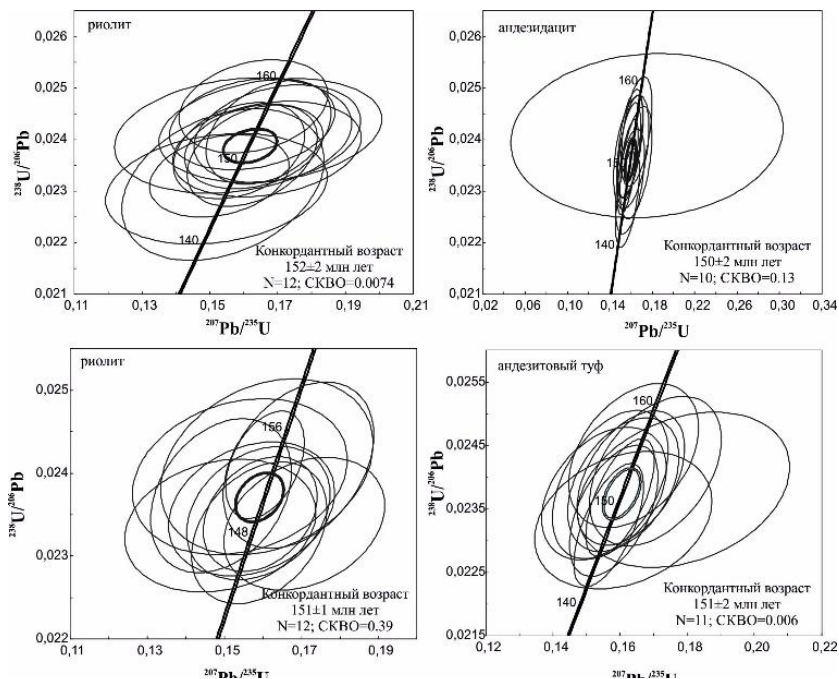


Рисунок. Диаграммы с конкордией для вулканитов и туфов Индигирского разреза

Риолиты из основания верхней части разреза соответствуют известково-щелочной серии. Дацинты и риолиты верхов разреза соответствуют высококальциевой известково-щелочной серии.

Андезиты основания разреза характеризуются относительно высокой магниальностью ($Mg\# = 0.4-0.5$). На дискриминантных диаграммах (Ti-V и Th- Hf- Ta) точки их составов ложатся в поля островодужных вулканитов.

На диаграмме Пискунова, которая связывает калий, титан, кремний, кальций и разделяет области активных окраин и зрелых островных дуг, составы всех изученных породы попадают преимущественно в область окраинно-континентальных поясов.

Особенности распределения РЗЭ вулканитов соответствуют островодужному типу с умеренным обогащением ЛРЗЭ над средними и тяжелыми ($La/Yb = 2-6$). Наименьшие концентрации РЗЭ наблюдаются в андезитах ($La+Sm+Yb = 14$ г/т). В риолитах колеблются ($La+Sm+Yb = 36-45$ г/т). Мультиэлементные спектры однотипны для всех кислых пород с преобладанием крупноионных литофильных элементов над высокозарядными. Наблюдается глубокая Ta-Nb отрицательная аномалия, в остальном спектры близки к спектру континентальной коры. На диаграмме зависимости Th от Ta все изученные породы образуют короткий тренд, начало которого (породы нижней толщи) располагаются в поле вулканитов островных дуг, а окончание (высококалиевые известково-щелочные вулканиты верхней толщи) располагаются в поле континентальных окраин. Составы кислых вулканитов на диаграмме (Y+Nb) – Rb располагаются как в поле гранитоидов вулканических дуг, так и в поле внутриплитных гранитоидов, что характерно для гранитоидов активных континентальных окраин [1]. Все изученные породы характеризуются отрицательными значениями ϵNd (от -2.37 до -6.43), что свидетельствует о коровом источнике для всех пород изученного разреза. Этот вывод также подтверждается высокими значениями отношения $Y/Nb = 2-5$, что характерно для континентальной коры.

3. Выводы

Полученные данные свидетельствуют, что вулканиты Индигирского разреза УЯВД имеют гибридный характер и сложную историю формирования в надсубдукционных условиях. При этом вулканиты верхней толщи, вероятнее всего, были сформированы в обстановке активной континентальной окраины.

4. Благодарности

Работа выполнена за счет гранта РФФИ №18-77-10073, базовое финансирование сотрудников за счет субсидии.

5. Литература:

[1] Datsenko V.M. Geochemical criteria of diagnostics of granites geodynamic settings // Magmatism and geodynamics. Ekaterinburg, 1998. pp. 22–32.

- [2] Ged'ko M.A. Yandino-Yasachnaya Late Jurassic island arc (North-East USSR) // *Geotectonics*, 1988, №3, pp.88-100.
- [3] Parfenov L.M. Continental margins and island arcs of North-East Asia. Novosibisk: Nauka, 1984. 192 pp.
- [4] Surnin A.A. Late Jurassic ultramafic and mafic complexes of Kolyma massif. Novosibisk: Nauka, 1990. 160 pp.
- [5] Trunilina V.A., Orlov Yu.S., Roev S.P. Magmatic assemblages of Yandina-Yasachnaya volcanic-plutonic belt and its geodynamic nature. *Otechestvennaya Geologiya*, 2004, №5, pp.53-56.

УДК 551.24: 551.762

ВЕРХОЯНСКИЙ ТЕРРИГЕННЫЙ КОМПЛЕКС – БАСЕЙНОВАЯ ТЕКТОНИКА

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

VERKHUYAN TERRIGENIC COMPLEX – BASIN TECTONICS

Vitaliy Grinenko, Valery Baranov
Diamond and Precious Metals Geology Institute, Siberian Branch, Russian
Academy of Sciences, 39 Lenina ave., Yakutsk, 677000, Russia

Annotation. The Verkhoyansk terrigenous complex (C_{1v} - K_{1a1}) was formed at the borders of the Visean - Permian, Indian - Norian, Ratian - Volgian and Berriasian - Albian transgressive regressive megacycles. The complex was formed in the east of the Siberian Platform and Northeast Eurasia on a consolidated crust in the Boreal epicontinental, offshore paleobasin for more than 300 million years. Megacycles correspond to the Siberian (C_{1v} - P_{3v}), Yansky (T_{1i} - T_{3n}), Laptev (T_{3r2} - J_{3v}) and Kitchansky (K_{1b} - K_{1a1}) subcomplexes. The existence of oceanic basins is not confirmed by the analysis of the continuity and directed cyclicality of sedimentogenesis in the east of the Siberian platform and Northeast Eurasia. It was established, the restructuring of the sedimentogenesis regime in the marine basin is confined to the

Tournaisian-Visean interval, and the activation of tectonic processes and the outburst of effusive volcanic activity are confined to the final boundaries of megacycles. Evidence of the manifestation of the Hercynian era of folding is established. In the Late Paleozoic and Mesozoic, on the east platform and Northeast Eurasia, only stages of tectonic-magmatic activation appeared, universally marked by products of volcanic activity and floristic remains.

1. Введение

Современные представления о верхоянском терригенном комплексе, о его литологии, стратиграфии и истории развития в пределах востока Сибирской платформы и Северо-Востока Евразии сформировались в конце прошлого века. Уже в начале 2000-х годов появились новые материалы по литологии этого комплекса и региональной стратиграфии и палеогеографии. Значительную роль сыграла научная сводка по изучению мезозоя (верхний триас–юра) на сопредельных территориях Западной и Восточной Якутии. Эти материалы позволили отнести к верхоянскому комплексу терригенные отложения позднего палеозоя и мезозоя, развитые на востоке Сибирской платформы, при этом, рассмотреть их палеогеографическую эволюцию в контексте развития единого мелководного осадочного бассейна – Восточно-Сибирского, на территории, от Вилюйской петли (на западе) до западных отрогов Иньяли-Дебинского синклинория (на востоке). По Северо-Востоку Евразии были опубликованы ряд региональных унифицированных схем и объяснительных записок к ним, уточняющие литостратиграфию верхоянского терригенного комплекса. Дополнениям подверглась унифицированная схема верхней части триаса, а также внесены изменения в нижне-, и среднеюрскую части унифицированных схем юры для Западной и Восточной Якутии. Изменились представления о палеогеографии верхнетриасовых–юрских образований. В верхнем триасе–юре на Северо-Востоке Евразии был обособлен в границах Арктической зоны России Восточно-Сибирский осадочный бассейн в составе Арктического (Бореального) супербассейна и обоснованы стадии его формирования. После 2010 года и, вплоть до сегодняшнего времени, авторами, по изученному интервалу ($C_1v-K_1a_1$) получен обширный

материал по палеогеографии, палеобиогеографии, геодинамике мелководных палеобассейнов Земли и выполнены палеогеографические реконструкции, что стало возможным в результате привлечения материалов по программам глубоководного бурения дна Мирового океана (Programs DSDP, 1963-1984; и ODP, 1985-2003), а также обобщения по стратиграфии, палеогеографии и палеобиогеографической интерпретации распространения морской фауны (брахиоподы, конодонты) в Бореальной надобласти.

2. Обсуждение полученных материалов

Проведённые исследования показали, что верхоянский терригенный комплекс сформирован в едином стационарном Восточно-Сибирском мелководном осадочном бассейне, охватывающим восток Сибирской платформы и Северо-Восток Евразии, в пределах четырех мегациклов: визейско – пермского, индско – норийского, рэтско – волжского и берриас – альбского. Эти рубежи мегациклов отвечают сибирскому (C_{1v} - P_{3v}), янскому (T_{1i} - T_{3n}), лаптевскому (T_{3r2} - J_{3v}) и китчанскому (K_{1b} - K_{1a1}) подкомплексам верхоянского терригенного комплекса (C_{1v} - K_{1a1}) [1–4]. Осадконакопление и формирование подкомплексов происходило в Бореальном эпиконтинентальном бассейне на протяжении более чем 300 млн. лет, который заложился на консолидированной коре. Существование океанических бассейнов на территории востока Сибирской платформы и Северо-Востока Евразии не подтверждается анализом преэмественности и направленной цикличности седиментогенеза. Нами установлены: перестройка режима седиментогенеза, активизация тектонических процессов и вспышка эффузивной вулканической деятельности, которые приурочены к финальным границам мегациклов. Полученные результаты работ свидетельствуют о проявлении на территории востока Сибирской платформы и Северо-Востока Евразии герцинской эпохи складчатости и отсутствии мезозойской. В верхнем палеозое и мезозое стадии тектономагматической активизации не сопровождалась складчатостью. Среди её реликтов следует отметить фрагменты покровов ленского комплекса раннего триаса, а также покровы дацитовых лав и пеплов витрокристаллокластических, маркированных листовой флорой на границе волги и берриаса; проявления альбского (хатырыкское время) вулканизма, представленного туфами литокристаллокластическими

нижнего мела, возраст которых доказан остатками флоры и подтвержден позднемеловой вулканический лунгхинский комплекс в Лено-Виллойском междуречье.

3. Выводы

Бассейновая тектоника доказывается эволюцией верхоянского терригенного комплекса в Бореальном мелководном шельфовом бассейне в раннекаменноугольное (визейское) – раннемеловое (альбское) время.

4. Благодарности.

Авторы приносят глубокую благодарность А.М. Трущелеву, А.А. Горячевой, В.Г. Князеву и Б.Н. Шурыгину, за определения и ревизию существующих микро- и макропалеонтологических остатков мезозоя.

Исследование выполнено по государственному заданию ИГАБМ СО РАН и профинансировано Минобрнауки России.

5. Литература:

- [1] Grinenko V.S., Baranov V.V. Global paleogeography and paleobiogeography of the Late Triassic (Carnius – Ratian) on brachiopods // *Otechestvennaya Geologia*. 2019 (a). No. 2. P. 66–72.
- [2] Grinenko V.S., Baranov V.V., Blodgett R.B. Goryacheva A.A. Paleogeography, paleobiogeography, geodynamics of the paleobasins of the Earth in the Late Triassic and stratigraphy of the terminal Triassic of the Boreal Superrealm // *Natural Resources of the Arctic and Subarctic*. 2019 (b). T. 24, No. 1. P. 5–17.
- [3] Grinenko V.S., Baranov V.V. Global paleogeography and paleobiogeography of the Toarcian (Early Jurassic) on brachiopods // *Bulletin of the Institute of Geology of the Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences*. 2019 (c). No. 5 (293). P. 20–26.
- [4] Kutugin R.V., Budnikov I.V., Byakov A.S., Klets A.G., Grinenko V.S. The reference section of the Dulgalakh and Halpir horizons (Upper Tatarian substage) of Western Verkhoyan // *Pacific geology*. 2003. V. 22. No. 6. P. 82–97.

УДК 552.57

**ОСОБЕННОСТЬ ПРОГНОЗНОЙ ПРОДУКТИВНОЙ
СПЕЦИАЛИЗАЦИИ ВЕРХОЯНСКОГО
ТЕРРИГЕННОГО КОМПЛЕКСА КУРАНАХСКОГО
АНТИКЛИНОРИЯ (ЗАПАДНОЕ ВЕРХОЯНЬЕ)**

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

**THE VERKHOYAN TERRIGENIOUS COMPLEX
FORECASTED PRODUCTIVE SPECIALIZATION
FEATURE OF THE KURANAKH ANTICLINORIA (WEST
VERKHOYANYE)**

Vitaliy Grinenko, Valeryi Baranov, Tatiana Vasileva
Diamond and Precious Metals Geology Institute, Siberian Branch, Russian
Academy of Sciences, 39 Lenina ave., Yakutsk, 677000, Russia

Annotation. The high predictive productive specialization of the Verkhoiansk terrigenous complex of the Kuranakh anticlinorium is based on the established facts of the presence in the sedimentary rocks of the Carboniferous and Permian of the Echiy ore region of high concentrations of noble metals, scattered elements of the chalcophilic and siderophilic groups and first indicated by its wide areal distribution authigenic monazite. It was established that the processes of granitization and decompaction of the crystalline basement appeared in the Hercynian era in the Echiy ore region, in the zone of interaction between the Precambrian ore-magmatic Bilyakchan-Omoloy belt and a thick sedimentary, Carbonian – Permian terrigenous frame. The anatexitic granitoids that arose at the same time - Khoboyuotu-Echiy, Kysyl-Tass, Arkachan, Endybal, Kys-Kyuel are derivatives of the buried Echiy granite-gneiss dome - a large deep-lying ore-generating and ore-controlling object. Acid granitoids are specialized in gold and polymetallic mineralization (ore deposits of Byttakhskoye, Khosskoye, Levo-Echiyskoye). The contact rims of intrusive bodies are associated with

disseminated rare-metal-tin, molybdenum and copper-molybdenum mineralization (Imtanjinskoye and Kyssyl-Tasskoye ore deposits). The performed studies substantiated the endogenous and exogenous genetic relationship and direct lithological control of the host terrigenous frame of Carboniferous and Permian with developed ore occurrences and metal deposits of noble, polymetallic, rare-metal and rare-earth groups with tectonic-magmatic evolution of the Precambrian ore-magmatic Bilyakchan-Omoloy belt and Echiy, granit-gneiss dome, which contributed to the formation of the granitoids in the Kuranakh anticlinorium of Western Verkhoyanie anatectic nature. Key words: Kuranakh anticlinorium, Verkhoyansk terrigenous complex, productive specialization.

1. Введение

Центральная (150–180 км), наиболее гипсометрически возвышенная в Западном Верхоянье часть Куранахского антиклинория детально изучена геолого-геофизическими методами [1, 2], мелко- (1:1 000 000 и 1:500 000), средне- (1:200 000) и крупно- (1:50 000) масштабными геологическими съемками, а также картографирована государственной съемкой РФ нового поколения в масштабе 1:1 000 000 [3]. При резком площадном расширении поперечника антиклинория (от 40-50 км до 100–150 км), эта территория отождествляется с Эчийским рудным районом [4]. Предпосылками к его выделению в пределах Куранахского антиклинория явилось раскрытие ведущей роли процессов глубинной ремобилизации и регенерации рудоносных комплексов докембрийского кристаллического фундамента и их поярусного (от древних к молодым) телескопирования в осадочный слой с образованием суперконцентраций металлов в виде эквивалентного им по масштабу и морфологии обособленного рудного района. В осевой части Куранахского антиклинория расположен Хобойоту-Эчийский гранитоидный массив, Кысыл-Тасский гранодиоритовый штук, а также заключенный между ними «провес кровли», состоящий из реликтов пород верхоянского терригенного комплекса, гранитизированного и измененного наложенными процессами контактового метасоматоза. Кислые породы этих интрузивных тел специализированы на золотое и полиметаллическое оруденение (рудопровяления: Быгыттахское, Хооское, Лево-Эчийское и др.). Экранирующее влияние «провеса кровли» позволяет предполагать

значительные масштабы развития золотого оруденения в надынтрузивной зоне магматических объектов, которые количественно еще не оценены достаточно полно на глубину из-за отсутствия скважин картировочного и поискового бурения. Пройденные здесь каналы и шурфы вскрыли лишь самый приповерхностный горизонт делювиального шлейфа продуктивной староручьевской стратифицированной серии [4, 5] и совершенно не затронули пород коренного ложа. С породами контактовой оторочки интрузивных тел (роговики, ороговикованные песчаники и алевролиты) ассоциирует вкрапленная редкометальная (оловяная, молибденовая и медно-молибденовая минерализация) – месторождения Имтанджинское, Кысыл-Тасское. В 1974-1979 гг. геологами выявлено широкое площадное распространение собственно оловорудной минерализации в Куранахском антиклинории на фоне исключительно малого, спорадически распространения гранитоидных интрузий. В настоящее время это несоответствие получило свое тектоническое объяснение: в кристаллический фундамент Куранахского антиклинория встроен докембрийский рудно-магматический пояс (Билякчано-Омолойский). Расположение характерного полосового минимума силы тяжести показывает, что он является подземным продолжением Билякчанского раннепротерозойского вулcano-плутонического пояса, отделяющего Охотский массив от Алданского щита и специализированного на мощную редкометальную металлогению (олово, молибден, висмут, цирконий) с обязательным участием представителей группы радиоактивных и редкоземельных элементов [4].

2. Обсуждение полученных результатов

Редкометальная минерализация стратиформного типа в Западном Верхоянье была установлена в 1974 г. геологами ВАГТа в Орулганском антиклинории, в виде послонного скопления аутигенного монацита в составе верхоянского терригенного комплекса. Коренной источник в Куранахском антиклинории был определен геологами ЦГСЭ ЯТГУ и находился пределах Эчийского рудного района [4]. В рамках модели глубинного строения Куранахского антиклинория [1, 2, 6] установлено, что площадные интрузии гранитоидов анатектической природы являются производными Эчийского гранито-гнейсового купола, который, вероятнее всего, контролировал процесс как карбонатного (начиная с докембрия), так и терригенного (начиная с визе) осадконакопления. В данном случае купол мог выступать в виде барьера в морском бассейне как в докембрии,

а также и в раннем-позднем палеозое. Выклинивание этих отложений в пределах центральной части купола и на восточном его склоне привело к несогласному залеганию терригенных пород верхнего палеозоя непосредственно на кристаллические образования архейского фундамента. Процессы гранитизации, сопровождавшиеся разуплотнением кристаллического фундамента в зоне Билякчано-Омолойского пояса, приводили к неоднократному «всплыванию» и «разрастанию» по латерали Эчийского купола. Эти процессы способствовали формированию высокой продуктивной специализации верхоянского терригенного комплекса на тонкодисперсное золото, рассеянную концентрацию серебра, элементов халькофильной и сидерофильной групп и широкому ареальному распространению аутигенного монацита. По ряду типоморфных геохимических признаков, монациты, выявленные в пределах Кестерского массива аляскитовых гранитов (образец № 200), а также в разрезах, диагностированных как верхняя пермь [7] (конгломераты мощностью 6,5 м в кровле верхнетатарского подъяруса, образец № 400, междуречье верхних течений рр. Барайы–Сартанг, Куранахский антиклинорий), аналогичны параметрам куларитов, изученных из Верхоянского редкоземельного пояса (хр. Кулар, образец куларита № 300, месторождение Центральное–Верхнее, бассейн р. Урасалах). В заключении отметим, что впервые, в пределах Куранахского антиклинория Западного Верхоянья, установлены в грубообломочных полимиктовых конгломератах, в высокотемпературном и высокобарическом кольцевом алюмоборосиликате – турмалине (образец 400) включения безводного монацита и циркония. Этот факт позволяет утверждать, что формирование этих аксессуаров произошло в эндогенных условиях становления докембрийского рудно-магматического Билякчано-Омолойского пояса. Этот пояс, в ходе своей эволюции, претерпел в начале верхнего палеозоя (турне-визе), и в вятское время (верхняя пермь), интенсивную деструкцию, вследствие чего, продукты его вулканогенно-магматической рамы подверглись разрушению и были вынесены в прибрежно-морскую среду бореального бассейна. Также, в двух пробах, в составе тяжелой фракции (по данным анализа на зонде), с монацитом ассоциируют: кварц, слюда, пирит, полевой шпат, минерал из группы каолинита, ярозит (образец № 300), а также – кварц, самородное железо (образец № 200), позволяющие предположить о деструкции погребенных корневых систем магматического гипабиссального очага, подобного

гранитоидным интрузивам хр. Кулар, и выноса продуктов разрушения этого объекта в морской бассейн.

3. Выводы

В основе высокой прогнозной продуктивной специализации верхоянского терригенного комплекса Куранахского антиклинория лежат установленные факты наличия в Эчийском рудном районе, в осадочных породах карбона и перми, высоких содержаний тонкодисперсного золота, рассеянной концентрации серебра, элементов халькофильной и сидерофильной групп и широкого ареального распространения аутигенного монацита. Установлено, что процессы гранитизации и разуплотнения кристаллического фундамента проявились в герцинскую эпоху в Эчийском рудном районе, в зоне докембрийского рудно-магматического Билякчано-Омолейского пояса. Гранитоиды анатектической природы – Хобойоту-Эчийский, Кысыл-Тасский, Аркачанский (погребенный), Эндыбальский, Кыс-Кюельский являются производными погребенного Эчийского гранито-гнейсового купола – крупного глубокозалегающего рудогенерирующего и рудоконтролирующего объекта.

4. Благодарности

Исследование выполнено по государственному заданию ИГАБМ СО РАН и профинансировано Минобрнауки России.

5. Литература:

- [1] Grinenko V.S., Stogniy G.A. On the deep structure of the Kuranakh anticlinorium (Western Verkhoyanie) // Thrusts and arms of the platform and folded regions of Siberia and Far East and their metallogenic significance). Irkutsk: IZK SB RAS, 1992. P. 99–101.
- [2] Grinenko V.S., Stogny G.A. Tectonic layering of the Central Verkhoyansk Foldbelt (East Siberia) // 30th International Geological Congress. Abstracts. Vol. 2 of 3. Beijing, China, 4–14 August 1996. P. 339.
- [3] Grinenko V.S., Trushchelev A.M., Smetannikova L.I., Kropachev A.P., Scherbakov O.I. Geological map. Q – 52 (Verkhoyansk chains). Verkhoyano-Kolyma series // State geological map of the Russian Federation on a scale of 1: 1 000 000 (third generation). St. Petersburg: St. Petersburg Card Factory VSEGEI, 2008.

- [4] Grinenko V.S., Mishnin V.M. The Etchian ore region of West Verkhoyan'ya (telescoping character, industrial scale and superposition of mineralization // Ore genesis and metallogeny of East Asia. Materials of the meeting dedicated to the 100th anniversary of the Doctor of Geological and Mathematical Sciences, laureate of the State Prize BL Flerov. Yakutsk: Izd. -in YaSU, 2006. P. 51–54.
- [5] Grinenko V.S. Metallotectas of the Early – Middle Carboniferous of the Verkhoyansk Terrigenous Complex (Kuranakh Anticlinorium, Western Verkhoyansk) // Otechestvennaya geologia. 2018. No. 5. P. 87–92.
- [6] Grinenko V.S., Stogniy G.A. The Role of the Remobilization Factor of the Precambrian Substrate in the Formation of Ore-bearing Objects in western Verkhoyanie (East Yakutia) // Bulletin of the State Committee for Geology. Materials on geology and minerals of the Republic of Sakha (Yakutia). No. 1 (6). Yakutsk: Yakutsk Branch of the Publishing House of the SB RAS, 2004. P. 50–57.
- [7] Kutygin R.V., Budnikov I.V., Byakov A.S., Klets A.G., Grinenko V.S. The reference section of the Dulgalakh and Halpir horizons (Upper Tatar substage) of Western Verkhoyan // Pacific geology. 2003. V. 22. No. 6. P. 82–97.

УДК 551.7

**НОВЫЕ ДАННЫЕ О СТРАТИГРАФИИ И
МАГМАТИЗМЕ ЮГО-ВОСТОЧНОГО ФЛАНГА
ИНЬЯЛИ-ДЕБИНСКОГО СИНКЛИНОРИЯ**

Николай Ермаков¹, Андрей Прокопьев¹, Дмитрий Васильев¹, Кирилл Рязанов², Евгений Петров², Сергей Юдин²

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

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

**NEW DATE ON STRATIGRAPHY AND MAGMATIC
ROCKS OF THE SOUTHEASTERN FLANK OF THE
IN'YALI-DEBIN SINCLINORIUM**

Nikolay Ermakov¹, Andrey Prokopiev¹, Dmitry Vasiliev¹,

Kirill Ryazanov², Evgeny Petrov², Sergey Yudin²

¹ Diamond and Precious Metals Geology Institute, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, 39 Lenina ave., Yakutsk, 677000, Russia

² A.P. Karpinsky Russian Geological Research Institute, 74 Sredny ave., St. Petersburg, 199106, Russia

Annotation. The study area is located in the interfluvium of the Momontai and Urultun rivers (Ulakhan-Chistai Ridge) on the southeastern flank of the In'yali-Debin synclinorium. Intensively deformed Middle Jurassic clastic rocks and the overlying Upper Jurassic volcanoclastic sequences are exposed here. Our studies made it possible to clarify their lithological and sedimentological features and to elucidate the structural relationships between the Middle Jurassic and Upper Jurassic strata.

1. Введение

Изученный район расположен в междуречье р.р. Момонтай и Урультун (хр. Улахан-Чистай) на юго-восточном фланге Иньяли-Дебинского синклиория. Здесь вскрыты интенсивно деформированные терригенные отложения средней юры и несогласно перекрывающие их верхнеюрские вулканогенно-осадочные толщи. Проведенные исследования позволили уточнить их литологические и седиментологические особенности и выяснить структурные взаимоотношения между среднеюрскими и верхнеюрскими толщами.

2. Стратиграфия, литология, седиментология

Среднеюрские отложения в пределах изученного района, согласно Геологической карты м-ба 1:50 000 (1975 г.), представлены двумя подразделениями – нижней (J_2^1) и средней (J_2^2) толщами; верхняя толща не обнажена. Породы интенсивно деформированы, вскрываются в разрозненных выходах, что не позволяет сделать послойное описание.

Нижняя толща (J_2^1). Представлена переслаиванием алевролитов, кремнистых аргиллитов, песчаников, гравелитов и конгломератов. Песчаники мелкозернистые и среднезернистые, известковистые, разноплитчатые; в разрезе встречаются пласты массивных песчаников мощностью по несколько метров. В песчаниках и алевролитах наблюдаются структуры нагрузки на подошвах слоев, следы взмучивания, разномасштабная косая слоистость. В разрезе встречаются прослой

гравелитов, мелкогалечных конгломератов и конглобрекчий. Мощность прослоев гравелитов и конгломератов в отдельных случаях достигает 25 м. Галька представлена плохо окатанными обломками черных кремнистых аргиллитов, реже кварцитов, магматических, карбонатных пород. Отдельные крупные угловатые плохо окатанные обломки кварцитов достигают в поперечнике нескольких дециметров. В конгломератах встречаются линзы кремнистых аргиллитов, обломки древесины и органического детрита. Прослои конглобрекчий наблюдаются реже. Их мощность достигает 0,5–1 м. Плохо окатанные обломки размером до 10 см представлены в основном вмещающими породами. В пластах песчаников иногда присутствуют крупные блоки карбонатных пород размером до 0,4–1 м. В разрезе нижней толщи средней юры присутствуют линзовидные прослои песчаников мощностью до нескольких метров, в подошве которых наблюдается срезание нижележащих мелкозернистых пород. Эти образования представляют собой подводные каналы – следы древних потоков, прорезающих подстилающие отложения. Их рассчитанная усредненная ориентировка ~С–Ю. Зачастую наблюдаются линзовидно-слоистые прослои, представленные, как правило, мелкозернистыми песчаниками и алевролитами, иногда косослоистыми. Эти образования являются структурами hummocky cross-stratification и представляют собой темпеститы – штормовые отложения. В них также иногда наблюдается градиционная слоистость. В песчаниках часто присутствует «плавающая галька» (mud chips), представленная плоскими окатанными обломками глинистых пород. Нами в нескольких точках были найдены органические остатки – обломки фауны иноцерам, флоры и органического детрита.

Средняя толща (J_2^2). Породы толщи в пределах исследованного района обнажены значительно хуже и также интенсивно деформированы, что затрудняет составление послойного разреза и установление взаимоотношений с ниже- и вышележащими отложениями. Она, в целом, представлена переслаиванием алевролитов, песчаников и кремнистых (?) сланцев и ее трудно отличить от нижележащей толщи, хотя в ней не были найдены фаунистические остатки, конгломераты и гравелиты. Породы косослоистые, наблюдаются структуры нагрузки, иногда темпеститы и органический детрит.

Изученные верхнеюрские отложения, согласно Геологической карты м-ба 1:50 000 (1975 г.), представлены двумя свитами – сумунской (J_3sm) и серганьинской (J_3sr). Нижележащая тасканская толща не обнажена.

Сумунская свита (J_{3sm}). Свита с резким угловым и, вероятно, стратиграфическим несогласием перекрывает ориентированные субвертикально терригенные отложения средней юры. Подобные взаимоотношения этих толщ наблюдались в нижнем течении двух близко расположенных друг от друга южных притоков оз. Близнецы и Младшее. Необходимо отметить, что настолько хорошее обнажение несогласия в основании верхнеюрских вулканитов уникально для этого региона.

В основании свиты развиты конгломерато-брекчии мощностью до 2 м, сменяющиеся по латерали конгломератами и гравелитами, сложенными плохо окатанной кластикой. В составе обломочной части присутствуют обломки подстилающих терригенных отложений и вулканитов. Матрикс этих образований имеет, скорее всего, вулканогенную (пирокластическую) природу. Вполне вероятно, что эти породы могут представлять собой лахары (грязевые потоки), возникшие во время начальных излияний на склонах палеовулкана. В целом, свита сложена риолитами, риодацитами, риолитовыми порфирами, реже кислыми туфами, лавобрекчиями кислого состава. Кроме того, в разрезе присутствуют туфобрекчии, прослой туфопесчаников и, вероятно, андезитов. Породы залегают субгоризонтально, или полого наклонены в северных и южных румбах.

Серганьинская свита (J_{3sr}). Контакта серганьинской свиты с сумунской свитой не наблюдалось, однако согласно данным предшественников она перекрывает последнюю с резким угловым несогласием. Свита представлена в пределах изученного района дацитами, дацитовыми порфирами, туфами кислого состава, реже туфолавами, конгломерато-брекчиями, туфопесчаниками, туфоаргиллитами. Туфы имеют полосчатую текстуру, иногда наклонное залегание. Возможно присутствие в разрезе андезитов. Для верхней части разреза свиты характерна столбчатая отдельность, образующая шестигранные и пятигранные призмы толщиной до 0.5 м. Иногда падение столбчатой отдельности резко меняется по восстанию, создавая впечатление складчатости. Это может быть связано с различными условиями излияния лавы на палеоповерхность и ее остывания. Породы залегают субгоризонтально, или полого наклонены в северных и южных румбах. Общая мощность изученных верхнеюрских толщ превышает 1200 м.

3. Выводы

В целом, изученные отложения средней юры характерны для прибрежных обстановок шельфа (древесные остатки, темпеститы) сменяющихся в определенные временные интервалы дельтовыми условиями осадконакопления (подводные каналы, крупная косая слоистость, гравелиты и конгломераты). Присутствие в обломочной части конгломератов и песчаников крупных обломков кварцитов и карбонатов, галек аргиллитов и вулканитов, их плохая окатанность свидетельствуют о близких источниках сноса кластики.

Установлено, что изученные верхнеюрские вулканогенно-осадочные толщи перекрывают с резким угловым несогласием отложения средней юры и принадлежат к Уяндино-Ясачненской вулканической дуге, образования которой в этом регионе имеют преимущественно кислый состав.

4. Благодарности

Исследование выполнено по плану НИР ИГАБМ СО РАН (проект 0381-2019-0001), при частичной поддержке гранта РФФИ № 19-05-00945.

УДК 551.8

ПАЛЕОГЕОГРАФИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ КУОНАМСКОГО ГОРИЗОНТА ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ

Дарья Жиренко, Екатерина Сивкова, Антонина Ступакова,
Анна Сулова, Александр Стафеев

ФГБОУ ВПО Московский государственный университет
им. М.В. Ломоносова, 119991, г. Москва, Ленинские горы, ГСП-1

PALEO GEOGRAPHIC CONDITIONS OF FORMATION OF THE EASTERN SIBERIAN KUONAM HORIZON

Daria Zhirenko, Ekaterina Sivkova, Antonina Stupakova,
Anna Suslova, Aleksandr Stafeev

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

Annotation. The Kuonam horizon ($C_{1b}-C_{2am}$) was formed during the first global stage of accumulation of black shale (BS) in the Phanerozoic. During transgressions, biophilic elements came from the depths of the ocean to the outer zones of the shelf seas due to upwelling, which ensured high primary bioproductivity. The depths of the formation of BS can only be slightly higher than basis of severe storms, this ensures a quick input of organic matter to the bottom. Characteristic microlamination of black shales is associated with the recycling of nutrients during rare (once every 30-50 years) storm events. The leveled relief and arid climate contributed to the low rate of mineral sedimentation.

1. Введение

Главными условиями формирования ЧС (черных сланцев) являются высокая первичная биопродуктивность, высокая степень фоссилизации ОВ (органического вещества) и низкая скорость минеральной седиментации [4]. Куонамские ЧС характеризуются относительно однородным составом и выдержанной мощностью (25-50 м). Они сложены богатыми ОВ (до 30%) черными и коричневыми битуминозными кремнисто-карбонатно-глинистыми породами, часто микрослоистыми. Отложения формировались в спокойном умеренно глубоководном «голодном» периодически бескислородном морском бассейне с нормальной соленостью [2]. На относительную мелководность указывают такие признаки, как большое количество остатков организмов-фильтраторов – брахиопод, а также присутствие в отложениях бескаркасных водорослей и цианобактерий, формировавших биогермы на глубинах проникновения света.

Данные о распределении химических элементов (Cr, Ni), тяготеющих к терригенному материалу позволяют выделить область его разгрузки на севере территории распространения куонамской свиты – в долинах рек Молодо и Кюленке – в северном (в современных координатах) суббассейне. Южный черносланцевый суббассейн (долины рек Амги и Юдомы) обособляется от северного седловиной с фациями кристаллических известняков и доломитов, битуминозных участками. Суббассейны отличаются строением разрезов в обнажениях и скважинах, а также распределением обломочного материала [2]. Анализ биоразнообразия трилобитов показывает, что до зоны *Bergeroniaspis ornatus* количество их видов в разрезах всего Юдомо-Оленекского

региона подчинялось общему тренду, позднее свой собственный тренд обретают разрезы р. Юдомы. Возможно, это было связано с тектонической активизацией и подъемом территории, разделившей суббассейны [3].

В течение E_{1-2} особенности тектоники и гидродинамики определяли пространственное соотношение различных осадочных формаций на территории Сибирской платформы. В направлении от «арктического» морского бассейна к соллеродному бассейну структура дна имела следующую морфологию: континентальный склон – внешний мелководный шельф с западинами и относительными поднятиями – внутренний шельф с островными поднятиями – Куонамский относительно глубоководный бассейн – барьерный риф – соллеродный бассейн. Эти области характеризовались развитием парагенетически связанных глауконитовой и фосфатоносной, черносланцевой, рифовой и эвапоритовой формаций. В области мелководного шельфа при обильном поступлении биофильных элементов на глубинах выше базиса обычных штормовых волн формировалась глауконитовая формация, на относительных поднятиях располагались поверхности твердого дна. В области внутреннего шельфа доминировала абразия островных поднятий и размыв дна приливно-отливными и сгонно-нагонными течениями, здесь формировался терригенный материал, который поступал в прилегающую бортовую зону куонамского черносланцевого бассейна. Бортовая зона могла быть осложнена продольными к ее простиранию сбросами (об этом свидетельствует наличие тектоно-гравитационных осадочных брекчий [2]). Куонамский бассейн до формирования ЧС представлял собой мелководную область, в пределах которой, происходило накопление преимущественно зеленоцветных известняков. Зеленая окраска пород обусловлена наличием глауконита (парагенетически связанного с фосфоритом). Образование глауконитовых пород происходило в неустойчивых условиях периодического цветения планктона при апвеллинге и установления застойных придонных обстановок с одной стороны, а также сезонных штормов, производивших аэрацию бассейна – с другой [5]. По мере углубления «докуонамского» бассейна в разрезе пестроцветных известняков появляются отдельные прослои ЧС. Дальнейшее углубление привело к постепенной смене глауконитовой формации на черносланцевую. Поступление биофильных элементов только со стороны арктического бассейна не может объяснить широкого

площадного распространения куонамских ЧС. Их микротекстуры свидетельствуют о периодических (раз в 30-60 лет) событиях взрывной биопродуктивности на широких площадях. Это можно объяснить рециклингом биофильных элементов из придонных вод бассейна во время мощных штормовых событий. В современных условиях Северного моря сильные штормы происходят с периодичностью 20-50 лет [1]. Для черносланцевых формаций, возможно, самыми благоприятными глубинами формирования являются глубины лишь немногим превышающие базис сильных штормов.

После вспышки биопродуктивности, осадения и фоссилизации ОВ, придонные воды постепенно очищались от сероводородного заражения, и бентосная эпифауна со стороны бортов и относительных поднятий заселяла все большие глубины. Кислые придонные воды агрессивные по отношению к карбонатам препятствовали их осадению. Насыщенные карбонатом кальция поверхностные воды омывали на мелководье рифовые постройки, что способствовало быстрому росту барьерного рифа. За барьерным рифом наблюдается каплеобразное распределение эвапоритов (доломиты – гипсы – соли), типичное для не полностью замкнутых бассейнов. Таким образом, мы наблюдаем последовательную латеральную смену парагенетически связанных формаций E_{1-2} на территории Восточной Сибири.

Литература:

- [1] Ajgner T. *Izvestkovye tempestity: shtormovaya stratifikaciya v Verxнем Rakovинnom известняке (средний триас, юго-запад FRG)*. V kn. *Ciklicheskaya i sobytijnaya sedimentaciya*. Pod red. G. E'jnzele i A. Zejlaxera M.: Mir, 1985. S. 177-194.
- [2] Baxturov S.F., Evtushenko V.M., Pereladov V.S. *Kuonamskaya bituminoznaya karbonatno-slancevaya formaciya*. – N.: Nauka, 1998. – 162 s.
- [3] Korovnikov I.V. *Dinamika razvitiya trilobitov nizhnego i nizov srednego kembriya vostoka Sibirskoj platformy. Protolenidae Oryctocephalidae*. // Novosibirsk: INGG SO RAN, 2018. 111 s.
- [4] Yudovich Ya.E., Ketris M.P. *Geoximiya chernyx slancev*. L.: Nauka, 1988. – 272 s.
- [5] Yudovich Ya.E., Ketris M.P., Ry'bina N.V. *Fosfority i glaukonit: prichina paragenezisa* // Vestnik In-ta geologii Komi NCz UrO RAN, 2018. № 11 (287). S. 43–47.

РУДНЫЕ МИНЕРАЛЫ ГАЛЕК АЛЛЮВИЯ РЕК МОЛОДО И ДАЛДЫН

Егор Иванов¹, Аграфена Шарина², Александр Кравченко²,
Василий Березкин², Борис Герасимов², Вадим Павлов³

¹ ФГАОУ ВО Северо-Восточный федеральный университет им. М.К.
Аммосова, 677000, Россия, г.Якутск, ул. Белинского, 58

² ФГБУН Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН,
677000, Россия, г.Якутск, пр-т Ленина, 39

³ АО «Алмазы Анабара», 677000, Россия, г.Якутск, ул. Кирова 18 блок "Б"

ORE MINERALS OF THE MOLODO AND DALDYN RIVERS PEBBLES

Egor Ivanov¹, Agrafena Sharina², Alexander Kravchenko²,
Vasiliy Beryozkin², Boris Gerasimov², Vadim Pavlov³

¹ M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, 58 Belinsky st., Yakutsk,
677000, Russia

² Diamond and Precious Metals Geology Institute, Siberian Branch, Russian
Academy of Sciences, 39 Lenina ave., Yakutsk, 677000, Russia

³ JSC Almazы Anabara, 18B, Kirova st., Yakutsk, Russia

Annotation. In pebbles of modern alluvial deposits of the rivers Molodo and Daldyn there were found native gold, silver and sulphide mineralization. The minerals are similar with deposits of the Prilensky metallogenic belt. Forecasting and prospecting criterias of these deposits can be used for further research.

1. Введение

Нашим коллективом проведены петрографические исследования галек из аллювиальных отложений рек Молодо и Далдын. Определена принадлежность к местным стратиграфическим подразделениям и магматическим комплексам. Обнаружены гальки кембрийских карбонатных и кремнистых пород, и небольшое количество галек терригенных пород, долеритов и кварца предположительно пермского и триасового возраста. По степени окатанности выделяются: не окатанные гальки 20-40%, первой степени окатанности – 32-35%, второй – 19-27%, третьей – 5-18%, четвертой – 0,5-1,8%. Проведен микронзондовый анализ

галеk прибором JEOL JSM-6480LV с энергетическим дисперсионным спектрометром Energy 350 Oxford.

2. Результаты исследований

Золото, серебро и сульфиды обнаружены в гальках палеозойских карбонатных пород, а серебро с сульфидами обнаружено в кремнистых породах и в кварце. Наиболее частыми «сквозными» минералами являются пирит и барит, прожилки и выделения которых наблюдаются во всех породах. В карбонатных породах включения сульфидов, золота и серебра приурочены к гнездам доломита, внутри которых наблюдаются пустоты, иногда выщелачивание с окварцеванием. В кремнистых сланцах минерализация приурочена к порам, прожилкам и гнездам кальцита. Набор рудных минералов галеk из рек Молодо и Далдын схож с стратиформным Pb-Zn месторождением Сардана и стратифицированным Ag месторождением Мангазейское (Таблица 1).

Таблица 1

Микровключения в гальках

Минералы	Карбонатные породы	Кремнистые сланцы	Кварц	Сардана	Мангазейское
Золото	v				v
Серебро	v	v	v		v
Барит	v	v	v		
Пирит	v	v	v	v	v
Сфалерит		v		v	v
Галенит	v	v	v	v	v
Халькопирит	v			v	v
Арсенопирит	v		v	v	v
Антимонит	v	v			v
Бисмоклит	v				
Висмутин					v
Флюорит	v	v	v		

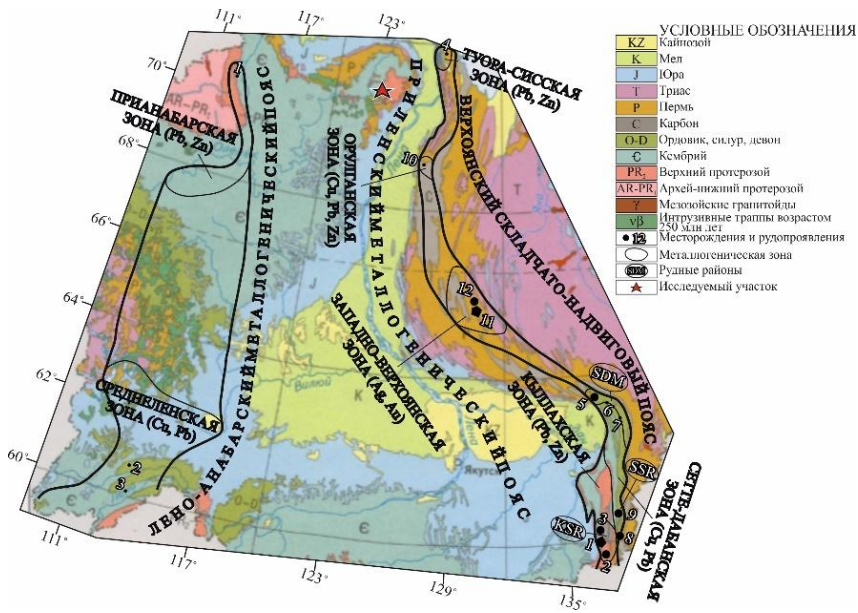


Рисунок 1. Расположение исследуемого участка на металлогенической схеме [1]. Для Лено-Анабарского металлогенического пояса, связанного с рудонакоплением в позднекембрийских и ордовикских лагунах цифрами отмечены: 1 – Куонамское, 2 – Олдонское, 3 – Пилкинское рудопроявления. Для Приленского металлогенического пояса вендско-мезозойской пассивной континентальной окраины буквами отмечены: KSR – Сарданинский, SDM – Джалкан-Менкюленский, SSR – Сахаринский рудные районы; цифрами: 1 – Сардана, 2 – Уруй, 3 – Перевальное, 4 – Мэнгэнилэр, 5 – Курпанджа, 6 – Джалкан, 7 – Россомаха, 8 – Горное Озеро, 9 – Поворотное, 10 – Ага-Кукан, 11 – Мангазейское, 12 – Кысылтас месторождения и рудопроявления.

3. Выводы

В гальках современных аллювиальных отложений рек Молодо и Далдын представленных обломками палеозойских карбонатных и кремнистых пород встречаются золото, серебро и сульфиды полиметаллов. Набор минералов близок к месторождениям Приленского металлогенического пояса.

4. Благодарности

Материал для исследований предоставлен АО «Алмазы Анабара». Минералогические исследования выполнены по проекту НИР № 0381-2019-0004.

5. Литература:

[1] Tectonics, geodynamics and metallogeny of the Sakha Republic (Yakutia). - М: МАИК "Наука Interperiodica", 2001. -571 p. ISBN 5-7846-0046-X

УДК 552.3

ПЕТРОГРАФИЧЕСКИЙ СОСТАВ МАГМАТИЧЕСКИХ ОБРАЗОВАНИЙ МЕДВЕДЕВСКОГО МАССИВА (ЮЖНАЯ ЯКУТИЯ, АЛДАНСКИЙ ЩИТ)

Мичил Иванов, Алексей Иванов, Анатолий Журавлев, Евгений Лоскутов,
Мария Желонкина

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

PETROGRAPHIC COMPOSITION OF MAGMATIC FORMATIONS OF MEDVEDEVSKY MASSIF (SOUTH YAKUTIA, ALDAN SHIELD)

Michil Ivanov, Alexey Ivanov, Anatoly Zhuravlev, Evgeny Loskutov, Maria
Zhelonkina

Diamond and Precious Metals Geology Institute, Siberian Branch, Russian
Academy of Sciences, 39 Lenina ave., Yakutsk, 677000, Russia

Annotation. The petrographic compositions of igneous rocks of the Medvedevsky Massif, which is a multiphase structure of the most productive stage in the development of the territory, the Mesozoic tectonic-magmatic activation of the Aldan-Stanovoi shield, are considered. The main goal of this work was to establish the quantitative and mineralogical characteristics of massif rocks prospective for gold mineralization using crystal-optical methods. As a result of field work and petrographic

studies of Mesozoic alkaline igneous rocks, it was found that the Medvedevsky massif has a three-phase structure with clear contacts between them, the rocks of which differ in structural and material features.

1. Введение

Медведевский массив расположен в центральной части Нимнырского блока Алданского щита. По материалам предшественников [1] породы массива представлены авгит-роговообманковыми и роговообманковыми сиенит-порфирами. В тоже время при полевых работах нами было установлено, что массив имеет трехфазовое строение. В пределах Центрально-Алданского рудного района с подобными многофазовыми структурами, образовавшимися в период мезозойской тектономагматической активизации связаны многочисленные золоторудные проявления [2]. Несмотря на длительный период изучения мезозойского щелочного магматизма Алдано-Станового щита, вопросы, связанные с подобными многофазовыми структурами касающиеся эволюции и особенно металлогении остаются дискуссионными. В этом плане актуальным является комплексное изучение, в первую очередь петрографические исследования, отдельных массивов позволяющих в целом получить объективную картину по решению этих проблем.

2. Петрографический состав пород Медведевского массива

При кристаллооптическом изучении магматических образований Медведевского массива нами было выделено три фазы внедрения с четкими контактами, отличающихся между собой по вещественному составу и структурным особенностям.

Сиенит-порфиры (Рисунок 1а) массива представлены существенно лейкократовыми (содержание темноцветных минералов до 9%) разностями с элементами монцитовой структуры. В составе пород отмечается преобладание КПШ - 60% над плагиоклазом - 30%, в темноцветной группе минералов преобладание амфибола - 8% над пироксеном - 1%, содержание рудного минерала до 1%. Породы фазы несут обильные ксенолиты вмещающих пород, а также интенсивно изменены вторичными процессами.

Пироксен-амфиболовые сиениты (Рисунок 1б) близки по составу сиенит-порфирам, но отличаются от последних структурными особенностями и представлены гипидиоморфнозернистыми разностями при преобладании

КПШ - 60%, над плагиоклазом - 20%, и повышенных содержаниях темноцветных минералов: пироксена - 6%; амфибола - 8%. Содержание, как биотита, так и кварца крайне мало, до 1%, содержание рудных минералов в них достигает до 4%. В целом породы изменены вторичными процессами (пелитизация, серицитизация).

Монцонит-порфиры (Рисунок 1с) имеют заметное отличие от первых двух. Породы характеризуются выраженной монцонитовой (с четким идиоморфизмом плагиоклаза относительно КПШ) структурой, из особенностей состава можно выделить преобладание плагиоклаза до 55% над содержанием КПШ до 20%. Распределение темноцветных минералов в них не равномерное, отмечается существенное преобладание роговой обманки - 16 % над пироксеном - 2%. Основная тонкозернистая масса состоит из трудно диагностируемого полевого шпата и мелкого биотита - 2%. В породах также присутствует кварц до 2%. Количество рудного минерала до 3%.



Рисунок 1. а) Сиенит-порфиры, увел 40, николи X; б) Пироксен-амфиболовые сиениты, увел 40, николи X; в) Монцонит-порфиры, увел 40, николи X. Условные обозначения: Ksp – калиево-полевой шпат, Pl – плагиоклаз, Amf – амфибол

Стоит отметить, что в пределах Центрально-Алданского рудного района с подобными многофазовыми массивами, в частности с Юхтинским массивом, ассоциируется крупное золоторудное месторождение Самолазовское, формирование которого связано с интенсивно проявленными гидротермально-метасоматическими преобразованиями вмещающих пород, продукты которых являются результатом многостадийного кремнещелочного метасоматоза, связанного с кварцевыми сиенит-порфирами и особенно граносиенитами, а также с

дальнейшими процессами выветривания и образованием мощной зоны окисления [3].

С учетом кристаллооптических исследований и результатов полевых работ можно предположить, что с породами пироксен-амфиболовых сиенитов и сиенит-порфириров Медведевского массива ассоциируется золоторудная минерализация, образование которой связано с интенсивно проявленным контактово-метасоматическим воздействием как на сиенит-порфировую фазу внедрения, так и на вмещающие породы, исходя из чего, можно предположить, что основная часть золота метасоматитов, в результате их выветривания, была, вероятно, высвобождена и перемещена в среду продуктов коры выветривания.

3. Выводы

Таким образом, в ходе петрографических исследований мезозойских щелочных магматических пород установлено, что Медведевский массив имеет трехфазовое строение, породы которых отличаются между собой по составу и структурным особенностям. В целом, на основании петрографического изучения вещественного состава пород массива можно сделать вывод о том, что с подобными массивами многофазового внедрения могут ассоциироваться золоторудные проявления.

4. Благодарности

Работа выполнена по государственному заданию ИГАБМ СО РАН

5. Литература:

- [1] Vorona I.D., Reutov L.M. Explanatory note to the geological map of the USSR, scale 1: 200 000 Series Aldanskaya, Sheet O-51-XXIV. - М.: GNTIL in geology and mineral protection, 1963 (in Russian).
- [2] Gusev V.N., Elyuev V.K., Boyarko G.Y. Samolazovskoe gold-skarn deposit (Central Aldan) // Prospecting and exploration of mineral deposits: Materials of the scientific conference. Tomsk, 2000. P. 108-117. (in Russian).
- [3] Strakhov M.F. Petrology and ore bearing of the Yukhtinsky granosyenite massif (central part of the Aldan shield) // Bulletin of the Siberian Branch. Section of Earth Sciences of the Russian Academy of Natural Sciences. - Publishing House of NI ISTU, 2012. No. 1 (40). pp. 25-37 (in Russian).

УДК 552.3

**ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ МАГМАТИЧЕСКИХ
ОБРАЗОВАНИЙ МЕДВЕДЕВСКОГО МАССИВА
(ЮЖНАЯ ЯКУТИЯ, АЛДАНСКИЙ ЩИТ)**

Алексей Иванов, Мичил Иванов, Анатолий Журавлев, Евгений Лоскутов,
Мария Желонкина

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

**CHEMICAL COMPOSITION OF MAGMATIC
FORMATIONS OF MEDVEDEVSKAYA MASSIV
(SOUTH YAKUTIA, ALDANIAN SHIELD)**

Alexey Ivanov, Michil Ivanov, Anatoly Zhuravlev, Evgeny Loskutov,
Maria Zhelonkina

Diamond and Precious Metals Geology Institute, Siberian Branch, Russian
Academy of Sciences, 39 Lenina ave., Yakutsk, 677000, Russia

Annotation. The paper considers the chemical compositions of the Mesozoic igneous rocks of the Medvedev massif. Based on the interpretation of the chemical compositions of the igneous rocks of the Medvedevsky Massif, it was found that, according to the content of the main petrogenic oxides and classification data, the latter are divided into three types of rocks represented near syenites to monzonites and belong to the high-potassium latite petrochemical series of igneous rocks.

1. Введение

Медведевский массив расположен в центральной части Нимнырского блока Алданского щита, в пределах Леглиерского рудного узла. Массив интрузирует толщу докембрийских кристаллических пород, представляющих собой пакет чередующихся, согласных, субпараллельных, контрастных по составу линейных пластообразных тел, сложенных гиперстеновыми и глиноземистыми гнейсами нимнырской свиты, породами медведевского комплекса и биотитовыми гранитами субщелочного и нормального составов. По материалам предшественников в частности [1] породы массива представлены авгит-роговообманковыми

и роговообманковыми сиенит-порфирами. В тоже время нами при полевых работах было установлено, что массив имеет трех фазовое строение, породы которых отличаются между собой по вещественному составу. Основной целью работы являлось разделение (классификация) пород массива по химическому составу, потому как в пределах Центрально-Алданского рудного района с подобными многофазовыми структурами, образовавшимися в период мезозойской тектономагматической активизации связаны многочисленные золоторудные проявления [2].

2. Химический состав пород Медведевского массива

Наименее распространенные *сиенит-порфиры* (здесь и далее по тексту первоначальные названия пород даны по вещественному составу) по содержанию петрогенных окислов относятся к кварцевым сиенитам [3] и содержат SiO_2 61,41-64%, TiO_2 0,24-0,56%, Al_2O_3 15,74-17,4%, Fe_2O_3 1,83-3,39%, MnO 0,06-0,13%, MgO 0,43-4,08%, CaO 0,43-4,44%. Суммарное содержание щелочей ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$) в них отвечает щелочным породам 8,15-11,88%, при преобладании K_2O 4,35-6,59% над Na_2O 3,8-5,29%. Согласно классификационной диаграмме [4] ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$)- SiO_2 породы массива относятся к сиенитам (Рисунок 1а). По соотношению $(\text{Na}+\text{K}/\text{Ca})-\text{Ac}$ [5] близки породам высококалийевой латитовой петрохимической серии (Рисунок 2б).

Пироксен-амфиболовые сиениты, занимающие большую часть выходов массива, по содержанию основных петрогенных окислов близки кварцевым монцодиоритам [3]. Данные породы в отличие от сиенит-порфиров, характеризуются несколько пониженными значениями SiO_2 58,81-63,06%, Al_2O_3 14,81-16,41%, MgO 1,1-2,68% и относительно высокими – TiO_2 0,51-0,78%, Fe_2O_3 2,27-4,18%, MnO 0,11-0,16%, CaO 3,34-4,71%. А также более низкой суммарной щелочностью ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$) 7,72-9,69% отвечающей щелочным породам, при незначительном преобладании K_2O 3,95-4,91% над Na_2O 3,77-4,78%. На диаграмме [4] ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$)- SiO_2 , породы фазы занимают промежуточное положение между сиенитами и монцонитами. По классификации [5] так же как породы предыдущей фазы относятся к высококалийевой латитовой серии.

Монцонит-порфиры массива по содержанию SiO_2 61,13-64,43% близки таковым сиенит-порфирам массива. Но отличаются от последних относительно высоким содержанием Al_2O_3 15,09-16,81%, TiO_2 0,28-0,65%, Fe_2O_3 1,32-4,54% и CaO 3,27-4,76%. А также низкими значениями MnO

0,08-0,13%, MgO 0,05-3,33% и щелочности пород ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$) 7,87-8,89%, где Na_2O 4,25-4,99% преобладает над K_2O 3,46-4,25%. По классификации [4] ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$)- SiO_2 и [3] породы фазы отвечают монцитонам. Соотношение $(\text{Na}+\text{K}/\text{Ca})$ -Ac [5] в них соответствует породам высококальциевой латитовой петрохимической серии.

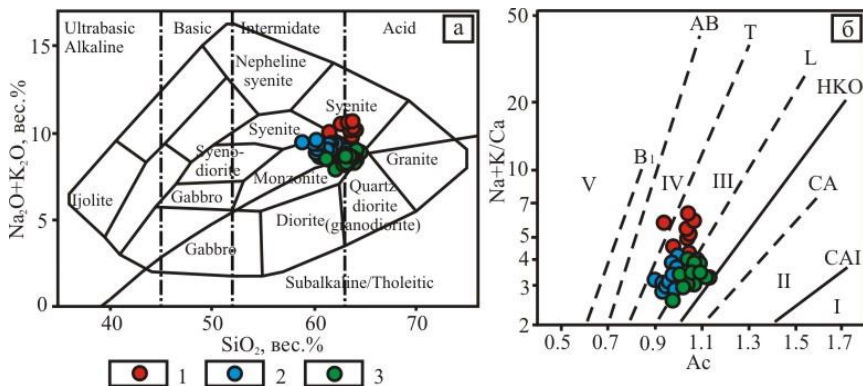


Рисунок 1. а) Классификационная диаграмма $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$ - SiO_2 для составов мезозойских магматических пород Медведевского массива: Поля диаграммы [4]. Обозначения составов пород: 1 – сиенит-порфиры, 2 – пироксен-амфиболовые сиениты, 3 – монцитонит-порфиры; б) Расположение точек составов мезозойских магматических пород на классификационной диаграмме $(\text{Na}+\text{K}/\text{Ca})$ -Ac: Тренды и поля петрохимических серий [5]: CAI – известковый низкощелочной, CA – известково-щелочной, HKO – высококальциевый-позднеорогенный, L – латитовый, T – трахитовый, AB – щелочно-базальтоидный; B1 – базанитовый. I-V – поля щелочности и группы серий: I – известковое (низкокальциевая толеитовая); II – известково-щелочное (среднекальциевая и повышеннокальциевая) III – субщелочное (высококальциевая); IV – щелочное базальтовое; V - щелочное (нефеленит-фонолитовая). Ac – суммарная активность катионов. Условные обозначения пород см. рис. а.

3. Выводы

Таким образом, одним из основных выводов является то, что магматические образования Медведевского массива с учетом вещественного состава, а также по содержанию основных петрогенных

окислов и классификационным данным разбиваются на три вида пород (фазы внедрения), представленных кварцевыми сиенитами, кварцевыми монцодиоритами и монцонитами, принадлежащих к высококалиевой латитовой петрохимической серии магматических пород.

4. Благодарности

Работа выполнена по государственному заданию ИГАБМ СО РАН.

5. Литература:

- [1] Vorona I.D., Reutov L.M. Explanatory note to the geological map of the USSR, scale 1: 200 000 Series Aldanskaya, Sheet O-51-XXIV. - М.: GNTIL in geology and mineral protection, 1963 (in Russian).
- [2] Gusev V.N., Elyuev V.K., Boyarko G.Y. Samolazovskoe gold-skarn deposit (Central Aldan) // Prospecting and exploration of mineral deposits: Materials of the scientific conference. Tomsk, 2000. P. 108-117. (in Russian).
- [3] Petrographic Code of Russia. St. Petersburg: VSEGEI, 2008.S. 136. 200 p. (in Russian).
- [4] Wilson M. Igneous petrogenesis. A Global Tectonic Approach. – London: Unwin Hyman, 1989. – 466 p.
- [5] Borodin L.S. Petrochemistry of igneous series. - М.: Science, 1987 (in Russian).

УДК 551.24

НОВЕЙШИЙ СТРУКТУРНЫЙ ПЛАН И СЕЙСМОТЕКТОНИЧЕСКАЯ АКТИВИЗАЦИЯ УСТЬ-ЛЕНСКОГО РАЗЛОМА

Людмила Имаева¹, Григорий Гусев², Валерий Имаев¹

¹ ФГБУН Институт земной коры СО РАН, 664033, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 128

² ФГБУ Институт минералогии, геохимии и кристаллохимии редких металлов РАН, 121357, Россия, г. Москва, ул. Вересаева, 15

THE LATEST STRUCTURAL PLAN AND SEISMOTECTONIC ACTIVATION OF THE UST-LENA FAULT

Lyudmila Imaeva¹, Grigory Gusev², Valery Imaev¹

¹ Institute of the Earth's Crust Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,
128 Lermontov st., Irkutsk, 664033, Russia

² Institute of Mineralogy, Geochemistry and Crystal Chemistry of Rare
Elements Russian Academy of Sciences, 15 Veresaeva st., Moscow, 121357,
Russia

Annotation. In the northern sector of the Verkhoyansk fold system, tectonic structures are separated by crustal geoblocks of different ages, which belong to the Siberian platform and the Mesozoic Laptev Sea plate. These geoblocks are key objects of studies aimed at clarifying the evolution of the transitional 'continent-shelf' zone of the Arctic boundary between the Eurasian and North American lithospheric plates. Our study was focused on the northern sector of the Verkhoyansk fold system and aimed to clarify regularities of seismotectonic destruction of the crust. We analyzed the seismotectonic data on neotectonic structures located in the Kharaulakh segment and the Lena River Delta, geological and geophysical structural features, active faults, modern structural plan, and the dynamic characteristics of the present-day terrain. Based on the comprehensive analysis of the study results, we identified for the first time a system of conjugated active strike-slip faults that contrastingly reflect the structural plan of the northern sector of the Verkhoyansk fold system. In the sublongitudinal direction along the Ust-Lena right-lateral strike-slip fault, a structural boundary is traced as a major element of the kinematic plan of the modern structures, which predetermines the seismotectonic parameters of the zones of increased seismic activity. In small-scale geological and tectonic maps, as well as in satellite images, the Ust-Lena fault is structurally manifested from the Lena River Delta to the Orulgan segment of the Verkhoyansk fold system. The Bulun fields of earthquake epicenters ($M_w = 6.8-7.0$) and a wide zone of seismic dislocations varying in genesis are located at the southeastern termination of this fault. We analysed the state of crustal stresses of the study area using the tectonophysical data on the Late Cenozoic rupturing and folding deformations and seismological data, and conclude that this is a unique transitional region

wherein the mid-oceanic and continental crust structures are conjugated and the tectonic stress field changes from extension to compression. This study clarifies the kinematic plan of the modern structures in the shelf-continent transition zone of the Arctic boundary between the Eurasian and North American lithospheric plates.

1. Введение

Тектонические структуры северного сектора Верхоянской складчатой системы разделяют разновозрастные геоблоки земной коры Сибирской платформы и мезозойской Лаптевоморской плиты. Они являются ключевыми объектами для познания эволюции переходной зоны шельф-континент арктической границы между Евразийской и Североамериканской литосферными плитами. С целью выявления закономерностей процессов сеймотектонической деструкции земной коры северного сектора Верхоянской складчатой системы, проведен сеймотектонический анализ неотектонических структур Хараулахского сегмента и дельты р. Лена [1, 2]. Были проанализированы данные по геолого-геофизическому строению, активным разломам, новейшему структурному плану, динамическим характеристикам современного рельефа. Полученные результаты дают возможность уточнить кинематический план новейших структур переходной зоны шельф-континент арктической границы между Евразийской и Североамериканской литосферными плитами [2, 3, 4, 5]. Они могут быть применены при освоении арктического шельфа крупными российскими и иностранными компаниями.

2. Основной раздел

В результате проведенных исследований нами впервые выделена Усть-Ленская сдвиговая система разломов, которая является главным формирующим элементом кинематического плана новейших структур северного сектора Верхоянской складчатой системы, а также определяет сеймотектонические параметры зон активизации [1]. На мелкомасштабных геологических и тектонических картах, а также космических снимках Усть-Ленский разлом структурно выражен от дельты р. Лена до Орулганского сегмента Верхоянской складчатой системы. В зоне юго-восточного окончания разлома расположено

Булунское эпицентральное поле землетрясений с $M_w = 6.8-7.0$ с максимальным сейсмическим потенциалом и выявлена обширная зона сейсмодислокаций различного генезиса. На северо-западном фланге разлома по системе Туматских проток дельты р. Лена структурно оформлена обширная присдвиговая зона растяжения, состоящая из ряда отдельных впадин, закономерно подставляющих друг друга в северо-восточном направлении. Структуры растяжения, характерные для процессов рифтогенеза, затронувшего акваторию шельфа моря Лаптевых, в пределах дельты р. Лена не выявлены. Система установленных впадин, закономерно сформирована в режиме транстенсии и сдвига. Отдельными кулисами линеамент продолжается от дельты р. Лена к югу, что подтверждается прямолинейным руслом р. Лена в основании дельты до ее деления на рукава. Булкурская и Чекуровская антиклинали, где в обнажениях устанавливаются серия обратных надвигов, как секущих, так и субпараллельных слоистости, могут трактоваться, как присдвиговые блоки сжатия. Принимая во внимание строгую структурную закономерность расположения блоков сжатия и структур растяжения по отношению к простиранию трассы данного линеамента, их морфологическую выраженность, а также очаговые параметры землетрясений, можно принять кинематику Усть-Ленского разлома, как право-сдвиговую со сбросовой компонентой.

3. Выводы

1. Современный морфотектонический план северного сектора Верхоянской складчатой системы во многом наследует закономерности тектонического режима позднемезозойского этапа развития. Кинематический план новейших структур обусловлен сопряжением разнонаправленных Усть-Ленской и Лено-Анабарской сдвиговых систем, которые контрастно отображают зону сочленения главных геоструктур региона: Сибирской платформы, Лаптевоморской плиты и Хараулахского сегмента Верхоянской складчатой системы.
2. Сейсмогеодинамический анализ всех исходных данных позволил выделить в пределах новейших структур северного сектора Верхоянской складчатой системы структурно-динамические сегменты с различным типом напряженно-деформируемого состояния земной коры: транспрессионным, транстенсионным и компрессионным. Смена режимов

сейсотектонической деструкции происходит к западу и востоку от дельты р. Лена в акватории шельфа моря Лаптевых, где фиксируется смешанное поле тектонических напряжений. Таким образом, в северном секторе Верхоянской складчатой системы существует уникальная переходная область, где сочленяются срединно-океанические и континентальные структуры земной коры и происходит изменение поля тектонических напряжений растяжения на сжатие.

3. По аналогии с оценкой потенциальной сейсмической опасности эпицентральных полей, проведенной нами в различных сегментах Арктико-Азиатского сейсмического пояса, новейшие структуры северного сектора Верхоянской складчатой системы способны продуцировать сейсмические события с магнитудой $M_w = 6.5-7.0$ и интенсивностью до 8–9 баллов по шкале MSK-64.

4. Благодарности

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

5. Литература:

- [1] Imaeva L.P., Gusev G.S., Imaev V.S. Dynamics of the Relief and Seismotectonic Activity of the Modern Structures in the Delta of the River Lena // *Geotectonics*, 2019, vol. 53, no. 5, pp. 588–600.
- [2] Seismotectonics of the Northeastern Sector of Russian Arctic, 2017. Imaeva L.P., Kolodeznikov I.I. (Eds.). Publishing House of SB RAS, Novosibirsk, 2017, 136 pp. (in Russian).
- [3] Imaev V.S., Imaeva L.P., Koz'min B.M. Seismotectonics of Yakutia. GEOS, Moscow, 2000, 227 pp. (in Russian).
- [4] Imaeva L.P., Gusev G.S., Imaev V.S., Mel'nikova V.I. Neotectonic activity and parameters of seismotectonic deformations of seismic belts in the Northeast Asia // *J. of Asian Earth Sci.*, 2017, vol. 148, pp. 254–264.
- [5] Imaeva L.P., Imaev V.S., Koz'min B.M. Dynamics of the Zones of Strong Earthquake Epicenters in the Arctic–Asian Seismic Belt // *Geosciences*, 2019, vol. 9, no 4, p. 168.

УДК 57.07

О ПЕРВОЙ НАХОДКЕ ЛЕПИДОФИТА РОДА URSODENDRON В КАМЕННОУГОЛЬНЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ВЕРХОЯНЬЯ

Афанасий Килясов

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

ABOUT THE FIRST FIND OF LEPIDOPHYTE OF THE GENUS URSODENDRON IN THE CARBONIFEROUS DEPOSITS OF THE VERKHOYANSK REGION

Afanasiy Kilyasov

Diamond and Precious Metals Geology Institute, Siberian Branch, Russian
Academy of Sciences, 39 Lenina ave., Yakutsk, 677000, Russia

Annotation. For the first time in Verkhoyansk Region, a representative of the genus *Ursodendron* Radczenko was discovered. It was found in the Setachan Formation of the Middle Carboniferous Nimnecheen Creek (river basin Sobolokh-Mayan) of the Orulgan Range (Northern Verkhoyansk Region). The determination of this stratigraphically important taxon in Verkhoyansk Region allowed expanding the idea of its geographic distribution.

1. Введение

Лепидофиты (плауновидные) в каменноугольных отложениях Верхоянья впервые были обнаружены Л.А. Мусалитиным в 1958 г. в бассейне р. Собопол (верховья р. Соболах-Маян) Орулганского хребта, в былыкатской свите [1]. Эти растительные остатки были изучены Н.А. Шведовым, который определил роды *Angarodendron* и *Tomiodendron* [2,3]. В 1962 г. Л.А. Мусалитиным и Р.В. Соломиной были проведены исследования новых опорных разрезов верхнего палеозоя верховьев р. Соболах-Маян. В 50 км севернее стратотипа, по р. Сетачан был описан более полный, по мнению Л.А. Мусалитина и Р.В. Соломиной [3], разрез былыкатской свиты, охарактеризованный многочисленными остатками разнообразных плауновидных. В разрезе по р. Сетачан были обнаружены

лепидофиты рода *Angarodendron*, *Tomiodendron* и редкие отпечатки коры в сохранности типа *Knorria*.

Немногим позже, пересмотром и изучением каменноугольной флоры Верхоянья занялись Е.С. Рассказова и М.В. Дуранте. В ходе изучения коллекций из 11 местонахождений (бассейны рек Собопол и Сыпча) ими был выявлен обширный комплекс растительных остатков, где преобладали отпечатки коры лепидофитов (преимущественно в сохранности *Knorria*) [4]. В образцах лучшей сохранности были обнаружены лепидофиты рода *Angarophloios*, *Angarodendron* и *Tomiodendron*. Однако позже М.В. Дуранте [5] отметила сомнительность присутствия в былькатской свите представителей рода *Tomiodendron* и установила, что среди форм лучшей сохранности преобладают представители рода *Angarodendron*. С ними встречаются лепидофиты рода *Lophiodendron* и *Angarophloios*.

В верхнепалеозойских отложениях Верхоянья М.В. Дуранте [5, 6] выделила три последовательных флор: лепидофитовую (былькатская свита), постлепидофитовую (сетачанская свита) и кордаитовую (юпенчинская – дулгалахская свиты) флоры. По ее мнению, в лепидофитовой флоре преобладают представители родов *Angarodendron* и *Lophiodendron*, а также плауновидные, принадлежавшие, по-видимому, к новым родам. В постлепидофитовой флоре она отмечала почти полное отсутствие плауновидных, за исключением редких *Angarodendron*. В кордаитовой флоре лепидофиты неизвестны.

Из вышеизложенного следует, что до настоящего времени комплекс каменноугольных плауновидных Верхоянья был ограничен лепидофитами родов *Angarophloios*, *Angarodendron*, *Lophiodendron* и *Tomiodendron*.

2. Материал и методика исследований

В 2014 году автором совместно с И.В. Будниковым, Р.В. Кутыгиным, Л.Г. Перегоедовым и В.И. Макошиным были послонно изучены разрезы нижней части карбона в верховьях р. Соболах-Маян (реки Былькат и Ньимнэчээн) и собраны новые коллекции ископаемой флоры [7]. Также автором была изучена коллекция флоры, собранная И.В. Будниковым в 1988 году в разрезе былькатской и сетачанской свит по р. Ньимнэчээн.

Морфоструктурное изучение и определение растительных остатков осуществлялось на основе классических методов исследования С.В. Мейена [8]. Растительные остатки изучались с помощью микроскопа, а

также дополнительно для лучшего восприятия морфологии и анатомии растительных остатков были сделаны вручную их рисунки.

При изучении отпечатков и слепков лепидофитов учитывались такие признаки как форма листовых подушек, их размер, листорасположение, наличие слепков лигульных ямок, присутствие листового рубца. Особое внимание уделялось наличию подлиствого пузыря. Листовые подушки многих лепидофитов несут углубление или вздутие, соответствующее внутрилистовой аэренхиме (подливовой пузырь).

3. Результаты исследований

В ходе исследования коллекции флоры собранной в 2014 г. и пересмотра коллекции 1988 г., удалось обнаружить в быллыкатской свите лепидофиты рода *Angarophloios*, *Lophiodendron* и *Tomiodendron* [9]. Из вышезалегающей сетачанской свиты, среди редких остатков флоры был обнаружен отпечаток оси крупного лепидофита с тесно расставленными листовыми подушками сердцевидной формы, с лигульными ямками при отсутствии пяток, подлистных пузырей и крыльев. Эти признаки указывают на принадлежность этого экземпляра к роду *Ursodendron*, ранее не известному в Верхоянье.

Род *Ursodendron* Radczenko был выделен Г.П. Радченко [10] на материале из нижнего карбона Саяно-Алтайской горной области и прилегающих районов. Типовым видом рода является *U. chacassicum* Radczenko.

Также лепидофиты этого рода были описаны М.В. Дуранте из флороносных горизонтов Гурбан-Харад-Ула и Хара-Тологой-Худук Южной Монголии [11].

Недавно Ю.В. Мосейчик [12] выделила два новых вида рода *Ursodendron* травянистой размерности – *Ursodendron meyenii* Mosseichik и *Ursodendron izychense* Mosseichik. Первый вид был установлен в средне-верхнекаменноугольных отложениях (катская свита) Тунгусского бассейна, а второй – в серпуховском ярусе (сарская свита) Минусинского бассейна.

Таким образом, до настоящего времени представители рода *Ursodendron* были известны из нижнекаменноугольных отложений Саяно-Алтайской горной области, южных районов Сибирской платформы (Рыбинская впадина), Южной Монголии и среднего – верхнего карбона Тунгусского бассейна.

Установление рода *Ursodendron* в Верхоянье позволило расширить представления о географическом распространении этого стратиграфически важного таксона. Рассмотренные выше отличительные черты верхоянского экземпляра *Ursodendron* позволяют относить его к новому виду.

4. Благодарности

Автор выражает искреннюю благодарность Р.В. Кутыгину (ИГАБМ СО РАН, г. Якутск) и Ю.В. Мосейчик (ГИН РАН, г. Москва) за ценные советы и замечания. Работа выполнена по государственному заданию ИГАБМ СО РАН и при финансовой поддержке РФФИ № 18-05-00191.

5. Литература:

- [1] Musalitin L.A. To the secretion of the Bylykat, Sobopol and Khaldzhin Formations in the thickness of the Upper Paleozoic sediments of the Sobopol river basin // Materials on geology and minerals of the Yakut ASSR, 1961, issue 4, pp. 69-77.
- [2] Shvedov N.A. Description of plant residues // The reference section of the coal and Permian deposits of the Northern Verkhoyansk Region, vol. 5, Leningrad, 1965, pp. 4-37.
- [3] Musalitin L.A., Solomina R.V. Sections of the Carboniferous and Permian deposits of the Orulgan ridge // Stratigraphy of the Carboniferous and Permian deposits of the Northern Verkhoyansk Region. L.: Nedra, 1970, pp. 25-41.
- [4] Durante M.V., Izrailev L.M. Floristic complexes and stratigraphy of the Carboniferous and Permian deposits of the meridional part of Western Verkhoyansk Region // MOIP Bulletin, dep. geology, vol. 52 (4), 1977, pp. 112-123.
- [5] Durante M.V. Sequence of Late Paleozoic floristic complexes of Verkhoyansk Region // Lethaea rossica. Russian paleobotanical journal, 2010, vol. 2, pp. 45-54.
- [6] Durante M.V. Upper Paleozoic flora and stratigraphy of Verkhoyansk Region // Paleobotanical temporary. Supplement to the journal «Lethaea Rossica», 2013, issue 1, pp. 109-111.
- [7] Kutygin R.V., Kilyasov A.N., Budnikov I.V. On the most ancient flora of the Upper Paleozoic in the Verkhoyansk Region and the age of the Bylykat Formation // Patriotic geology, 2016, № 6, pp. 73-80.

- [8] Meyen S.V. Theoretical problems of paleobotany. Moscow: Nauka, 1990, 287 pp.
- [9] Kilyasov A. N. Ancient middle-carboniferous flora of the Orulgan Range (Northern Verkhoyansk) and justification of age Bylykat Formation // 18th International Multidisciplinary Scientific Geoconference, 2018, vol.18, pp. 11-18.
- [10] Radchenko G.P. New Early Carboniferous Lycopside of Southern Siberia // New Species of Ancient Plants and Invertebrates of the USSR, 1960, pp. 15-28.
- [11] Durante M.V. The paleobotanical substantiation of the Carboniferous and Permian stratigraphy of Mongolia. Moscow: Nauka, 1976, 279 pp.
- [12] Mosseichik Yu.V. Herbaceous lepidophytes from Carboniferous Angarida // Paleobotanical temporary. Supplement to the journal «Lethaea rossica», 2015, issue 2, pp.186-190.

УДК 550.384

ПАЛЕОМАГНИТНЫЕ РЕКОНСТРУКЦИИ СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ В КОНЦЕ ПЕРМИ НАЧАЛЕ ТРИАСА

Александр Киргуев¹, Константин Константинов^{1,2}

¹ Научно-исследовательское геологическое предприятие АК «АЛРОСА» (ПАО), 678170, Россия, г. Мирный, Чернышевское шоссе, 16

² ФГБУН Институт земной коры СО РАН, 664033, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 128

PALEOMAGNETIC RECONSTRUCTIONS OF THE SYBERIAN PLATFORM IN UPPER PERMIAN LOWER TRIASSIC AGE

Alexander Kirguyev¹, Konstantin Konstantinov^{1,2}

¹ Scientific-Investigation Geology Enterprise AC «ALROSA», 16 Chernyshevskoye Highway, Mirny, 678170, Russia

² Institute of the Earth's Crust Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, 128 Lermontov st., Irkutsk, 664033, Russia

Annotation. The paleomagnetic data obtained on basites of antelope olenek-velingninsky, kutangsky and kuz'movsky intrusive complexes of east board of the Tungus syneclyse confirm powerful tektono-magmatic activization on temporary border of a Perm and the Triassic (≈ 250 million years). The interpretation of the calculated paleomagnetic poles on the studied basites allows either unstable character of the magnetic field or sharp movements of the Siberian platform on the surface of the Earth.

1. Введение

Наиболее изученным, в палеомагнитном отношении, геологическим периодом Сибирской платформы является конец перми – начало триаса, когда в пределах Тунгусской синеклизы сформировалась крупная магматическая провинция. Наиболее распространенной в настоящее время моделью формирования сибирских траппов является прохождение Сибирской платформы над Исландской горячей точкой в интервале 270 ÷ 240 млн. лет. Подтверждением этой гипотезы служит рассчитанный на это время средний палеомагнитный полюс (таблица 1) [1, 2]. Для детализации характера дрейфа Сибири необходимо получить палеомагнитные полюсы по разным фазам базитового магматизма Тунгусской синеклизы.

Таблица 1

**Палеомагнитные полюсы пермо-триасовых траппов
восточного борта Тунгусской синеклизы**

№	Фазы	N	Φ , °	Λ , °	dp/dm , °	fm , °
1	$\gamma\beta P_2$	17	74	166	18,2/19,0	71
2	$\beta_0-\gamma\beta P_2-T_1$	61	61	141	5,0/5,1	76
3	$\gamma\beta T_1$	59	46	166	6,2/7,1	55
4	СВОДНЫЙ	3	60,5	158	24,0/25,3	69
5	ST1*	9	50,8	149,6	9,4/9,4	
6	NSP4**	8	57,2	151.1	4.0/4.0	

*Примечания: N – количество сайтов, участвующих в статистике. Палеомагнитный полюс: широта – Φ , долгота – Λ , доверительные интервалы - dp/dm и палеоширота - fm . * - по [1] данные включены в настоящие исследования, ** - по [2].*

2. Результаты палеомагнитных исследований

В качестве геологической основы для построения палеомагнитных реконструкций используются современная схема развития пермотриасового базитового магматизма Тунгусской синеклизы, которая включает три фазы внедрения: 1 – интрузивная $\gamma\beta P_2$, 2 – вулканно-субвулканическая $\beta_0\text{-}\gamma\beta P_2\text{-}T_1$ и 3 – интрузивная $\gamma\beta T_1$, которые четко различаются по геологическим (взаимное пересечение), петрографическим и геохимическим параметрам (соответствуют оленек-велингинскому, катангскому и кузьмовскому интрузивным комплексам Вилуйской серии листов). По каждой из перечисленных фаз были отобраны ориентированные образцы, выполнены аналитические исследования, проведены лабораторные измерения и эксперименты, рассчитаны дескриптивные значения петромагнитных параметров и пр.

При расчете палеомагнитных полюсов мы исходили из того, что каждая фаза базитов в отдельности формировалась за счет внедрения некоторого количества даечных тел. В этом случае можно считать вековые вариации магнитного поля осредненными, а полученные по изученным сайтам (обнажениям) виртуальные геомагнитные полюсы логично объединить в палеомагнитные полюсы (таблица 1). Рассчитанный по разным фазам координаты палеомагнитных полюсов статистически отличаются (рисунок 1 А).

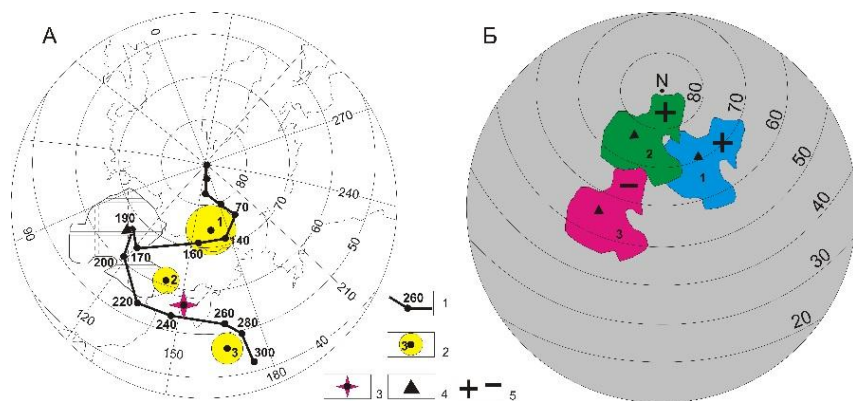


Рисунок 1. Интерпретация палеомагнитных данных границы пермотриаса Восточной Сибири. А) палеомагнитные полюсы; Б)

палинспастические реконструкции. Условные обозначения: 1 – мезокайнозойский интервал ТКМП Сибирской платформы (цифры - возраст в млн. лет); 2 - палеомагнитные полюсы с овалом доверия, соответствующие трем комплексам (1 - оленек-велингинский, 2 - катангский, 3 – кузьмовский); 3 - средний палеомагнитный полюс пермотриаса; 4 – район работ; 5 – полярность (прямая «+» и обратная «-») магнитного поля Земли.

3. Выводы

Впервые получены палеомагнитные полюсы по трем интрузивным комплексам базитов восточного борта Тунгусской синеклизы характеризующим поведение магнитного поля Земли на границе перми и триаса: оленек-велингинский ($\gamma\beta P_2$), катангский ($\beta_0\text{-}\gamma\beta P_2\text{-}T_1$) и кузьмовский ($\gamma\beta T_1$). Распределение полюсов может быть связано с тектоно-магматической активизацией, которая отразилась на характере магнитного поля Земли и дрейфе Сибирской платформы (рисунок 1 Б).

4. Благодарности

Авторы выражают благодарность М.Д. Томшину за помощь в проведении петрофизических работ.

5. Литература:

- [1] Kravchinsky V.A., Konstantinov K.M., Courtillot V., Savrasov J.I., Valet J-P., Cherniy S.D., Mishenin S.G., Parasotka B.S., 2002. Paleomagnetism of East Siberian traps and kimberlites: two new poles and paleogeographic reconstructions at about 360 and 250 Ma. *Geophysical Journal International* 148 (1), 1–33. <https://doi.org/10.1046/j.0956-540x.2001.01548.x>.
- [2] Pavlov V.E., Courtillot V., Bazhenov M.L., Veselovsky R.V. Paleomagnetism of the Siberian traps: New data and a new overall 250 Ma pole for Siberia // *Tectonophysics*, 2007. 443, p. 72–92.
- [3] Van der Voo R., 1993. Paleomagnetism of the Atlantic, Tethis, and Iapetus oceans. Cambridge University Press, Cambridge, 411 p.

УДК 550.34.016

МАКРОСЕЙСМИЧЕСКИЕ ПРОЯВЛЕНИЯ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ЗОНЫ ЧЕРСКОГО НА СЕВЕРО- ВОСТОКЕ ЯКУТИИ

Борис Козьмин¹, Сергей Шибяев², Александр Макаров¹

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

² Якутский филиал Федерального исследовательского центра «Единая
геофизическая служба РАН», г. Якутск, Россия

MACROSEISMIC MANIFESTATIONS OF STRONG EARTHQUAKES OF THE CHERSKY ZONE IN THE NORTH-EAST OF YAKUTIA

Boris Koz'min¹, Sergey Shibaev², Aleksandr Makarov¹

¹ Diamond and Precious Metals Geology Institute, Siberian Branch, Russian
Academy of Sciences, 39 Lenina ave., Yakutsk, 677000, Russia

² Yakutian Branch of the Federal Research Center "Unified Geophysical
Service of the RAS", Yakutsk, Russia

Annotation. Instrumental and macroseismic data for three strong earthquakes (1984 Uyandina, 2008 Andrei–Tas and 2013 Ilin – Tas) are presented. They occurred in the Chersky zone in the Arctic area of Yakutia over the past 40 years. The intensity of the shocks at the epicenter corresponded to 7–9. The seismological and geological relationships of these events with “live” faults and tectonic stress fields are analyzed. The features of the distribution of their seismic effects over the area in more detail are discussed (isoseims maps).

1. Введение

Верхояно-Чукотскую складчатую систему на северо-востоке Азиатского континента пересекает от морей Лаптевых к Охотскому широкая (до 400 км) полоса эпицентров землетрясений Арктико-Азиатского сейсмического пояса, разделяющего Евразийскую и Североамериканскую литосферные плиты. В его пределах наиболее активна сеймотектоническая зона Черского (СЗЧ) [1]. В начале 21-го века в СЗЧ

отмечена значительная реактивация сеймотектонических процессов. Это обусловило возникновение крупных сейсмических событий, среди которых только в 2013 г. произошло 3 сильных подземных толчка с магнитудой $MS=5.4-6.9$ и интенсивностью в эпицентре до 7–9 баллов (шкала MSK-64). Указанные события регистрировались 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 обеспечения WSG. При построении схем эпицентров использовались карты рельефа М 1:2.5 млн. и геологическая карта М 1:500 тыс. (лист G 54).

2. Эпицентральные поля и сейсмогеологические связи

Одним из ощутимых землетрясений в конце XX века в СЗЧ являлось Уяндинское землетрясение 22.11.1984 г с магнитудой $MS=5.4$. Оно произошло на северо–западном фланге СЗЧ, а его эпицентр тяготел к SW борту Уяндинской кайнозойской впадины, где она сочленяется с Селенняхским хребтом, служащим водоразделом между левыми притоками реки Индигирки – Селеннях и Уяндина. Уяндинское событие ощущалось на площади около 65 тыс. км² в 13 населённых пунктах Верхоянского и Усть–Янского районов РС(Я). Интенсивность в эпицентре составляла 6–7 баллов. По данным опроса местного населения была построена карта изосейст, включающая линии 3–6 балла. Распределение сейсмических сотрясений по площади показало, что изосейсты имели эллипсообразную форму с большой осью, вытянутой в направлении SW – NE. Фокальный механизм данного толчка, построенного по методу момента тензора центроида, указывает на надвиговые смещения в его очаге [2]. Это совпадает с кинематикой Нальчинского надвига, входящего в Полоусненскую систему разрывных нарушений северо–восточного простирания, куда тяготеет эпицентр этого сотрясения. Другим крупным сейсмическим событием начала XXI было Андрей–Тасское землетрясение 22.06.2008 г. с $MS=6.1$. Пространственно толчок тяготеет к кряжу Андрей–Тас и граничному с ним на юго-востоке Момскому хребту, которые обрамляют с северо-востока кайнозойскую Момо–Селенняхскую впадину. Его эпицентр и последующие за ним афтершоки (свыше 130) расположились в междуречье Берелеха и Томтора – правых притоков р. Селеннях, впадающей слева в р. Индигирку. Вся очаговая зона находится в области влияния локальной системы надвигов,

ограничивающих кряж Андрей-Тас с севера и входящих в систему Илин-Тасского разрывного нарушения [2, 3]. Плейстосейстовая область события пришлось на горно-таёжную местность более чем на 100 км удаленную от мест проживания местного населения. Сила подземного удара в эпицентре достигала 7–8 баллов по шкале MSK–64. Андрей-Тасское землетрясение ощущалось в 14 населённых пунктах Янского, Верхоянского, Момского и Оймяконского районах РС(Я) на площади около 300 тыс.км². Опрос местных жителей показал, что макроэффекты при землетрясения достигали 2–6 баллов. Была составлена карта сейсмических возмущений. Выяснилось, что изолинии балльности ориентированы большой осью в субширотном направлении. Движения в фокусе этого землетрясения представляли надвиг с небольшой компонентой правого сдвига по субдолготной и левого сдвига по близширотной плоскостям разрыва [2, 3], что совпадает с кинематикой Илин-Тасского разлома, соответствующей взбросо-сдвигу. Одним из самых интенсивных событий было Илин-Тасское (Абыйское) землетрясение 14.02.2013 г. с MS=6.9, выявленного в Якутии за последние 70 лет инструментальных наблюдений [1, 2, 3]. Анализ особенностей этого явления базировался как на данных Якутского филиала ФИЦ ЕГС РАН, так и материалов регистрации временных сейсмостанций, установленных совместно с Университетом штата Мичиган (США). Эпицентральная зона Абыйского землетрясения тяготеет к северо-восточной окраине СЗЧ, где контактируют кайнозойские структуры Индигиро-Зырянской впадины и мезозойские структуры хребтов Момского и Андрей-Тас. Его очаг возник в ненаселённой горно-таёжной местности. Интенсивность толчка в эпицентре составила 9 баллов по шкале MSK–64. После основного землетрясения была зарегистрирована продолжительная серия афтершоков (свыше 5 тысяч за год). Эффекты главного толчка и его крупные афтершоки наблюдались в 8 арктических районах (Абыйском, Верхоянском, Оймяконском, Момском, Верхнеколымском и др.) в 23 населенных пунктах республики, расположенных в междуречье Яны – Индигирки – Колымы. Общая площадь сотрясений составила около 500 тыс. км². На карте изосейст Илин-Тасского события показаны площади, подверженные воздействию сотрясений от 2 до 7 баллов. При этом картина распределения балльности на земной поверхности представляла набор изосейст–эллипсов, большой осью простирающихся в направлении NE–SW. Смещения в очаге этого события соответствуют надвигу [2].

Толчок приурочен к зоне влияния Илин-Тасского надвига с компонентой левого сдвига.

3. Выводы

Выявленные макроэффекты 3-х сильных землетрясений указывают на идентичную между собой картину их распределения на земной поверхности в центре СЗЧ. Изосейсты пересекают здесь местные структуры вкрест их простирания, в том числе активные разломы. В тоже же время на флангах СЗЧ такие изосейсты располагаются вдоль трасс разломов. Подобная аномалия объясняется коллизией Евразийской и Североамериканской плит и условиями NE сжатия, близкого к ориентации большой оси эллипсов–изосейст.

4. Благодарности

Работа выполнена в рамках госзадания № 0381–2020–0001, проекта РФФИ № 19–05–00062 и комплексной программы правительства РС(Я) по изучению территории республики в 2020–2021гг.

5. Литература:

- [1] Mackey K.G., Shibaev S.V., Kozmin B.M., Burk D., Fujita K. The 14 February, 2013 Yakutia Earthquake: fieldwork, aftershock deployment and macroseismic effects // Abstracts. 2013 Fall Meeting AGU. San-Fransisco: USA. 2013, December, 9-14 p. F1547.
- [2] <http://www.isc.ac.uk>.
- [3] <http://www.ceme.gsras.ru>.

УДК 551.24

НОВЫЕ ДАННЫЕ О ВУЛКАНИЗМЕ В РАЙОНЕ ТЭЭТЭ (ЯКУТИЯ) – МЕСТОНАХОЖДЕНИЯ РАННЕМЕЛОВЫХ ПОЗВОНОЧНЫХ

Пётр Колосов¹, Евдокия Акимова², Василий Берёзкин¹

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

² ФГАОУ ВО Северо-Восточный федеральный университет им. М.К.
Аммосова, 677000, Россия, г.Якутск, ул. Белинского, 58

NEW DATA ON VOLCANISM IN THE TEETE AREA (YAKUTIA) - LOCATIONS OF EARLY CRETACEOUS VERTEBRATES

Peter Kolosov¹, Evdokia Akimova², Vasily Berezkin¹

¹ Diamond and Precious Metals Geology Institute, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, 39 Lenina ave., Yakutsk, 677000, Russia

² M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, 58 Belinsky st., Yakutsk, 677000, Russia

Annotation. Active volcanism, which occurred in the Kempendyay basin of the Vilyui syncline of the Siberian platform in the Neocomian, created thermal environment here. The basin was rich and diverse in vegetation during the Neocomian, thus resulted in inhabitation of the area by dinosaurs and other vertebrates. In the certain interval of time volcanic eruptions reached the Teete river, where they were found. It was first proved as the result of studying the section of deposits in Teete. Ash material in a form of tuffaceous sandstone was initially supplied into the Teete sedimentation basin and did not have a negative impact on the animals. At a later time, volcanic ash unaffected by the processes of weathering and long-range transferring started accumulating in the basin. It primarily consisted of tuffs and tuffites and partially of tuffaceous sandstones. The fossils of dinosaurs and other vertebrates are buried in these rocks. The animals extinction coincides with tuffs and tuffites accumulation. Based on that, we can say the animals extinction was caused by the volcanic eruptions taken place nearby their habitat.

1. Введение

Большое внимание исследователей привлекают вопросы связи вулканизма и гибель динозавров и других животных в геологическом прошлом. За смещением южной границы Сибирско-Канадской флористической области на север, сохранением влажного и теплого климата, и появлением разнообразной растительности [1], по-видимому, последовали динозавры и другие позвоночные, дошли до территории современного бассейна р. Вилюй. Их остатки найдены в Тээтэ.

2. Обсуждение новых данных и результаты

Ранее было установлено, что все породы батылхской свиты неокома в местонахождении Тээтэ, являются осадочно–вулканогенными [2]. В дополнение к этой информации о вулканизме мы приводим новые данные. В разрезе Тээтэ установили: породы, залегающие ниже костеносных слоёв, в основном представлены туффовыми песчаниками с маломощными линзами туфов и туффитов, а костеносные и вышележащие – преимущественно туфами (рисунок 1) и туффитами с редкими линзами туффитовых песчаников, глинисто-известковистых аргиллитов и глинистых известняков. Такое строение разреза свидетельствует, что через какой-то промежуток времени с момента первых взрывов, вулканические извержения стали происходить вблизи Тээтэ.

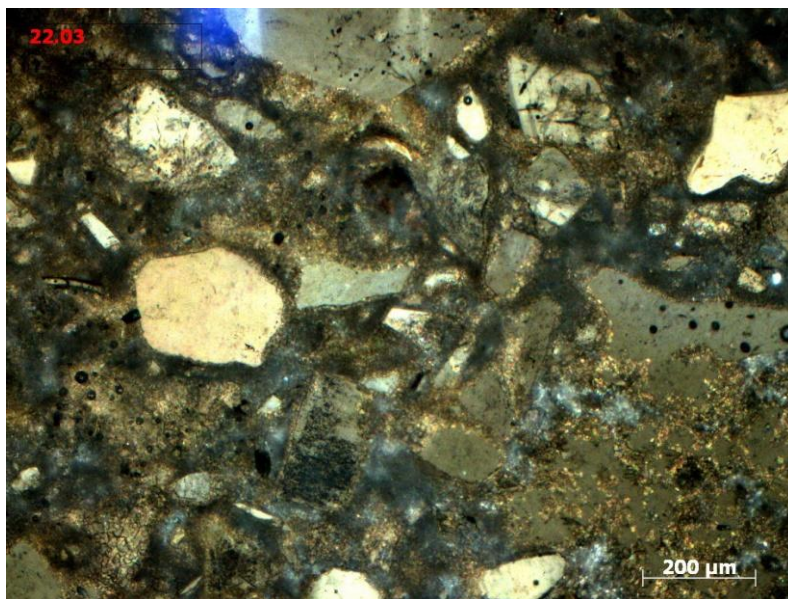


Рисунок 1. Туф. Видны угловатые кристаллы кварца

Под нижним костеносным слоем залегает слой (3-15 см) светло-серой известковой глины. В нём присутствует линза зеленоватого и голубоватого кристаллокластического туфа алевритистого (обр. 48-03). В шлифах видно, что нижняя (0,4-0,6 мм) часть линзы содержит

вулканическую рудную пыль (рисунок 2): шаровидные чёрные зёрна диаметром 15-29 мкм, единичные до 36-50 мкм. В других слоях туфов и туффитов встречаются зёрна, покрытые тончайшей сорбционной плёнкой, характерной вулканическим пеплам. Зёрна микроскопические (до 0,5 мм), плотные, округлые, без пустот. Как и рудная пыль, а также относительно крупные не окатанные обломки, присутствующие в туфах и туффитах, они выпадали быстрее и вблизи породившему их вулкану из-за малой парусности. Итак, совпадают во времени накопление в районе Тээтэ осадков, представленных в основном свежим (не переотложенным) вулканическим пеплом, и гибель животных. Вулканический пепел, пыль, обычно вызывают похолодание и кислотные дожди.

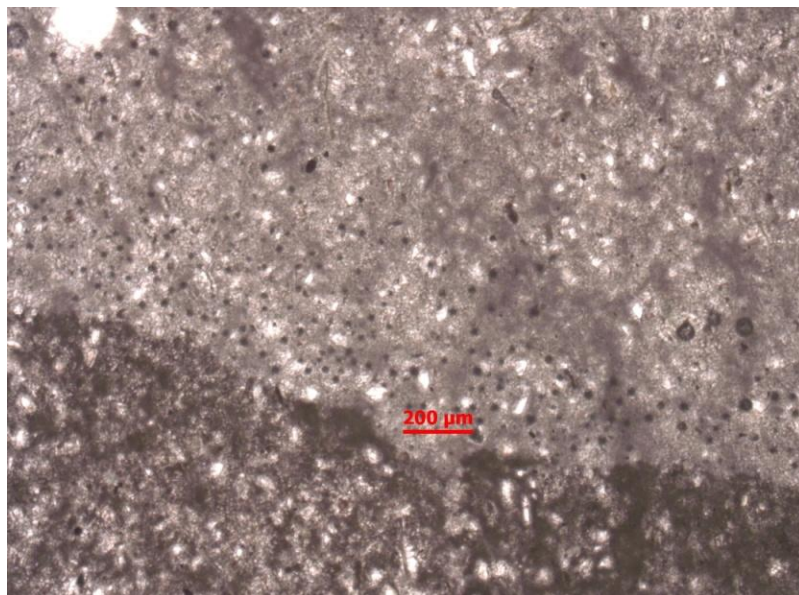


Рисунок 2. Вулканическая рудная пыль в виде шариков

3. Выводы

Динозавры и другие животные Тээтэ обитали до тех пор, пока вулканические извержения происходили на некотором удалении от места их обитания. Вулканический пепел, пыль, обычно вызывающие похолодание и кислотные дожди, по-видимому, стали основной причиной гибели динозавров и других позвоночных животных в районе Тээтэ.

4. Благодарности

Исследования выполнены по государственному заданию ИГАБМ СО РАН.

5. Литература:

- [1] Meyen S.V. Fundamental of Paleobotany: Reference Manual. – Nedra: Moscow, 1987. 403 p. [in Russian].
- [2] Kolosov P.N., Ivensen G.V., Mikhailova T.E., Kurzanov S.M., Efimov M.B., Gubin Yu.M. Taphonomy of the Upper Mesozoic Tetrapod Teete Locality (Yakutia) // Paleontological Journal, 2009, Vol. 43, No. 2, p. 201–207.

УДК 550.384

НОВЫЕ ПАЛЕОМАГНИТНЫЕ ДАННЫЕ ПО БАЗИТАМ ЗАПАДНОГО ФЛАНГА ЧАРО-СИНСКОГО ДАЙКОВОГО ПОЯСА

Константин Константинов^{1,2}, Евгений Николенко¹, Глеб Козлов³

¹ Научно-исследовательское геологическое предприятие АК «АЛРОСА» (ПАО), 678170, Россия, г. Мирный, Чернышевское шоссе, 16

² ФГБУН Институт земной коры СО РАН,

664033, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 128

³ ФГБУ Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского, 199106, Россия, г. Санкт-Петербург, Средний пр., 74

NEW PALEOMAGNETIC DATA ON BASITS OF WESTERN FLANK OF THE CHARO-SINSK DIKE BELT

Konstantin Konstantinov^{1,2}, Evgeniy Nikolenko¹, Gleb Kozlov³

¹ Scientific-Investigation Geology Enterprise AC «ALROSA», 16 Chernyshevskoye Highway, Mirny, 678170, Russia

² Institute of the Earth's Crust Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, 128 Lermontov st., Irkutsk, 664033, Russia

³ A.P. Karpinsky Russian Geological Research Institute, 74 Sredny ave., St. Petersburg, 199106, Russia

Annotation. New petro-, paleomagnetic and petrogeochemical data have been obtained on basites of the Charo-Sinsk dike belt developed in the channels of Biryuk and Namana Rivers. The natural remanent magnetization (NRM) vectors of the basites have experienced strong re-magnetization by the geomagnetic field, but characteristic vectors, most likely of primary nature, have been identified in a number of objects. The directions of such NRM vectors in the studied basites are similar to the paleomagnetic data on the basalts of the Appainskaya suite and the dolerites of the Viluyi-Markha intrusive complex, obtained on the north-west side of the Viluyi paleorift. The position of the paleomagnetic poles indicates their synchronous formation and the absence of a significant turn of the sides of the Viluyi paleorift in the area of the Suntar rise.

1. Введение

Базиты среднего палеозоя развитые по бортам Вилуйского палеорифта в пределах Вилуйско-Мархинского (ВМДП), Контайско-Джербинского (КДДП) и Чаро-Синского (ЧСДП) дайковых поясов представляют собой хорошую возможность для решения задач геодинамики и минерагении Сибирской платформы. В то время геодинамическая обстановка магматизма и рифтогенеза в восточной части Сибири определялась плюм-литосферным взаимодействием [1]. Эпицентр среднепалеозойского Якутского плюма располагался в районе, перекрытом в настоящее время структурами Верхоянского складчато-надвигового пояса. В результате плюм-литосферных событий над эпицентром плюма формируется трехлучевая система среднепалеозойских рифтов, наиболее крупной ветвью которой является Вилуйский палеорифт, расположенный в теле Сибирского кратона между его Ангаро-Анабарским и Алданским раннедокембрийскими гранулитогнейсовыми террейнами [2]. Палеомагнитные исследования проведены в западном и восточном его бортах с целью установления механизма его формирования.

2. Результаты палеомагнитных исследований

Отбор ориентированных образцов проведен по коренным обнажениям рр. Бирбк и Наман из даек долеритов чаро-синского интрузивного комплекса и покровов базальтов наманнской свиты. Эти работы дополнили полученные нами ранее палеомагнитные данные по дайкам чаро-синского интрузивного комплекса восточного фланга ЧСДП [3].

В ходе лабораторных работ установлено, что минералами-носителями намагниченности базитов являются маггемиты (аналогичные аппаинским базальтам), которые практически утратили первичные направления векторов ЕОН. Тем не менее в некоторых обнажениях удалось получить векторы характеристической ЕОН, аналогичные базальтам аппаинской свиты и долеритам виллойско-мархинского комплекса из месторождений трубок Мир и Нюрбинской, рр. Марха, Ыгыатта и др. (Рисунок 1).

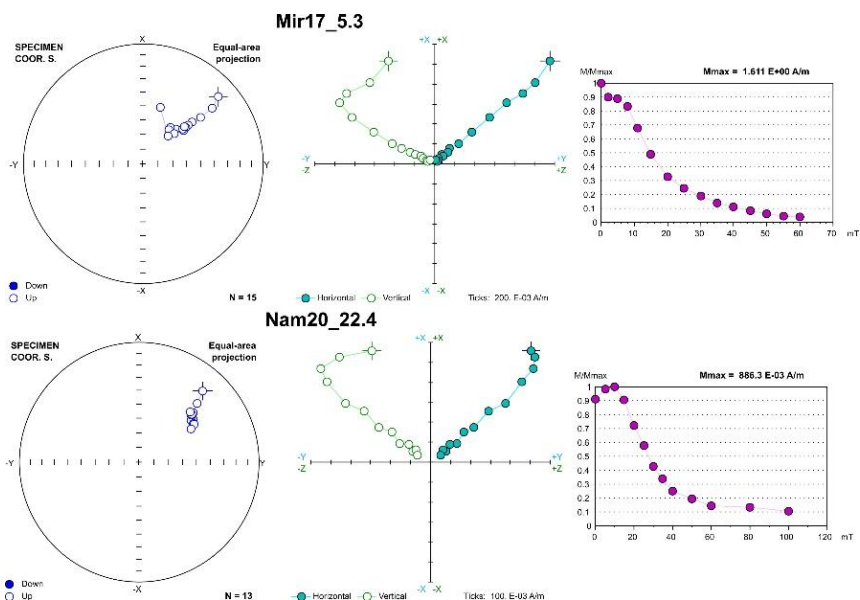


Рисунок 1. Палеомагнитные исследования базитов рудника Мир (долериты) и р. Намана (базальты).

3. Выводы

Проведенные палеомагнитные исследования кимберлитов месторождения Верхнемнемское Формирование восточной границы Сибирского кратона связано с раскрытием в конце позднего девона Вилуйского палеорифта в результате развития Якутского плюма. Это событие отразилось в постепенном развороте Алданского террейна относительно Ангаро-Анабарского до угла 22° по часовой стрелке. По палеомагнитным данным верхняя возрастная граница трансформации террейнов оценивается около 320 млн лет. Эти важные нюансы необходимо учитывать при построении сводной траектории миграции палеомагнитного полюса Сибирского кратона. Кроме того, палеомагнитные данные могут способствовать повышению точности геологических прогнозов и поисков тех или иных месторождений полезных ископаемых (алмазов, редкоземельных элементов, тантала, ниобия, меди, молибдена, платины и пр.), связанных с проявлением внутриплитового магматизма на территории Восточной Сибири [15].

4. Благодарности

Авторы выражают благодарность директору НИГП АК «АЛРОСА» (ПАО) А.В. Толстову и генеральному директору ФГБУ «ВСЕГЕИ» - О.В. Петрову за помощь в организации полевых работ.

5. Литература:

- [1] Ernst R.E., Buchan K.L. // Geol. Soc. Amer. Spec. Pap. 2001. V. 352. P. 247–266.
- [2] Zonenshain L.P., Kuzmin M.I., Natapov L.M., 1990. Tectonics of Lithospheric Plates in the USSR Territory. In two volumes. Nedra, Moscow, Vol. 1, 328 p.; Vol. 2, 334 p. (in Russian).
- [3] Konstantinov K.M., Tomshin M.D., Konstantinov I.K., Yakovlev A.A. Paleomagnetism of Middle Paleozoic Basites on the Southeastern Flank of the Vilyui Paleorift. Doklady Earth Sciences, 2019, Vol. 486, Part 2, pp. 695–698.
- [4] Kuzmin M.I., Yarmolyuk V.V., Kravchinsky V.A., 2010. Phanerozoic hot spot traces and paleogeographic reconstructions of the Siberian continent based on interaction with the African large low shear velocity province. Earth-Science Reviews 102 (1–2), 29–59.

УДК 550.838.5

ПЕТРО- И ПАЛЕОМАГНИТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КИМБЕРЛИТОВ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ВЕРХНЕМУНСКОЕ

Константин Константинов^{1,2}, Игорь Шарыгин², Максим Хороших¹,
Татьяна Антонова¹, Сергей Потапов²

¹ Научно-исследовательское геологическое предприятие АК «АЛРОСА»
(ПАО), 678170, Россия, г. Мирный, Чернышевское шоссе, 16

² ФГБУН Институт земной коры СО РАН, 664033, Россия, г. Иркутск, ул.
Лермонтова, 128

PETRO- AND PALEOMAGNETIC CHARACTERISTICS OF KIMBERLITES OF VERHNEMUNSKOYE DEPOSIT

Konstantin Konstantinov^{1,2}, Igor Sharygin², Maxim Horoshih¹,
Tatyaa Antonova¹, Sergey Potapov²

¹ Scientific-Investigation Geology Enterprise AC «ALROSA», 16
Chernyshevskoye Highway, Mirny, 678170, Russia

² Institute of the Earth's Crust Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,
128 Lermontov st., Irkutsk, 664033, Russia

Annotation. Within the deposit of the diamond Verhnemunskoe five kimberlite pipes have been studied: Deimos, Zapolyarnaya, Komsomolskaya-Magnitnaya, Novinka and Poiskovaya. Minerals carriers of natural remanent magnetization (NRM) vectors are magnesioferrites, which are characterized by high magnetic stability (paleomagnetic memory). In the course of laboratory experiments in kimberlites of studied pipes characteristic vectors of NRM of primary nature are found, paleomagnetic age of which corresponds to Late Devon -Early Carbon era of tectonic-magmatic activation (375-350 million years). At this time, the Siberian platform was at the middle latitudes of the northern hemisphere and was facing north with its southern board.

1. Введение

Установление возраста кимберлитов Сибирской платформы имеет важное значение для разработки стратегии алмазопроисковых работ.

Для определения возраста кимберлитов обычно используются геологические данные (возраст вмещающих и перекрывающих кимберлиты осадочных пород, ксенолиты осадочных пород в кимберлитах, возраст которых определен фаунистически) и изотопные датировки (Rb-Sr, K-Ar и др.) [1]. Однако не во всех случаях результаты этих исследований приводят к однозначному определению возраста кимберлитов. Для Якутской алмазоносной провинции АП с высокой степенью вероятности доказаны позднедевонская–раннекарбоновая (D_3 – C_1), средне-позднетриасовая (T_2 – T_3) и позднеюрская (J_3) эпохи кимберлитообразования [2]. В настоящее время для установления возраста кимберлитов применяется и палеомагнитный метод [3]. Из-за особенностей формирования трубок взрыва, кимберлиты являются сложными объектами палеомагнитного изучения [4]. Рассмотрим основные этапы палеомагнитного датирования на месторождении Верхнемунское: кимберлитовые трубки Деймос, Заполярная, Комсомольская-Магнитная, Новинка и Поисковая.

2. Результаты палеомагнитных исследований

Алгоритм палеомагнитного датирования геологических процессов по векторам естественной остаточной намагниченности (ЕОН) предусматривает:

1. Отбор ориентированных образцов и пробоподготовка.
2. Проведение палеомагнитных экспериментов (рисунок 1).

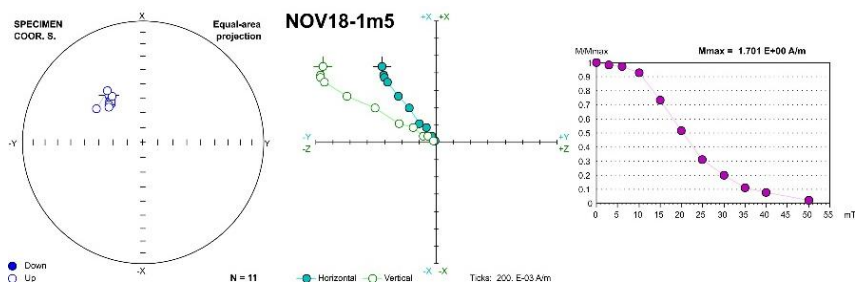


Рисунок 1. Результаты размагничивания образцов кимберлитов трубки Новинка переменным магнитным полем.

3. В качестве минералов носителей установлены магнезиоферриты и первичная природа векторов характеристической ЕОН.
4. Рассчитаны координаты палеомагнитного полюса (ПМП) с доверительными интервалами (рисунок. 2 А).
5. Возраст ПМП путем его сопоставления с ТКМП (рисунок 2 Б). В случае сохранности первичной ЕОН устанавливается возраст становления горных пород, а в случае наложенной природы ЕОН – время проявления в горных породах вторичных процессов.

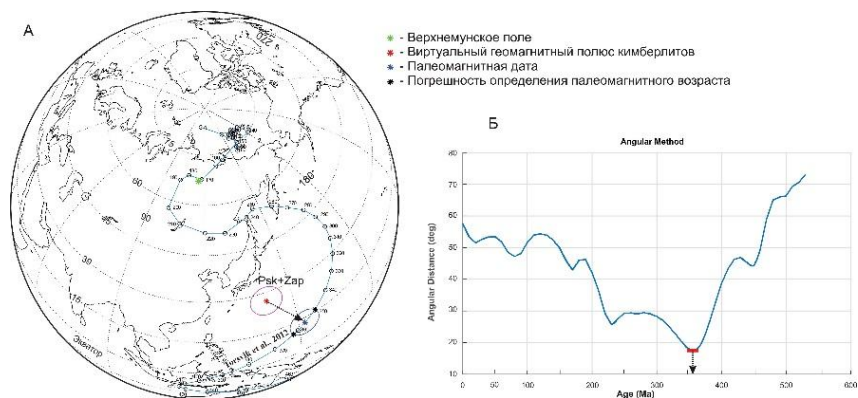


Рисунок 2. Палеомагнитное датирование кимберлитов месторождения Верхнемунское ЯАП по методике [5]. А – сопоставление ПМП кимберлитов с ТКМП Сибирской платформы; Б – график зависимости отклонения ПМП (в градусах) и геологического возраста (млн/ лет).

3. Выводы

Палеомагнитный возраст изученных кимберлитовых трубок месторождения Верхнемунское оценивается 356 ± 6 млн лет. Это определение достаточно хорошо согласуется с геологическими и изотопными данными.

4. Благодарности

Авторы выражают благодарность главному геологу АК «АЛРОСА» (ПАО) К.В. Гаранину за помощь в организации полевых работ.

5. Литература:

- [1] Zaitsev A.I., Smelov A.P., 2010. Isotope Geochronology of Kimberlite Rock Formation of the Yakutsk Province. Ofset, Yakutsk, 108 p. (in Russian).
- [2] Brahfogel F.F., 1984. Geological Aspects of Kimberlite Magmatism in the Northeastern Siberian Platform. Publishing House of Yakutian Division, Siberian Branch of the USSR Acad. Sci., Yakutsk, 128 p. (in Russian).
- [3] Kravchinsky V.A., Konstantiniv K.M. et al., 2002/ Paleomagnetism of East Siberian traps and kimberlites: two new poles and paleogeographic reconstructions at about 360 and 250 Ma / Geophys. J. Int., № 48. p. 1-33.13.
- [4] Konstantinov K.M., 2014. Magnetism of Kimberlites and Trappes in the Junction Zone of the Vilyui and Tunguska Synclines in the Siberian Platform. Irkutsk State University, Irkutsk, 34 p. (in Russian).
- [5] Hnatyshin, D., Kravchinsky, V.A. Paleomagnetic dating: Methods, MATLAB software, example // Tectonophysics, 2014. 630, 103–112.

УДК 552.3:549.2

ПЕТРОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ТРАППОВ С ПРОЯВЛЕНИЯМИ САМОРОДНОГО ЖЕЛЕЗА

Альбина Копылова, Александра Васильева

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

PETROCHEMICAL CHARACTERISTICS OF TRAPS WITH FINDS OF NATIVE IRON

Albina Kopylova, Alexandra Vasilieva

Diamond and Precious Metals Geology Institute, Siberian Branch, Russian
Academy of Sciences, 39 Lenina ave., Yakutsk, 677000, Russia

Annotation. The petrochemical and geochemical similarities of the traps with native iron are shown, which distinguish them from all other trap formations is shown. These features are due to the differentiation of the tholeiitic melt in the deep intermediate chamber, which took place at high temperature and in reducing conditions. Geochemical changes in the near-nodule dolerite

indicate that the Fe⁰ phase was moved by the tholeiite-basaltic melt in the form of metal droplets into a modern chamber, where these droplets were isolated into different-sized segregations.

1. Введение

В пределах сибирской платформы значительные находки самородного железа известны на севере Красноярского края в трапповых интрузивах Хунтукунский, Хининдинский и Маймечинский [1, 2]. Последняя находка самородного железа установлена в Якутии в Айхальском силе [3]. Изучение минералогических и петролого-геохимических особенностей данных интрузивов позволило выявить достаточное количество общих черт в их вещественном составе и происхождении. Слагаются они в основном габбро-долеритами и оливинсодержащими габбро-долеритами. Общим для всех интрузивов с самороднометалльной минерализацией является наличие в составе этих тел двух парагенезисов породообразующих кристаллов. Раннемагматические минералы представлены анортит-битовнитом, гиалосидеритом, магнизиальным пироксеном. Довнутрикамерную генерацию породообразующих минералов в отдельных интрузивах дополняют генетически важные акцессории – муассанит и шпинелиды, фиксирующие восстановительные условия и барофильность обстановки раннего этапа эволюции базальтового расплава [4]. Эти минералы, несовместимые с внутрикамерной обстановкой, свидетельствуют об активном довнутрикамерном этапе эволюции базальтового расплава в обстановке промежуточного очага.

Что касается особенностей минерального состава самородных фаз, то и здесь установлено много общего. Во всех исследуемых интрузивах нульвалентное железо по химическому составу относится к ферриту, содержащему незначительное количество никеля 0,п-0.01-п %. С ним обычно ассоциируют когенит, троилит и вюстит/магнетит. Во всех интрузивах в самородном железе отмечается обилие включений силикатного вещества как стекловатых, так и частично раскристаллизованных разновидностей.

2. Основной раздел

Все интрузивы с железом сформированы расплавом толеит-базальтового состава повышенной магнезиальности (до 10-13 % MgO, при средних значениях 9 %), с пониженным содержанием суммы железа (практически на 2% ниже среднего в обычных траппах), что свидетельствует о переводе части силикатного железа в нульвалентную форму в ходе металл-силикатной ликвации в промежуточной глубинной камере. Необходимо отметить и такую особенность химического состава пород как низкая степень окисленности железа ($FeO/Fe_2O_3=1,95$). Повышенные относительно обычных траппов содержания Al_2O_3 и CaO отражают накопление их в раннем плагиоклазе.

Наличие этапа раннего фракционирования расплава отразилось и на поведении элементов-примесей. Присутствие в долеритах раннемагматических оливина и пироксена обусловило рост содержаний связанных с ними сидерофильных элементов, прежде всего Ni, Co, Cr. Для группы интрузивов с самородной минерализацией характерны минимальные содержания крупноионных литофилов – Rb, K, Ba, Th, U, высокозарядных элементов группы титана – Zr, Hf, Ta, Y, Nb. Относительно типичных базитов значительно уменьшается сумма редких земель ($\sum REE=58,9-36,2$ г/т) при практически близких отношениях $(La/Yb)_n$. Спектры составов долеритов всех интрузивов с Fe^0 -фазой практически идентичны, расположены близко параллельно, вне зависимости в какой части платформы они расположены (рисунок 1).

Распределение REE отличается умеренным фракционированием $(La/Yb)_n=2,2-3,4$, значения Eu/Eu^* близки к единице. На спайдер-диаграммах отчетливо выражен максимум стронция - характерный признак интрузивов, сформированных расплавом, эволюционирующим в докамерных условиях с фракционированием раннемагматического высококальциевого плагиоклаза. Подобный пик содержаний Sr на спектрах распределения обычных траппов не наблюдается.

Химический и микроэлементный состав околожелваковых долеритов отражает особенности минерального состава. Почти на 10 % увеличивается суммарное содержание железа, как за счет присутствия мельчайших каплевидных зерен нульвалентного металла, так и в связи с высокожелезистыми минералами. Существенно увеличивается магнезиальность долеритов (до 11,3 % MgO). При этом снижается роль

литофильных породообразующих – SiO_2 , Al_2O_3 , CaO , Na_2O , K_2O . Вокруг сегрегаций самородного железа во всех интрузивах содержащих Fe-фазу, постоянно отмечается некоторое количество сульфидных минералов, представленных в основном пирротином и халькопиритом. Параллельно идет снижение сидерофильных (Ni, Co и особенно Cr), литофильных (Ba, Rb, Cs), высокозарядных (Zr, Hf, Ta, Y, Nb) и REE. Исключение составляют халькофильные Cu, Zn, Mo, рост содержаний которых обусловлен присутствием сульфидов в оторочке железа. Стронций и европий, изоморфно замещающие кальций в раннемагматических плагиоклазах образуют ярко выраженные максимумы.

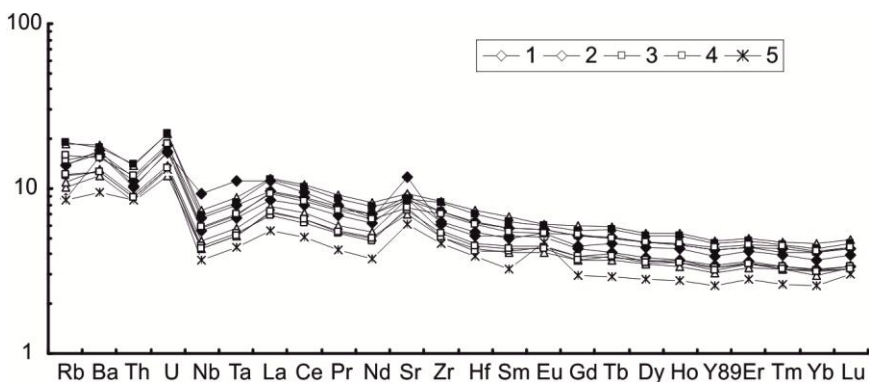


Рисунок 1. Распределение в долеритах интрузивов с месторождениями самородного железа редкоземельных элементов, нормированных к хондриту [по 5].

Интрузивы: 1 – Хунгтукусунский, 2 – Хининдинский, 3 – Маймечинский, 4 – Айхальский, 5 – околожелваковский долерит, Айхальский интрузив.

3. Выводы

Железо способно концентрировать многие элементы, которые образуют с ним растворы в жидком состоянии. Никель и кобальт обычно растворяются в Fe-фазе в широких пределах и даже в отдельных интрузивах установлены их интерметаллиды – тетраэзит, фазы Co_2Fe , и другие. В расплавленном железе активно концентрируются такие элементы как золото и элементы платиновой группы, при этом содержание Au, Pt, Pd, Rh, Ru в металле по сравнению с вмещающей горной породой увеличивается в десятки и даже сотни раз. Кроме

благородных металлов в расплавленном железе базитов активно концентрируются Ga, As, Sb, Sn, W, Mo, проявляя при этом четко выраженные сидерофильные свойства. Медь и серебро практически не растворимы в α -Fe. При низкой растворимости меди её присутствие в железе в пределах 0,1-0,3% объясняется наличием мельчайших эмульсионных выделений как самостоятельных, так и в ассоциации с троилитом или когенитом. Концентрация серебра в интрузивах, вмещающих желваки железа, и содержание в Fe-фазе находится в одних пределах 0,1-0,2 г/т. Это свидетельствует об отсутствии заметного накопления Ag в железе и серебро так же как медь образует в нем мельчайшие эмульсионные выделения.

4. Благодарности

Работа выполнена по государственному заказу ИГАБМ СО РАН и при финансовой поддержке гранта РФФИ № 18-45-140043 p_a.

5. Литература:

- [1] Oleinikov, B.V., Okrugin, A.V., Tomshin, M.D., et al. 1985. Native metal formation in platformal bazites, Yakutsk, 188 p. (in Russian)
- [2] Ryabov, V.V., Pavlov, A.L., and Lopatin G.G. 1985. Native iron of Siberian traps. Novosibirsk, Nauka, 168 p. (in Russian)
- [3] Tomshin M.D., Salikhov R.F., Matushkin A.I., Kopylova A.G., Vasileva A.E. Native iron in dolerites of the Aikhal sill (the first discovery in Yakutia) // Arctic and Subarctic Natural Resources. 2019. Vol.24. №3. P. 50-63. (in Russian).
- [4] Okrugin A.V. Akcessornye mineraly rannemagmатического etapa evolyucii veshchestva bazitov Sibirskoj platformy. Avtoref. dis. kand. geol.-mineralog. nauk. L., 1982. 17 s.
- [5] Sun S.-S., McDonough W.F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes / Ed. A.D. Saunders, M.J. Norry // Magmatism in ocean basins. Geol. Soc. London Spec. Publ. 1989. № 42. P. 313-345.

УДК 551.24

ГЕОКИНЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ ВЕРХОЯНО-ЧУКОТСКОЙ СКЛАДЧАТОЙ ОБЛАСТИ

Василий Кузнецов

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

THE GEOKINEMATICS MODEL OF THE FORMING OF THE VERCHOYNSK-CHUKCHI FOLDING REGION STRUCTURE

Vasily Kuznetsov

A.P. Karpinsky Russian Geological Research Institute, 74 Sredny ave., St.
Petersburg, 199106, Russia

Annotation. The issues of forming the structure of the Verkhoyansk-Chukchi folded region are considered. In its structure, become important large shear fracture zone along which the fragments are interpreted scale displacement structures. The Right-Aldan, Yano-Mom and South-Anyui fault zones limit laterally the allochthon pushed to the edge of the Siberian platform. This allochthon removed from modern Alazeya plateau under the influence of mantle diapir and moved in a northwesterly direction for about 350 km.

1. Введение

Исторически решение проблем эволюции современной структуры Верхояно-Чукотской складчатой области осуществлялось с разных позиций. В настоящее время преобладают воззрения в концепциях плейттектоники, террейновой тектоники, все большее значение получают латеральные перемещения структурных элементов. Выявление перемещений, их причин и масштабов возможно на основе большого комплекса данных и прежде всего на результатах структурных, геофизических и палеогеографических исследований.

2. Основной раздел

В составе Верхояно-Чукотской складчатой области выделяются Яно-Колымская, Чукотская и Алазейско-Олойская системы, имеются относительно стабильные Омолонский и Охотский массивы (микроконтиненты). Обращает внимание зональное, близкое к концентрическому расположение структур [2,5]. Ключевым элементом представляется расположенная в центре области Алазейская зона, ограниченная по краям разломами. В структуре области большое значение приобретают масштабные сдвиговые и надвиговые структурные элементы. Их присутствие указывает на разномасштабные латеральные перемещения фрагментов осадочной оболочки. Основные латеральные перемещения отображены в кинематике крупнейших дизъюнктивов, к которым относятся Лено-Алданский (Нелькано-Кыллахский) шовный надвиг, левосторонние Право-Алданская и Яно-Момская, правосторонняя Южно-Ануйская сдвиговые зоны [6]. Наибольшие по амплитуде передвижения приурочены к северо-западному флангу области, ограниченному с запада фронтальными надвигами Кыллахского звена Лено-Алданского шва; комплексы пород краевых с запада антиклинорий Яно-Колымской системы надвинуты на восточный край Сибирской платформы.

Интерпретируется регионального масштаба тектонический аллохтон, смещенный с площади Алазейской зоны, передвинутый на расстояние около 350 км и надвинутый на фланг Сибирской платформы. Тыловую часть этого огромного ссещуенного аллохтона представляют Полоусненское и, частично, Тас-Таяхтахское поднятия. Родина Полоусненского и Тас-Таяхтахского частных покровов предполагается непосредственно к западу и северу от Приколымского поднятия, ограниченного дуговым Колымским разломом. По флангам покровная структура ограничивается Право-Алданской и Южно-Ануйской сдвиговыми зонами северо-западного простираения. Право-Алданская и Яно-Момская зоны являются краевыми элементами площадной сдвиговой области, внутренняя часть ее представлена продольными взбросо-сдвигами юго-восточной части Яно-Колымской системы. Яно-Момская сдвиговая зона образована серией параллельных и кулисообразно расположенных сдвигов и взбросо-сдвигов. Нижне-среднепалеозойские толщи Омuleвского и Тас-Таяхтахского поднятий растянуты вдоль зоны,

составляя систему разновеликих ромбических блоков-дуплексов. Южно-Ануйская сдвиговая зона северо-западного простирания, являющаяся фрагментом более протяженного Новосибирско-Чукотского пояса разломов, ограничивает тектонический покров с севера. В структуре зоны преобладают правые сдвиги, горизонтальные смещения сопровождаются присдвиговыми сжатыми складками и правыми эшелонами трещин скальвания.

Обоснованием версии перемещения тектонического покрова являются разрыв в бассейне р. Алазеи палеозойских и мезозойских структурно-фациальных зон, строение Алазейской зоны, повышенная плотность ее пород [4], которая соответствует более глубинным горизонтам, вероятно, основанию смещенного осадочного комплекса. Характер структур свидетельствует о деформациях в условиях сжатия, о смещениях по межпластовым плоскостям скольжения и взбросовым трещинам. Алазейская зона в целом представляется областью тектонической денудации, где разрывные нарушения образуют комбинацию срыва, ступенчатых взбросов и поперечных элементов подобно ребристости и штриховке громадного зеркала скольжения. Перемещение покровной структуры в северо-западном направлении началось в допозднепалеозойское время. Прерывистое движение масс происходило, очевидно, на фоне осадконакопления, о чем свидетельствуют деформации, несогласия и олистостромы в отложениях Яно-Колымской системы. Столь грандиозные перемещения, по-видимому, были инициированы глубинными процессами, внедрением мантийного диапира [3]. Напряжения в нижнем структурном этаже в активную стадию развития диапира вызвали расслоение и смещение верхних горизонтов, общий подъем участка территории, что отразилось в смене океанических условий осадконакопления морскими мелководными, в малых мощностях (пермских, триасовых) отложений, в неполноте разрезов. Наиболее вероятен механизм гравитационного скольжения, возможно, с участием волны многократных поднятий [1]. Движение отслоившихся масс получило асимметричный характер из-за влияния среды на форму диапира и из-за присутствия на востоке более устойчивого Омолонского массива (метаморфогенного свода); в результате чего тектонический покров сместился, в основном, в северо-западном направлении.

3. Заключение

Показанный сценарий формирования структуры проверяется путем палинспастической реконструкции, возвращением в исходное положение тектонического покрова. Это успешно реализуется так как площади перекрытой части Сибирской платформы и Алазейской зоны вполне сопоставимы. Предложенная схема воссоздает кинематику движений по основным разломным зонам и снимает многие проблемы в понимании природы и строения крупных структур. В ней закономерно сочетаются представления, отстаиваемые в рамках позиций тектонической делимости и расслоенности литосферы, террейновой тектоники.

4. Литература:

- [1] Belostotsky I.I. Sharyazhi as a natural result of the joint action of several interconnected mechanisms (towards a single concept of integument formation) // Bull. MOIP, Dep. Geologist., 1985, v. 60, no. 2, p. 3-18.
- [2] Belyi V.F. The Verkhoyansk-Chukchi Mesozoids — Concentric-Zonal Geosynclinal Folded Region // Bull. MOIP, Dep. Geologist., 2002, v. 77, no. 4. P. 3-16.
- [3] Chekunov A.V. Mantle chamber of activity and tectogenesis // Geodynamics of intracontinental mountain regions. Novosibirsk: Nauka, 1990.S. 307-317.
- [4] Vashchilov Yu.Ya. Some geophysical aspects of the problem of the Kolyma mass // Questions of the geology of the midlands of the North-East of the USSR. Magadan: Nuclear Research Institute of the Far Eastern Scientific Center, Academy of Sciences of the USSR, 1977, no. 77.S. 64-78.
- [5] Korago E.A. Late Paleozoic-Mesozoic geodynamics of the Yano-Kolyma interfluve from the position of mantle diapirism // Pacific. Geology, 1995, v. 14, No. 4. P. 90-101.
- [6] Kuznetsov V.M. Shear zones are important elements of geodynamics in the North-East of the USSR // Tectonics and Minerageny of the North-East of the USSR. Magadan: NECS FEB AS USSR, 1990.S. 121-123.

**УЛЬТРАКАЛИЕВАЯ ПОРОДА ТОМТОРСКОГО
КОМПЛЕКСА (АРКТИЧЕСКАЯ СИБИРЬ)**

Елена Лазарева¹, Виктор Пономарчук¹, Сергей Жмодик¹,
Николай Добрецов^{1,2}, Алексей Травин¹, Олег Сурков¹,
Александр Толстов¹, Николай Карманов¹

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

² ФГБУН Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А.
Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. академика
Коптюга, 3

**ULTRA-POTASSIUM ROCK OF THE TOMTOR
COMPLEX (ARCTIC SIBERIA)**

Elena Lazareva¹, Victor Ponomarchuk¹, Sergey Zhmodik¹,
Nikolay Dobretsov^{1,2}, Aleksey Travin¹, Oleg Surkov¹, Aleksandr Tolstov¹,
Nikolay Karmanov¹

¹ V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy Siberian Branch Russian
Academy of Sciences, 3 ave. Akademika Koptyuga, Novosibirsk, 630090,
Russia

² Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics, Siberian Branch of
Russian Academy of Sciences, 3 ave. Akademika Koptyuga, Novosibirsk,
630090, Russia

Annotation. The mineral and geochemical composition of the ultra-potassium rock of the Tomtor complex of alkaline rocks and carbonatites was first studied. The values of $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ were determined. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating using the stepwise heating method indicates an age of 323.5 ± 3.9 Ma.

1. Введение

Ультракалиевые породы, состоящие более чем на 90 % из калиевого полевого шпата (KFsp), известны в составе комплексов щелочных пород и карбонатитов, ассоциациях щелочных кальдерных комплексов [1, 2] и в виде самостоятельных тел [3]. Согласно известной схеме [1], породы формируют дайки на поздней стадии становления комплекса щелочных пород и карбонатитов, являются конечными производными процессов

фенитизации. Недавние экспериментальные исследования, показывают хорошую растворимость калия в карбонатитовом расплаве [4]. Томторский комплекс (ТК) известен уникальными тонкослоистыми Nb-REE рудами [5]. Томторская кольцевая интрузия прорывает известняки, доломиты, терригенные метаморфизованные породы NP₁-NP₃ возраста и перекрывается континентальными (P), морскими (J) и рыхлыми (Q) отложениями. В региональном отношении ТК располагается на пересечении двух крупных геологических структур – древнего Уджинского авлакогена (~1074 млн лет) [6] и Молодо-попигайского вулcano-плутонического пояса триасового возраста. Внешнее кольцо ТК сложено щелочными породами. Карбонатитовое ядро представлено породами двух групп, которые на основании содержания Nb и REE подразделяются на безрудные и рудные. Породы карбонатитового комплекса отделены от щелочных пород реакционной каймой KFsp-слюдистых (± апатит, кальцит) пород (фенитов). Последовательность пород, залегающих на карбонатитах, описана исследователями как латеритная кора выветривания [7]. Первые исследования возраста пород ТК предполагали более 8 этапов в интервале 810-240 млн лет [8]. Надёжно установлено 2 основных магматических этапа ~ 700 и ~400 млн лет [9]. Авторами впервые описана ультракалиевая порода в ТК, исследован ее минеральный и геохимический составы, получены значения $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, Проведено $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ датирование.

2. Результаты

Ультракалиевая порода вскрыта скважиной 324 (участок Южный). Под юрскими отложениями залегают плотные, массивные не диагностированные ранее породы с содержанием REE до 8 % (29.7-34 м). Ниже, располагается сильно каолинизированная выветрелая порода, в которой распознается исходная порфировая текстура. В интервале 47-62 м скважина вскрывает серую порфировую пористую породу. Порфировые выделения и основная масса породы сложена KFsp. Крупные (8×1.5 мм) порфировые выделения KFsp дважды сдвойникованы. Хорошо выделяются крупные агрегаты оксидов Ti черного цвета, края индивидов обогащены Nb (до 10 мас. %), содержат включения Nb-минерала <5 мкм, который предварительно диагностирован как ферсмит (с примесью 0.97 мас. % Ta, 0.65 мас. % Sr, 1.45 мас.% U). Аксессуарные Се-бастнезит, Се-монацит и кальцит приурочены к полостям. В крупных кристаллах KFsp наблюдаются включения барита (<5 мкм), стронционита и бастнезита.

KFsp основной массы частично замещается мусковитом, незначительное количество минерала установлено внутри порфировых выделений. В результате замещения содержание Al_2O_3 в породе выше, чем в KFsp (22.4 против 18.4 мас. %), а SiO_2 - ниже (55.7 против 65 мас. %). Ультракалиевая порода Томтора обогащена Ti, также, как и породы Тиманского кряжа [3]. Содержание REE_2O_3 составляет 0.22 %, LREE резко преобладают. По совокупности геохимических данных ультракалиевая порода ближе к REE-карбонатитам, чем к KFsp-слюдистым породам (фенитам), слагающим кольцо вокруг карбонатитового ядра.

Для определения возраста были выбраны прозрачные спайные выколки порфировых выделений KFsp. Датирование проводилось методом ступенчатого нагрева [10]. В возрастном спектре (рисунок 1) выделяется надежное плато, характеризующееся 70% выделенного ^{39}Ar и возрастом 323.5 ± 3.9 млн лет. Можно предположить, что полученная датировка соответствует возрасту формирования ультракалиевой породы. В низкотемпературной части спектра присутствует промежуточное плато из двух ступеней, характеризующееся значением 220 млн лет. Это может свидетельствовать о термическом воздействии на изотопную систему минерала во время позднего события.

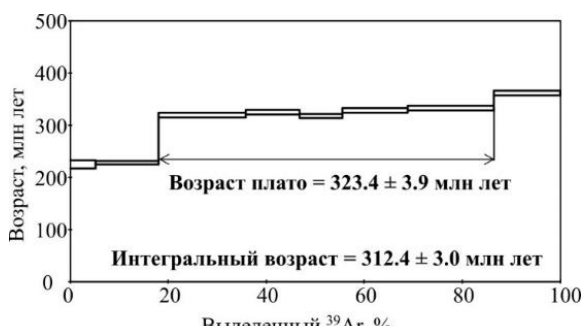


Рисунок 1. Результаты $^{40}Ar/^{39}Ar$ датирования методом ступенчатого прогрева для порфировых выделений калиевого полевого шпата.

Значения $\delta^{13}C$ (-14.2‰) и $\delta^{18}O$ (22.4 ‰) карбонатов, зафиксированные в ультракалиевой породе, свидетельствуют о возможном участии гидротермального процесса в их происхождении, возможно, во время позднего события (220 млн лет). Первичный изотопный состав стронция ультракалиевой породы составляет 0.70449 ± 10 , что выше, чем ($^{87}Sr/^{86}Sr$) карбонатитов (по нашим неопубликованным данным ~ 0.7032), и выше, чем ($^{87}Sr/^{86}Sr$)₀ рудных горизонтов (0.70371-0.70421 [11]).

3. Благодарности

Работа выполнена в рамках гранта № 18-17-00120 РФФИ. Аналитические работы выполнены в ЦКП Многоэлементных и изотопных исследований СО РАН.

4. Литература:

- [1] Le Bas M. J. Fenites associated with carbonatites //The Canadian Mineralogist, 2008, vol. 46. no. 4. pp. 915-932.
- [2] Elliott H. A. L., et al. Fenites associated with carbonatite complexes: A review //Ore Geology Reviews, 2018, vol. 93, pp. 38-59.
- [3] Udoratina O.V., et al. Manifestation of Early Permian pulse of ultrapotassic magmatism in Middle Timan // Bulletin of Moscow Society of Naturalists. Geological Series, 2016, vol. 91, part 2–3, pp. 29–35. (translated from English).
- [4] Shatskiy A., et al. Origin of K-rich diamond-forming immiscible melts and CO₂ fluid via partial melting of carbonated pelites at a depth of 180–200 km //Gondwana Research, 2019, vol. 75, pp. 154-171.
- [5] Lazareva E.V., et al., Main minerals of abnormally high-grade ores of the Tomtor deposit (Arctic Siberia) // Russian Geology and Geophysics, 2015, vol. 56, no.6. pp. 844–873.
- [6] Gladkochub D.P., et al. The Mesoproterozoic Udzha paleorift (Northern Siberian Craton): New data on age of basites, stratiigraphy, and microphytology // Dokl. Earth Sci., 2009, vol. 425, no. 2, pp. 371-377.
- [7] Lapin, A.V. (Ed.), Minerageny of Carbonatite Eluvium: A Handbook. GEOKART, GEOS, Moscow, 2011, 308 pp. (translated from English).
- [8] Entin, A.R., et al. Sequence of geological events related to the intrusion of the Tomtor massif of ultrabasic alkaline rocks and carbonatites (Northwestern Yakutia). Geologiya i Geofizika, 1990, vol. 31, no. 12, pp. 42–50. (translated from English).
- [9] Vladykin N.V., et al. Age boundaries of formation of the Tomtor alkaline–ultramafic pluton: U–Pb and ⁴⁰Ar/³⁹Ar geochronological studies // Dokl. Earth Sci., 2014, vol. 454, no. 1, pp. 7–11.
- [10] Travin A.V., et al., Thermochronology of the Chernorud granulite zone, Ol'khon region, Western Baikal area // Geochem. Intern., 2009, vol.47, no.11, pp. 1107-1124.
- [11] Pokrovsky B.G., et al. Isotope data on the origin of carbonatites and mineralized strata in the Tomtor intrusion, NW Yakutia: Geochem. Intern., 1990, vol. 33, pp. 93-101.

СЕЙСМИЧНОСТЬ И ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ПОЛЯ ТИМПТОНО-УЧУРСКОГО БЛОКА

Александр Макаров¹, Борис Козьмин¹, Сергей Шибаяев²

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

² Якутский филиал Федерального исследовательского центра «Единая
геофизическая служба РАН», 677000, Россия, г. Якутск, пр. Ленина, 39

SEISMISITY AND GEOPHYSICAL FIELDS OF THE TIMPTON-UCHUR BLOCK

Aleksandr Makarov¹, Boris Koz'min¹, Sergey Shibaev²

¹ Diamond and Precious Metals Geology Institute, Siberian Branch, Russian
Academy of Sciences, 39 Lenina ave., Yakutsk, 677000, Russia

² Geophysical Survey of the Russian Academy of Sciences, 39 Lenin ave.,
Yakutsk, 677000, Russia

Annotation. The Timpton-Uchur block which located on the territory of South Yakutia was researched. It had a special focus on Gonam earthquake which was 4th of January, 2014 with magnitude $M_S=5.7$. The analysis of seismic and geophysical fields and statistical calculation earthquake's parameters and its aftershocks was pursued.

1. Введение

Согласно картам сейсмического районирования ОСР-2015 Южная Якутия является наиболее сейсмоопасной частью территории РС(Я).

Для регистрации землетрясений здесь действует сеть из 8 цифровых сейсмостанций. Она позволяет фиксировать все события, начиная с $M \geq 2$. Обработка полученной информации производилась на основе метода засечек с помощью программы WSG. Вместе с тем, в настоящее время этот регион активно осваивается: функционируют предприятия по добыче полезных ископаемых, действуют нефтепровод ВСТО, газопровод «Сила Сибири», железная дорога и др., проектируются другие промышленные и гражданские объекты, поэтому для обеспечения сейсмостойкого строительства и безопасности местного населения требуется уточнение уровня сейсмичности, в особенности детальное изучение крупных

землетрясений: причины их возникновения комплексными методами интерпретации геофизических полей и анализа тектонических движений. Одним из таких событий является Гонамское землетрясение, которое локализовано в Тимптоно-Учурском блоке.

2. Сейсмичность, геофизические поля и тектонические особенности

Исследуемый район тяготеет к Алданскому нагорью и географически условно опоясан долинами рек Тимптон, Алдан и Учур. Он представляет фрагмент Алдано-Учурского плато, который ограничен с запада и востока – Тыркандинским, Учурским разломами, а с юга системой предстановых надвигов. Здесь выделяется ряд горных поднятий высотой 1500–2300 м субширотного простирания [1].

К главным сейсмогенерирующим структурам относятся: Иджекский, Гонамский, Тыркандинский и другие нарушения, образующие системы субпараллельных разломов с оперяющими разрывами. Самым протяженным региональным разломом является Тыркандинский дизъюнктив, который развивался, начиная с архея, и не потерял тектонической активности до настоящего времени. Он примыкает к центральному фрагменту Станового шва с севера в составе системы из северо-западных сдвигов [1], которые отчетливо прослеживаются на карте низкочастотной составляющей аномального поля ΔT [2] отрицательными значениями. Анализируется карта высокочастотной составляющей аномального поля Δg рассматриваемой территории [2], которая указывает на уменьшение плотности в юго-восточном направлении.

4 января 2014 г. в долине р. Гонам произошло землетрясение с $M=5,7$ с глубиной очага $h=10$ км, которое сопровождалось серией афтершоков ($N=92$). Повторные толчки зарегистрированы на глубинах $h=2-26$ км. Учитывая, что мощность земной коры здесь соответствует 60 км [3], то эти события являются коровыми т.к. произошли, в основном, в верхней части земной коры. В течении года наблюдалось естественное снижение количества землетрясений. Так в январе отмечается пик их количества ($N=51$), произошедших следом за главным толчком. Эпицентры афтершоков занимают площадь 1900 км^2 с шириной до 29 км и длиной до 65 км. Вся эпицентральная зона тяготеет к Тыркандинскому разлому и локализована в области высоких значений градиента скоростей новейших вертикальных тектонических движений ($\geq 2 \cdot 10^{-9} \text{ год}^{-1}$) [5]. Наибольший макросейсмический эффект в 6 баллов замечен в пос. Эльга,

расположенного в 120 км от эпицентра. «Облако» афтершоков распространялось в юго-восточном направлении относительно главного толчка. Установлены взаимосвязи между сейсмичностью, разломной тектоникой и геофизическими полями.

3. Выводы

Природа Гонамского землетрясения и его афтершоков обусловлена разрядкой тектонических напряжений на границе Евразийской и Амурской тектонических плит в следствии новейших тектонических движений, в пределах Центрально-Алданского и Тимптоно-Учурского блоков 1-го порядка. Установлена направленность развития афтершокового процесса. Таким образом, доказывается высокая активность рассматриваемого блока и его повышенный сейсмический потенциал.

4. Благодарности

Исследование выполнено по госзаданию ИГАБМ СО РАН 0381–2020–0001, при поддержке РФФИ проект 19–05–00062.

5. Литература:

- [1] V.S. Imaev, L.P. Imaeva, B.M. Koz'min, V.V. Nikolaev, and R.M. Semenov. Buffer Seismogenic Structures between the Eurasian and Amur Lithospheric Plates in southern Siberia // *Tikhookean. Geol.*, 2003 , vol. 22, no. 6. pp. 55-61.
- [2] Yu.F. Malyshev, Yu.F. Manilov, V.A. Gur'yanov. Deep structure of the eastern North Asian Craton from results of geopotential field data interpretation // *J. Lithosphere.* 2014, no. 2. pp.144-151. (In Russ.).
- [3] V.D. Suvorov, Z.A. Kornilova. The deep structure of the Aldan shield according to the seismology of close earthquakes/ *Geology and Geophysics*, 1985, no. 2, pp. 86-93.
- [4] S.V. Shibaev, B.M. Koz'min, A.F.Petrov. Yakutia//*The earthquakes of Russia in 2014.* Obninsk: GS RAS, 2016. pp. 51-55.
- [5] L.M. Parfenov, B.M. Koz'min, V.S. Imaev / *Geodynamics of Olekmo-Stanovaya seismic zone.* Yakutsk. Yakutia branch of the USSR Acad. Sci, 1985. 136 p.

ФИЛОГЕНИЯ РОДА *JAKUTOPRODUCTUS* ВЕРХОЯНЬЯ

Виктор Макошин

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

PHYLOGENY OF THE GENUS *JAKUTOPRODUCTUS* OF THE VERKHOYANSK REGION

Viktor Makoshin

Diamond and Precious Metals Geology Institute, Siberian Branch, Russian
Academy of Sciences, 39 Lenina ave., Yakutsk, 677000, Russia

Annotation. As a result of the study of the extensive material of the *Jakutoproductus* collected in the reference sections of the Verkhoynsk Region, a scheme of the alleged phylogenetic development based on morphological changes was developed. The species *Jakutoproductus tatjanae* Abramov et Grigorjeva is the parent species for three phylogenetic branches developing in parallel: *J. tatjanae* → *J. protoverkhoyanicus* → *J. talchanensis*; *J. tatjanae* → *J. verkhoyanicus* → *J. lenensis* → *J. insignis* → *J. terechovi* → *J. rugosus* u *J. tatjanae* → *J. crassus*.

1. Введение

Продуктиды рода *Jakutoproductus* хорошо узнаваемы и широко распространены в верхнепалеозойских отложениях Северо-Востока Азии. Представители рода индексируют зоны (лоны) и слои с брахиоподами в верхнепалеозойских отложениях Северо-Востока России: *J. tatjanae*, *J. protoverkhoyanicus*, *J. verkhoyanicus*, *J. talchanensis*, *J. lenensis* в Верхоянье [1; 2; 3] *J. insignis*, *J. terechovi*, *J. rugosus* в Верхоянье и Колымо-Омолонском регионе [1; 2; 3; 4; 5; 6] *J. burgaliensis* в Колымо-Омолонском регионе [2; 4; 5; 6].

Несмотря на широкое стратиграфическое и географическое распространение якутопродуктусов в регионе филогения рода остается слабо изучена. В связи с этим целью настоящей работы является построение филогении рода *Jakutoproductus* Верхоянья.

2. Основной раздел

Первая схема филогенетического развития рода *Jakutoproductus* была разработана Г.В. Котляр [7]. Однако следует отметить, что на тот момент не было известно о большинстве выделенных видов рода *Jakutoproductus*, а также еще не был обособлен род *Verchojania*.

В схеме Г.В. Котляр виды *Jakutoproductus cheraskovi* Kaschirzew, *J. maslennikovi* Kotljар, *J. taimyrensis* Ustritsky по ряду морфологических признаков следует относить к роду *Verchojania*. А вид *J. chaoi* (Grabau) не относится к якутопродуктусам. Вид *V. taimyrensis* (Ustritsky) по наличию в передней части брюшной створки нескольких рядов прямых игл с кольцевыми валиками в основании, тонкой правильной концентрической морщинистости, дорсальных игл, большого количества игл брюшной створки не может быть переходным между видами *V. cheraskovi* (Kaschirzew) и *J. verkhojanicus* (Fredericks).

В результате изучения обширного материала якутопродуктусов (более 2000 экземпляров), собранных в опорных разрезах Верхоянья, была разработана схема предполагаемого филогенетического развития, основанная на морфологических изменениях.

Самым древним видом рода *Jakutoproductus* является *J. tatjanae* Abramov et Grigorjeva, который отделился от вида *Verchojania cheraskovi* (Kaschirzew) на рубеже среднего и верхнего карбона. У *J. tatjanae* Abramov et Grigorjeva отсутствуют дорсальные иглы, что является характерным признаком для рода *Jakutoproductus*.

Вид *J. tatjanae* Abramov et Grigorjeva является исходным для трех параллельно развивавшихся филогенетических ветвей: *J. tatjanae* → *J. protoverkhojanicus* → *J. talchanensis*; *J. tatjanae* → *J. verkhojanicus* → *J. lenensis* → *J. insignis* → *J. terechovi* → *J. rugosus* и *J. tatjanae* → *J. crassus*.

В позднекыгылтасское время от *Jakutoproductus tatjanae* Abramov et Grigorjeva отделился короткоживущий вид *J. protoverkhojanicus* Kaschirzew. Изменения коснулись увеличения ширины раковины, усиления степени выпуклости брюшной створки и выраженности синуса, сокращения количества пустул брюшной створки, утолщения концентрических морщин и исчезновения в передней части брюшной створки прямых игл с кольцевыми валиками в основании.

На рубеже кыгылтасского и хорокытского времени *J. protoverkhojanicus* Kaschirzew сменился видом *J. talchanensis* Makoshin, который приобрел более крупные размеры раковины, более выпуклую брюшную створку, более широкий, но менее глубокий синус, а также более длинный шлейф.

В начале хорокытского времени от *Jakutoproductus tatjanae* Abramov et Grigorjeva отделился относительно долгоживущий вид *J. crassus* Kaschirzew. Новый вид существенно увеличился в размерах раковины, выпуклости брюшной створки, усилился синус, концентрические морщины стали более грубыми и извилистыми.

В самой продолжительной филогенетической ветви рода *Jakutoproductus* на рубеже карбона и перми произошла смена *J. tatjanae* Abramov et Grigorjeva видом *J. verkhoyanicus* (Fredericks). Новый вид увеличился в размерах, синус стал более развитым, концентрические морщины стали более толстыми и извилистыми, уменьшилось количество прямых игл с кольцевыми валиками в основании в передней части брюшной створки.

В позднехорокытское время от *Jakutoproductus verkhoyanicus* (Fredericks) отделился вид *J. lenensis* Makoshin. У потомка увеличались: размер, степень выпуклости брюшной створкой, длина шлейфа; при этом произошло ослабление синуса и сокращение количества прямых игл с кольцевыми валиками в основании в передней части брюшной створки.

На рубеже хорокытского и эчийского времени *Jakutoproductus lenensis* Makoshin сменился видом *J. insignis* Abramov et Grigorjeva. Вид претерпел сокращение количества прямых игл с кольцевыми валиками в основании в передней части брюшной створки, усиление синуса, увеличение размеров и степень выпуклости брюшной створки.

В начале эчийского времени от *Jakutoproductus insignis* Abramov et Grigorjeva отделился вид *J. terehovi* Zavodowsky. В процессе морфогенеза у нового вида брюшная створка стала менее выпуклая, синус стал менее развит, в передней части брюшной створки в районе синуса появился язычок, концентрические морщины стали более извилистыми, прямые иглы с кольцевыми валиками в основании в передней части брюшной створки исчезли.

В дальнейшем филогенезе рода *Jakutoproductus* от *J. terehovi* Zavodowsky произошел вид *J. rugosus* Ganelin, у которого уменьшилась степень выпуклости брюшной створки и исчез язычок в передней части створки.

3. Выводы

В результате детального монографического изучения обширного материала якутопродуктусов была разработана схема предполагаемого филогенетического развития. Вид *J. tatjanae* Abramov et Grigorjeva является исходным для трех параллельно развивавшихся

филогенетических ветвей: *J. tatjanae* → *J. protoverkhoyanicus* → *J. talchanensis*; *J. tatjanae* → *J. verkhoyanicus* → *J. lenensis* → *J. insignis* → *J. terechovi* → *J. rugosus* и *J. tatjanae* → *J. crassus*. Разработанная схема легла в основу зональной шкалы ассельско-сакмарских отложений Верхоянья по брахиоподам [3].

4. Благодарности

Работа выполнена по государственному заданию ИГАБМ СО РАН и при финансовой поддержке РФФИ (грант 18-05-00191).

5. Литература:

- [1] Klets, A.G., (Upper Paleozoic of the Marginal Seas of Angarida. Novosibirsk: Akad. Izd. "GEO", 2005, 241 pp.
- [2] Resolutions of the 3rd Interdepartmental Regional Stratigraphic Conference Devoted to Precambrian, Paleozoic, and Mesozoic of the Northeastern Russia (St. Petersburg, 2002). St. Petersburg: Vseross. Nauchno-Issled. Geol. Inst., 2009, 268 pp.
- [3] Makoshin, V.I. and Kutugin, R.V., Asselian-Sakmarian (Lower Permian) Brachiopod Zonation of the Verkhoyansk Region (North-East Russia), *Stratigr. Geol. Correl.*, 2020, no. 7 (in press).
- [4] Ganelin, V.G., The Main Features of the Stratigraphy of the Permian System of USSR // *Tr. Vses. Nauchno-Issled. Geol. Inst. (VSEGEI)*, vol. 286, Leningrad: Nedra, 1984, pp. 111–123.
- [5] Ganelin, V.G., The genus *Jakutoproductus* Kaschirzew (Brachiopoda) from the northeastern USSR // *Ezhegodn. Vsesoyuzn. Paleontol. Ob-va*, 1991, vol. 34, pp. 41–62.
- [6] Ganelin, V.G., Biakov, A.S., and Karavaeva, N.I., Some theoretical problems of stratigraphy and the Permian stratigraphic scale of northeastern Asia // *Puti detalizatsii stratigraficheskikh skhem i paleogeograficheskikh rekonstruktsii*, Moscow: GEOS, 2001, pp. 194–209.
- [7] Kotlyar, G.V. and Popeko, L.I., Biostratigraphy, bryozoans and brachiopods of the Upper Paleozoic Transbaikalian Region // *Zap. Zabaik. Fil. Geogr. Ob-va SSSR*, 1967, vol. 28, pp. 1–324.

УДК 552.3

АЛТАХТИНСКИЙ ИНТРУЗИВНЫЙ КОМПЛЕКС (БУРЕЙНСКИЙ МАССИВ)

Елена Нигай, Валентин Гурьянов

ФГБУН Институт тектоники и геофизики им. Ю.А. Косыгина ДВО РАН,
Россия, г. 680000, Хабаровск, ул. Ким Ю Чена, 65

ALTAKHTA INTRUSIVE COMPLEX (BUREYA MASSIF)

Elena Nigai, Valentin Guryanov

Yu.A. Kosygin Institute of Tectonics and Geophysics, Far Eastern Branch,
Russian Academy of Sciences, 65 Kim-Yu-Chena st., Khabarovsk, 680000,
Russia

Annotation. U-Pb zircon dating of rock samples from the Altakhta Intrusive Complex has yielded an age of 224.9 ± 2.4 for leucogranite porphyry and $235.3 \pm 2.9 - 230$ Ma for granosyenite (Late Triassic). The distribution of intrusive formations of the Altakhta Complex, which are syenites, granosyenites, alkaline and normal granites, dykes of pegmatites, syenite-porphyry, granosyenite-porphyry, grorudite, bostonite, and solvsbergite, is confined to the northeast-trending Mel'ginsky, Sularinsky, Chepkansky, Chergilensky, Yanyrsky, Pribureinsky, and Bureinsky faults. Such minerals as aegirine, riebeckite, and arfvedsonite are characteristically present in the rocks of the Altakhta Complex.

1. Введение

Районом исследований является восточная часть Буреинского массива. Цель исследований – выяснение главных особенностей алтахтинского комплекса.

Раннемезозойские магматические образования восточной части Буреинского массива представлены пермско-триасовым тырмо-буреинским, поздне триасовым алтахтинским и триасово-юрским харинским интрузивными комплексами. Характерной особенностью этих трех комплексов является присутствие в их составе субщелочных гранитов и лейкогранитов (*тырмо-буреинский и харинский комплексы*), а также щелочных сиенитов, сиенит-порфиров, пегматитов и субщелочных

граносиенитов, кварцевых сиенитов (*алтаhtинский комплекс*), с которыми ассоциируют такие виды минерализации, как редкометалльно-редкоземельная, молибден-уран-оловорудная, уран-ториевая.

Методы исследований: сбор и обработка геологических материалов по алтаhtинскому комплексу, включая анализ фондовых, опубликованных и собственных данных по возрасту, геологии, петрографии и петрохимии; петрохимические расчеты и построение диаграмм.

2. Возраст, петрография, особенности размещения

В бассейне р. Талая породы алтаhtинского комплекса прорывают субвулканические карбон-пермские амганские трахиандезит-базальт-риолиты, а сами алтаhtинские интрузии прорываются харинскими гранитами с установленным триасово-юрским возрастом (T_3-J_1), из чего следует, что породы алтаhtинского комплекса относятся к триасу.

Изотопный уран-свинцовый возраст по цирконам, отобранным из пород комплекса, по данным Н.Н. Петрук с соавторами определялся в следующих значениях: 227, 230, 252 и 260 млн лет [3].

В 2018 г. из лаборатории ЦИИ ВСЕГЕИ (г. Санкт-Петербург) получены новые данные по уран-свинцовому изотопному датированию по цирконам из пород алтаhtинского комплекса. Они составляют для лейкогранит-порфиоров $224,9 \pm 2,4$ млн лет; а для граносиенитов $235,3 \pm 2,9$ - 230 млн лет, что соответствует *позднему триасу* [1].

В ходе определений возраста субщелочных граносиенитов, относимых ранее к алтаhtинскому комплексу, выяснилось, что породы, слагающие интрузивные массивы в бассейне среднего течения р. Буряя, приуроченные к Прибуреинскому разлому, имеют гораздо более молодой возраст, укладывающийся в интервал $196 \pm 2,0$ - $200 \pm 3,5$ млн лет (ЦИИ ВСЕГЕИ, 2018). В связи с этим они *переведены в харинский комплекс*.

Особый интерес представляет интрузивный массив устья р. Бол. Аимка и Мал. Аимка, вблизи их впадения в р. Ниман, изучавшийся ранее В.Г. Гоневчуком и др. [2]. Он сложен гранитами, по целому ряду признаков отличающихся от типичных харинских гранитов: имеют гораздо более высокую степень агпайтности, в них доминирует щелочной характер пород, отмечается преобладание K_2O над Na_2O . Определяются они преимущественно как анорогенные внутриплитные граниты А-типа. Важно, что установленный их возраст в 225-235 млн лет (К-Аг метод определения по биотиту, мусковиту и роговой обманке) [2] совпадает с позднетриасовым этапом магматизма алтаhtинского комплекса. В связи с этим они рассматриваются нами как *породы алтаhtинского комплекса*.

Сиениты, граносиениты, сиенит-порфиры, а также жильные тела грорудитов (с включениями удлиненных зерен *амфибола-рибекита* и *эгирина*) - это массивные розовато-кремовые породы, содержащие в основном калиевый полевой шпат (80-90 %) и кислый плагиоклаз (1-3 %). Кварц отсутствует или наблюдается в количестве 5-6 %, редко до 10 %. Роговая обманка и биотит присутствуют в единичных зернах и в сумме иногда достигают 5-6 %. Подчиненное значение имеют серые среднезернистые *сиениты*, отличающиеся повышенным содержанием *роговой обманки* (15-20 %). В кварцевых сиенитах щелочного типа резко преобладает калиевый полевой шпат. В основном на долю кислого плагиоклаза и кварца приходится не более 8-10 %. *Эгирин* и *арфведсонит* присутствуют в количестве 5-6 %. Акцессорные минералы представлены цирконом, а также сфеном, ксенотимом, апатитом и ортитом. Жильная фация, мощностью до 5-6 м, редко до 10 м, состоит в основном из сиенит-порфиров, граносиенит-порфиров, грорудитов и сельвсбергитов.

Самым распространенным минералом комплекса является *микроклин-пертит* (60-70 %). Содержание кварца в сиенитах составляет всего 2-3 %, достигая 20-30 % в гранитах [1].

Щелочные сиениты алтаhtинского комплекса характеризуются высокими содержаниями щелочей, от 9,3 до 11,5 % и более (одна проба содержит 12,4 %). В субщелочных граносиенитах содержание оксидов натрия и калия составляет 8,3-10,2 %, а их соотношения примерно равны. В пробе из граносиенитов отношение $K_2O:Na_2O = 1:1$. Иногда наблюдаются отклонения в виде небольшого преобладания натрия над калием в породах более основного состава и преобладания калия над натрием в субщелочных лейкогранитах.

Интрузивные массивы алтаhtинского комплекса размещаются вдоль западных окраин Кындальской впадины, Буреинского прогиба и, далее, к юго-западу от них, вдоль зоны крупного глубинного Мельгинского разлома и более мелких Прибуреинского, Буреинского, Чепканского, Суларинского и Чергиленского разломов, ориентированных в том же северо-восточном направлении. Наибольшее распространение образования комплекса имеют в бассейнах рек Суларин, Мельгин, в верховьях рек Талая и Туон и низовьях рек Бол. Аимка и Мал. Аимка (бассейн р. Ниман), занимая значительную часть бассейна среднего течения р. Буря.

Магматические породы комплекса образуют небольшие изометричные массивы (Алтаhtинский, Аллинский и др.) и трещинные интрузии, вытянутые тремя цепочками в северо-восточном направлении. Интрузии

прорывают метаморфизованные осадочные толщи докембрийских кристаллических сланцев и раннепалеозойские биотитовые и двуслюдяные граниты кивилийского и суларинского комплексов, девон-пермские вулканиты амганского и пермско-триасовые гранитоиды тырмобуреинского интрузивного комплекса. Перекрываются они вулканитами таловского комплекса и прорываются гранитами харинского интрузивного комплекса, а также малыми интрузиями диоритовых порфириров и многочисленными дайками диорит-порфириров иороханского комплекса.

Линейно вытянутые интрузии и небольшие штокообразные тела алтахтинского комплекса тяготеют к разломам той же северо-восточной ориентировки.

3. Выводы

Установлен поздне триасовый возраст алтахтинского комплекса по полученным изотопно-геохронологическим методам исследований цирконов из пород комплекса. Он составляет для лейкогранит-порфириров $224,9 \pm 2,4$ млн лет; для граносиенитов – $235,3 \pm 2,9 - 230$ млн лет. В породах алтахтинского комплекса, сложенных в основном сиенитами и граносиенитами, доминирующим минералом является микроклин-пертит. В постоянных количествах присутствуют такие щелочные минералы, как эгирин, рибекит и арфведсонит. Основной особенностью размещения поздне триасовых интрузивных образований алтахтинского комплекса является приуроченность их к глубинному Мельгинскому и к более мелким коровым разломам - Буреинскому, Прибуреинскому, Чепканскому, Чергиленскому и Суларинскому.

4. Литература:

- [1] Арапов В.Н., Amelin S.A. Explanatory Note to the State Geological Map of the Russian Federation, scale 1: 200000. Second Edition. Bureinskaya Series. Sheet M-52-XII. Ed. G.V. Roganov. St. Petersburg: Kartfabrika VSEGEI. 2018. 283 pp.
- [2] Gonevchuk V.G., Gonevchuk G.A. East Bureya granite belt (Triassic). In: Geodynamics, Magmatism and Metallogeny of the East of Russia. Ed. A.I. Khanchuk. Vladivostok: Dal'nauka. 2006. Pp. 242-247.
- [3] Petruk N.N., Volkova Yu.R., Shilova N.M. et al. Explanatory Note to the State Geological Map of the Russian Federation (Third Generation). Scale 1: 1 000 000. Dal'nevostochnaya Series. Sheet M-52. Blagoveshchensk. / Ch. ed. A.S. Volsky. St. Petersburg: Kartfabrika VSEGEI. 2012. 496 pp.

УДК 550.84:553.41

СОСТАВ ИНТРУЗИВНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ БАЛЫГЫЧАНО-СУГОЙСКОГО ПРОГИБА (МАГАДАНСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Марина Петрова

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

THE COMPOSITION OF THE INTRUSIVE FORMATIONS OF THE NORTHERN PART BALYGYCHAN-SUGOI RIFT STRUCTURE (REGION MAGADAN)

Marina Petrova

A.P. Karpinsky Russian Geological Research Institute,
74 Sredny ave., St. Petersburg, 199106, Russia

Annotation. Petrological and geochemical features of intrusions of the northern part of the Balygychan-Sugoi rift structure are considered. The geodynamic conditions of their appearance are described.

1. Введение

Структура Балыгычано-Сугойского (Омсукчанского) рифтогенного прогиба рассматривается как ответвление Охотско-Чукотского вулканического пояса (ОЧВП) [1 и др.], так и в качестве самостоятельной структуры [2]. Изучение петролого-геохимических и изотопно-геохимических характеристик приуроченного к ней интрузивного магматизма свидетельствует о его связи с образованиями пояса. Ниже Рассмотрены магматические комплексы северной, наиболее удаленной от пояса части Балыгычано-Сугойского прогиба. Впервые для данной территории получена геохимическая характеристика интрузивных образований, сделаны выводы о геодинамической обстановке формирования изученных пород.

2. Объекты исследования

Нягаинская впадина – северная, наименее изученная на сегодняшний день, часть Балыгычано-Сугойского прогиба, расположенного в междуречье крупных правых притоков Колымы рек Балыгычан и Сугой. Впадина выполнена вулканитами и континентальными терригенными образованиями раннемелового возраста, перекрытыми вулканитами позднемелового возраста. Фундамент прогиба слагают дислоцированные структуры Яно-Колымской складчатой системы, сложенные пермскими, триасовыми и юрскими терригенными породами верхоянского комплекса. Конформно структуре прогиба, в западном его обрамлении образования фундамента секут многочисленные дайкообразные тела основного-среднего состава позднеюрского-раннемелового мандычанского комплекса.

Более крупные плутоны габбро-гранитового и лейкогранитового состава сосредоточены в южной части Нягаинской впадины и отчасти в ее восточном обрамлении, отнесены к позднемеловым наяханскому и омсукчанскому комплексам соответственно. Они интрузируют как образования верхоянского комплекса, так и в разной степени деформированные раннемеловые вулканические комплексы.

Интрузивные образования формировались в последовательном эволюционном ряду магматических комплексов структуры Омсукчанского рифта. Составы пород перечисленных комплексов образуют непрерывный тренд от габбро и монцогаббро до лейкогранитов с щелочностью натриевого и калиево-натриевого типа с преобладанием Na_2O над K_2O , индекс глиноземистости $1 < \text{ASI} < 2$. По содержаниям K_2O большая часть пород относится к высококалиевой известково-щелочной серии, в меньшей степени к известково-щелочной.

Рассматриваемые породы имеют умеренные, до высоких, суммарные содержания редкоземельных элементов (РЗЭ), их сумма варьирует в широких пределах (97,7–269,4 г/т). Для рассматриваемых пород в целом характерны фракционированные спектры распределения РЗЭ (Рисунок 1а) с обогащением в легкой и обеднением в тяжелой части ($\text{LaN/YbN} = 8.9 - 23.25$). Лейкограниты омсукчанского комплекса выделяются близким к горизонтальному распределению в тяжелой части и более глубокой ярко выраженной отрицательной Eu-аномалией. Спайдерграммы пород описанных комплексов (Рисунок 1б) отражают обогащение крупноионными литофильными элементами относительно

высокозарядных, для всех пород наблюдаются максимумы Pb, Th-U, минимумы Nb, Ta, P, Ti разной интенсивности.

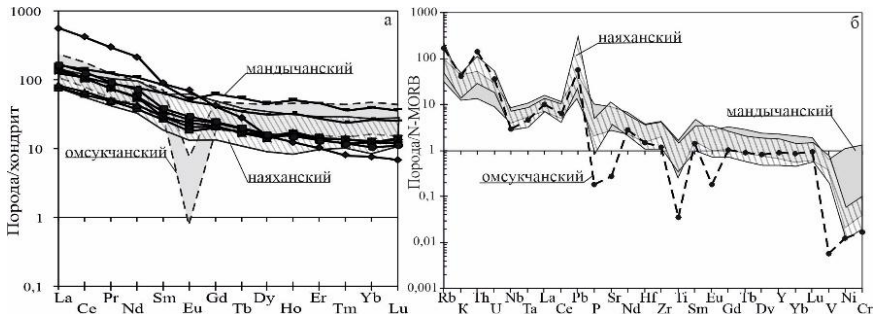


Рисунок 1. а) хондритнормированные распределения РЗЭ [3]; б) спайдер-диаграмма нормированные на N-MORB [3] для интрузивных образований Няганской впадины

Для серии в целом с повышением содержаний кремнезема характерно различие в поведении крупноионных литофилов: накопление Rb и K на фоне резкого снижения Sr; обеднение практически всеми элементами-примесями, за исключением наименее подвижных тяжелых РЗЭ, а также увеличение содержаний U и Th. Наиболее интенсивное снижение концентраций отмечается для Ti, Eu, P и когерентных элементов (V, Ni, Cr).

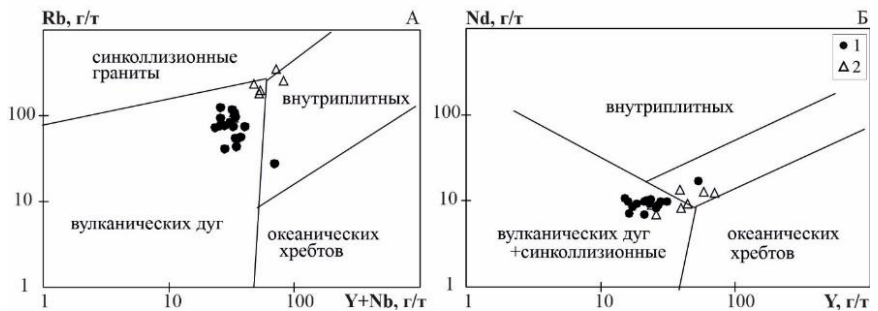


Рисунок 2. Диаграммы (А) Rb–(Y + Nb), (Б) Nb–Y [4] для для позднемеловых гранитоидов Няганской впадины 1 – наяоханский; 2 – омсуханский комплексы

На диаграммах Дж. Пирса с соавторами Rb–(Y + Nb) и Y–Nb [4], используемых для разделения гранитоидов по геодинамическим

обстановкам формирования (рисунок. 2), фигуративные точки составов гранитоидов наяханского комплекса преимущественно располагаются внутри поля гранитов вулканических дуг, точки составов гранитоидов омсукчанского комплекса группируются в области между полями гранитов вулканических дуг и внутриплитных гранитов.

3. Выводы

Распределение элементов-примесей в породах описанной серии характеризуется смешением параметров внутриплитного и надсубдукционного магматизма. Геохимические особенности свидетельствуют о глубинном источнике исходного базальтоидного расплава, эволюция которого определялась контаминацией коровым веществом. Образования позднеюрского-раннемелового мандычанского комплекса маркируют начальный этап формирования рифтогенной структуры. Внедрение гранитоидов происходило в позднем мелу (84-85 млн лет, сантон), синхронно с ОЧВП. Геохимические особенности рассмотренных позднемеловых гранитоидов наяханского комплекса, в частности выраженный Ta-Nb минимум, относительно высокие концентрации свинца и обогащение крупноионными элементами предполагают их связь с набсубдукционными обстановками.

4. Литература:

- [1] Geodynamics, magmatism and metallogeny of the East of Russia / edited by A.I. Khanchuk. kN. 1. Vladivostok: Dalnauka, 2006. Pp. 1-572. Tikhomirov P.L. Cretaceous marginal-continental magmatism of North-East Asia and questions of Genesis of the largest Phanerozoic provinces of silicic acid volcanism. Dissertation for the degree of doctor of geological and mineralogical Sciences M., - 2018
- [2] Kuznetsov V.M., Livach A.E. Structure and metallogenic zoning of the Balygychan -Sugoisk deflection // Problems of metallogeny of ore districts of the North- East of Russia. Magadan: SVKNII Feb RAS, 2005. Pp. 156-177.
- [3] McDonough W.F., Sun S.S. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes // Geol. Soc. London. Spec. Publ. 1989. Vol. 42. P. 313–345.
- [4] Pearce J.A., Harris N.B.W., Tindle A.G. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks // J. Petrol. 1984. Vol. 25. № 4. P. 956–983.

УДК 550.8:551.2

**ПОЗДНЕМЕЗОЗОЙСКИЕ ОСАДОЧНЫЕ БАССЕЙНЫ
ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ КОЛЫМО-ОМОЛОНСКОГО
МИКРОКОНТИНЕНТА И ИХ СВЯЗЬ
С МАГМАТИЧЕСКИМИ ПОЯСАМИ ВОСТОЧНО-
АЗИАТСКОЙ АКТИВНОЙ КОНТИНЕНТАЛЬНОЙ
ОКРАИНЫ**

Андрей Прокопьев¹, Виктория Ершова², Даниель Стокли³

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

² ФГАОУ ВО Санкт-Петербургский государственный университет,
Институт наук о Земле, 199034, Россия, г. Санкт-Петербург,
Университетская наб., 7-9

³ Jackson School of Geoscience, University of Texas at Austin, USA

**LATE MESOZOIC SEDIMENTARY BASINS IN THE
EASTERN PART OF THE VERKHOYANSK-KOLYMA
MICROCONTINENT AND THEIR RELATIONSHIP WITH
MAGMATIC BELTS OF THE EAST ASIAN ACTIVE
CONTINENTAL MARGIN**

Andrey Prokopiev¹, Victoria Ershova², Daniel Stockli³

¹ Diamond and Precious Metals Geology Institute, Siberian Branch, Russian
Academy of Sciences, 39 Lenina ave., Yakutsk, 677000, Russia

² Saint Petersburg State University, Institute of Earth Sciences, 7-9,
Universitetskaya nab., St. Petersburg, 199034, Russia

³ Jackson School of Geoscience, 2305 Speedway Stop C1160, Austin, Texas,
78712, USA

Annotation. U-Pb dating of detrital zircons from Jurassic and Cretaceous sandstones in the southern Prikolyma terrane, northern Sugoi synclinorium, and in the northern branch of the Omsukchan basin (eastern part of the Kolyma-Omolon microcontinent) revealed the most probable provenances of clastics for these strata. For Cretaceous rocks these are volcanic rocks of Uyandina-Yasachnaya arc and granitoids of the southeastern flank of the Main (Kolyma) batholith belt, and

volcaniclastic rocks of the Okhotsk-Chukotka volcanic-plutonic belt. The sources for the Middle and Upper Jurassic sequences felsic magmatic rocks unknown in this part of the Verkhoyansk-Kolyma fold belt. The data obtained suggest the presence of Early to Middle Jurassic volcanic-plutonic rocks now concealed beneath deposits of the Cretaceous Okhotsk-Chukotka volcanic-plutonic belt and further support the existence of the Koni-Murgal arc forming part of the East Asian active continental margin in the Early-Middle Jurassic.

1. Введение

В восточной части Колымо-Омолонского микроконтинента (восток Верхояно-Колымской складчатой области) южнее Приколымского и Омолонского террейнов вскрываются мощные юрские морские терригенные толщи Сугойского синклиория, расположенного на восточном продолжении Иньяли-Дебинского синклиория. Они перекрываются меловыми вулканогенно-осадочными породами Омсукчанского прогиба Охотско-Чукотского вулканоплутоического пояса и прорваны плутонами гранитоидов позднеюрского и позднемелового возраста. Юрские и меловые отложения подстилаются мощными толщами триаса и интенсивно деформированы. Район исследований располагается в непосредственной близости к Восточно-Азиатской активной континентальной окраине. В ее позднепалеозойско-раннемезозойской эволюции различными авторами предполагается присутствие серии окраинно-континентальных магматических дуг [напр. 6, 10], доказательства существования которых на юге Восточно-Азиатской активной континентальной окраины есть только для позднеюрско-раннемеловой Удской (Удско-Мургальской) и Охотско-Чукотской (альб-поздний мел). В процессе экспедиционных работ 2017 года на севере Сугойского синклиория, северной ветви Омсукчанского прогиба и в южной части Приколымского террейна были отобраны шесть образцов песчаников из юрских и меловых толщ (согласно [13]), извлечена тяжелая фракция и проведено U-Pb-датирование (LA-ICP-MS) обломочных цирконов в аналитическом центре Университета штата Техас (г. Остин, США).

2. Результаты и их интерпретация

1. Во всех изученных образцах зерна докембрийского возраста представлены единичными кристаллами.

2. В песчаниках средней и верхней юры возрастной спектр обломочных цирконов очень близок. Около 85% зерен образуют возрастные пики 168–171 млн лет. Вторые по интенсивности пики имеют возраст 190–192 млн лет. Отмечаются единичные зерна с возрастными около 288–334 и 350–434 млн лет.

3. В нижнемеловом песчанике севера Омсукчанского прогиба более 60% обломочных цирконов образуют главный возрастной пик в 145 млн лет; менее значимые пики соответствуют возрастам 130, 160 и 182 млн лет. Отмечаются единичные зерна с возрастными около 240, 320–410 млн лет.

4. В двух образцах, отобранных из считавшихся ранее согласно данным среднемасштабного геологического картирования [13] позднекаменноугольно-раннепермских вулканогенно-осадочных пород, более 75% обломочных цирконов имеют позднеюрский (возрастные пики 150–156 млн лет) и позднемеловой (возрастные пики 87–90 млн лет) возраста при небольшом количестве силур-раннекаменноугольных (310–445 млн лет) цирконов. Возраст самых молодых зерен показывает как минимум позднемеловой, а не позднепалеозойский возраст этих отложений [9]. Эти толщи могут принадлежать Омсукчанскому прогибу, на северном продолжении которого они вскрываются.

Основными вероятными источниками сноса обломочного материала для изученных меловых пород являлись вулканиты Уяндино-Ясачненской дуги [8] и гранитоиды юго-восточного фланга Главного (Колымского) батолитового пояса [2, 7], вулканогенно-осадочные толщи Охотско-Чукотского вулканоплутонического пояса [1]. Для средне- и верхнеюрских толщ основными источниками могли быть ранне- и среднеюрские кислые магматические образования, неизвестные в этой части Верхояно-Колымской складчатой области. Эти данные могут указывать на возможное присутствие вулканоплутонических пород ранне-среднеюрского возраста, скрытых в настоящее время под образованиями мелового Охотско-Чукотского вулканоплутонического пояса и являться подтверждением существования ранее предполагавшейся здесь Кони-Мургальской дуги [напр. 6] в составе Восточно-Азиатской активной континентальной окраины.

Потенциальными источниками цирконов с возрастными 350–434 млн лет могли быть средне-позднепалеозойские надсубдукционные вулканиты кедонского комплекса Северо-Охотской активно-континентальной дуги, широко распространенные на Омолонском террейне [напр. 5] и силурийские сиениты и граниты [14]. Происхождение небольшого

количества обломочных цирконов с возрастaми 288–334 млн лет не ясно. Их поступление в юрско-меловой бассейн осадконакопления может быть связано с размывом каменноугольно-пермских магматических образований, также предполагаемых в составе Кони-Мургальской дуги [напр. 6]. Присутствие лишь единичных зерен позднепермского возраста свидетельствует, что вулканогенные породы предполагаемой Охотско-Тайгоносской дуги [3, 4] в это время не размывались.

3. Благодарности

Исследование выполнено по плану НИР ИГАБМ СО РАН (проект 0381-2019-0001), при частичной поддержке гранта РФФИ № 19-05-00945.

4. Литература:

- [1] Akinin V.V., Miller E.L. Evolyutsiya izvestkovo-shchelochnykh magm Okhotsko-Chukotskogo vulkanogenного пояса // Petrologiya. 2011. Т. 19. № 3. S. 249–290.
- [2] Akinin V.V., Prokop'ev A.V., Toro Kh., Miller E.L., Vuden Dzh. Goryachev N.A., Al'shevskii A.V., Bakharev A.G., Trunilina V.A. U-Pb-SRIMP-vozrast granitoidov Glavnogo batolitovogo пояса (SV Azii) // Dokl. RAN. 2009. Т. 426. № 2. S. 216–221.
- [3] Byakov A.S., Vedernikov I.L., Akinin V.V. Permskie diamiktity Severo-Vostoka Azii i ikh veroyatnoe proiskhozhdenie // Vestnik SVNTs DVO RAN. 2010. № 1. S. 14–24.
- [4] Byakov A.S., Goryachev N.A., Vedernikov I.L., Bryn'ko I.V., Tolmacheva E.V. Novye rezul'taty U-Pb-SHRIMP-datirovaniya tsirkonov iz verkhnevuchapinskikh (verkhnyaya perm') otlozhenii severo-vostoka Rossii // Dokl. RAN. 2017. Т. 477. № 3. S. 331–336.
- [5] Gagieva A.M., Zhulanova I.L. Geokhronometriya sredne-paleozoiskikh vulkanitov Omolonskogo massiva: сопоставление K-Ar, Rb-Sr, U-Pb данных и геологическая интерпретация (Северо-Восток Азии) // Tikhookeanskaya geologiya. 2011. Т. 30. № 3. S. 3–19.
- [6] Parfenov L.M. Kontinental'nye okrainy i ostrovnye dugi mezozoid Severo-Vostoka Azii. –Novosibirsk: Nauka, 1984. 192 s.
- [7] Prokop'ev A.V., Toro Kh., Miller E.L., Vuden Dzh., Trunilina V.A., Bakharev A.G. Granitoidy Glavnogo batolitovogo пояса (Северо-Восток Азии): новые U-Pb SHRIMP геохронологические и геохимические данные // Тектоника и металлогения Северной Тсиркум-Пацифики и Восточной Азии. Khabarovsk: ITiG DVO RAN, 2007. S. 286–288.

- [8] Prokop'ev A.V., Bakharev A.G., Toro Kh., Miller E.L. Tas-Kystabytskii magmaticheskii poyas (severo-vostok Azii): pervye U-Pb (SHRIMP) i Sm-Nd dannye // Granity i evolyutsiya Zemli: geodinamicheskaya pozitsiya, petrogenesis i rudonosnost' granitoidnykh batolitov. Ulan-Ude: Izd-vo BNTs SO RAN, 2008. S. 305–308.
- [9] Prokop'ev A.V., Ershova V.B., Shpikerman V.I., Stokli D. Pervye dannye po U-Pb datirovaniyu (LA–ICP–MS) oblomochnykh tsirkonov iz sredne-verkhnepaleozoiskikh osadochnykh porod yuzhnoi chasti Prikolymnskogo podnyatiya (Verkhoyano-Kolymskaya skladchataya oblast') // Problemy tektoniki i geodinamiki zemnoi kory i mantii. Tom 2. Materialy L Tektonicheskogo soveshchaniya. M.: GEOS, 2018. S. 111–115.
- [10] Sokolov S.D. Akkretsionnaya tektonika Koryaksko-Chukotskogo segmenta Tikhookeanskogo poyasa. M.: Nauka, 1992. 182 s.
- [11] Tektonika, geodinamika i metallogeniya territorii Respubliki Sakha (Yakutiya). (Otv. red. L.M. Parfenov, M.I. Kuz'min). M.: MAIK “Nauka/Interperiodika”, 2001. 571 s.
- [12] Tret'yakov F.F. O tektonicheskom stroenii Prikolymnskogo terreina Verkhoyano-Kolymskoi orogennoi oblasti (strukturno-statisticheskii analiz) // Otechestvennaya geologiya. 2016. № 6. S. 85–90.
- [13] Shishkin V.A. Ob"yasnitel'naya zapiska k Gosudarstvennoi geologicheskoi karte SSSR. Seriya Srednekolymskaya. List Q-56-XXVII-XXVIII (Korkodon). Masshtab 1:200 000. M.: Ministerstvo geologii SSSR, 1979. 105 s.
- [14] Akinin V.V., Polzunenkov G.O., Al'shevsky A.V., Alekseev D.I., Kuznetsov B.M., Proskurnin V.F. Evolution of magmatism within Omolon-Taigonos block // ICAM-VIII, Stockholm, June 2018 <https://icamviii.geo.su.se/en/program/Abstracts.pdf>

УДК 551.24

ГЕОДИНАМИКА СЕВЕРНОГО ГРАНИТОИДНОГО ПОЯСА ВЕРХОЯНО-КОЛЫМСКОЙ ОРОГЕННОЙ ОБЛАСТИ

Руслан Протопопов

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

GEODYNAMICS OF THE NORTHERN GRANITOID BELT OF THE VERKHOYANO-KOLYMA OROGENIC REGION

Ruslan Protopopov

JSC "Yakutskgeologiya", 24 Kalvitsa st., Yakutsk, 677009, Russia

Annotation. The formation of the Northern and Kolyma granitoid belts of the Verkhoyano-Kolyma orogenic region is caused by late Jurassic-Cretaceous oceanic and continental subduction during drift and collision of the Kolymo-Omolon superterrane with the Verkhoyansk continental margin. Wedge-shaped accretion of the superterrane with amplification along the "wedge tip" and unequal tectonic stresses of the South-West and North-West directions under the conditions of corresponding shear deformations along the belts led to petrological differences of granitoids. Analysis of petrochemistry of granitoids shows their island-arc nature on the one hand, and on the other - continental-cow nature. Probably, the Northern granitoid belt, as well as the Kolyma one, was born synchronously with the late Jurassic Uyandino-Yasachno volcanic belt and was updated before the development of Cretaceous granitoids of transverse rows.

1. Введение

Северный гранитоидный пояс изучался многими производственными и научными работами. Большинство исследователей его связывает с коллизией Колымо-Омолонского супертеррейна с континентальной окраиной, так же как и Колымский батолитовый пояс [2], но нет определенного объяснения более молодому меловому возрасту по геологическим и радиологическим данным, разнообразию состава до монцодиорит-сиенитовой, структурно-морфологическому изменению от линейных выходов на востоке до рассеянных площадных выходов батолитовых и малых интрузий на стыке с Колымским поясом. Для решения этих вопросов проведен структурно-тектогенический анализ геодинамики в региональном плане и оценка петрологической типизации гранитоидов по петрохимическим данным.

2. Основной раздел

Северный гранитоидный пояс протягивается на северо-восток на 800 км. Геотектонически он и Колымский батолитовые гранитоидные пояса являются обрамляющими Колымо-Омолонского супертеррейна с опоясывающим по периферии триасово-юрским складчато-надвиговым осадочным комплексом. Во внутренней стороне наблюдается позднеюрский Уяндино-Ясачненский вулканический пояс с позднеюрским флишовым комплексом преддуговой впадины. Большинство исследователей предполагает субдукцию под континентальную окраину [1, 2]. Ширина поглощенной океанической коры оценивается до тысячи и более километров [2].

По северным гранитоидам датировки в основном раннемеловые. В то же время, наблюдаются и позднеюрские возраста (153-161 млн. лет) по K-Ar, Rb-Sr, Ar-Ar методам [2]. Глубинная генерация магмы при непрерывной субдукции не прекращалась, а внедрение её вверх зависело от кинематики тектонического напряжения. Появление гранитоидов с щелочным уклоном (грансиенитов, сиенитов и монцодиоритов) объясняется генерацией магмы из базальтовых горизонтов с мантийными флюидами [2]. Крутое залегание зоны магмогенерации (субдукции) обусловило сближение и наложение каналов магматических расплавов и флюидов. Концентрация интрузий в узкую линейную зону с одной стороны, а с другой – рассеяние в пространстве связано с изменениями кинематики тектонического напряжения. На стыке Колымского и Северного гранитоидных поясов наблюдается резкий изгиб структурно-магматического пояса в результате клиновидного внедрения Колымо-Омолонского супертеррейна в континентальную окраину. При усилении вектора сжатия по «острию клина» вдоль Колымского пояса развивается левый сдвиг, а вдоль Северного - правый сдвиг. При этом на стыке двух гранитоидных поясов происходит структурное сучивание, активизация и деформация зоны субдукции с инверсией и дополнительной генерацией магматических расплавов (Рисунок 1).

Представляется, что именно клиновидный завершающий этап аккреции привел к наибольшему петрографическому разнообразию и обновлению Северного гранитоидного пояса. По петрохимическим особенностям гранитоиды больше уклоняются в тренд коровых образований, чем островодужных. В то же время, наблюдаются и «островодужные» массивы (Светлый, Тельбука, Кинели-Тасский, Коханахский, Хатыннахский, Арга-Эмнекенский и др.).

Правосдвиговые деформации вдоль Северного пояса обусловили развитие системы диагональных разрывов растяжения северо-западного простирания, которые нередко заполнялись магматическими расплавами и гидротермальными растворами, служили каналами обновления интрузий. С этим связан рассеяние и разворот интрузивов в Хадаранья-Иргичян-Бакынской петле.

Закономерным минерагеническим следствием отличительной геодинамики Северного гранитоидного пояса является образование Депутатской вольфрамово-оловорудной, Туостахской редкометалло-оловорудной и Селенняхской ртутно-олово-золоторудной минерагенических зон.



Рисунок 1. Схема геодинамики гранитоидов Верхояно-Колымской орогенной области в завершающем этапе аккреции Колымо-Омолонского супертеррейна с Верхоянской континентальной окраиной. 1 – массивы гранитоидов; 2 – вектор движения и аккреции Колымо-Омолонского супертеррейна; 3 – правый сдвиг вдоль Северного гранитоидного пояса; 4 – левый сдвиг вдоль Колымского гранитоидного пояса.

3. Выводы

Зарождение Северного и Колымского гранитоидных поясов связано с единым позднеюрским геодинамическим процессом. Дальнейшие условия их тектогенеза были разделены развитием клиновидной аккреции Колымо-Омолонского супертеррейна с Верхоянской континентальной окраиной.

4. Литература:

- [1] Protopopov R.I. Model` geodinamiki pozdnezozojskogo granitoidnogo magmatizma, regional`nogo metamorfizma i metallogenii Yano-Koly`mskoj skladchatoj oblasti // Problemy` geologii i metallogenii severovostoka Azii na rubezhe ty`syachiletij. Materialy` XI sessii Sev.-Vost. otdeleniya VMO «Bilibinskie chteniya». Magadan, 2001. T. 1. S. 69-72.
- [2] Tektonika, geodinamika i metallogeniya territorii Respubliki Saxa (Yakutiya). Otv. Redaktory`: L.M. Parfenov, M.I. Kuz`min. M.,: MAIK «Nauka/Interperiodika», 2001, 571 s.

УДК 550.4:552.1

ГЛУБИННЫЕ ИСТОЧНИКИ БАЗИТ- УЛЬТРАБАЗИТОВЫХ МАГМ СЕВЕРО-ВОСТОКА СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ: ДАННЫЕ ПО ГЕОХИМИИ РАСПЛАВНЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ В ХРОШПИНЕЛИДАХ

Владимир Симонов, Алексей Котляров, Таисия Алифирова,
Евгений Николенко, Юрий Васильев

ФГБУН Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН,
630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3

DEEP SOURCES BASIC-ULTRABASITE MAGMAS OF THE NORTH-EASTERN SIBERIAN PLATFORM: GEOCHEMISTRY DATA OF MELT INCLUSIONS IN CHROMESPINELIDE

Vladimir Simonov, Alexey Kotlyarov, Taisiya Alifirova,
Yevgeny Nikolenko, Yuri Vasiliev

V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy Siberian Branch Russian
Academy of Sciences, 3 ave. Akademika Koptyuga, Novosibirsk, 630090,
Russia

Annotation. Investigations of peculiarities of distribution of rare and rare-earth elements in melt inclusions in Cr-spinals testify to existence in northern part of the Siberian platform at least two

contrast ultrabasic magmatic systems. First of all, it is the magma forming the large ultrabasic intrusive massifs of Gulinsky type and having close connection with development of meimechites and picrites of the Maimecha-Kotuisky Province. At the same time, inclusions from Cr-spinals from Triassic sediments of the northeast part of the Siberian Platform testify to existence most likely plume magmatic systems, connected with the development of kimberlites and also lamprophirs and (or) other continental "hot spots".

1. Введение

Основой работ по выяснению глубинных источников базит-ультрабазитовых магм послужили результаты исследования особенностей распределения редких и редкоземельных элементов в щелочно-ультраосновных магматических системах северной части Сибирской платформы, полученные при изучении расплавных силикатных включений в хромшпинелидах, которые являются хорошими «микрo-контейнерами» из-за своей химической и физической стабильности и высокой прочности. С хромшпинелидами были проведены высокотемпературные эксперименты в графитовых миниконтейнерах с нагревом до 1350°C по методике, опубликованной ранее [1, 2, 3]. Прогретые и закаленные зерна хромшпинелидов были приполированы и просмотрены с целью поиска расплавных силикатных включений. Все работы проведены в Лаборатории геодинамики и магматизма в Институте геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, г. Новосибирск. Содержания редких, редкоземельных элементов в прогретых и закаленных расплавных включениях определены с помощью LA ICP MS в г. Франкфурт (Германия).

2. Особенности распределения редких и редкоземельных элементов

На диаграмме распределения иттрия и циркония хорошо видно, что данные по расплавным включениям в хромшпинелидах из триасовых отложений северо-востока Сибирской платформы и из дунитов Гулинского массива явно различаются. Первые, с минимальными содержаниями элементов, тесно ассоциируют с полями данных по кимберлитам Сибирской платформы и лампрофирам Сибирских траппов.

Вторые – содержат значительно больше иттрия и циркония и располагаются рядом с данными по включениям в оливинах из меймечитов. При этом по повышенному содержанию Y соответствуют плюмовым магматическим системам типа OIB. Данные по пикритам Маймеча-Котуйской провинции наиболее близки к включениям в оливинах из меймечитов севера Сибирской платформы, но по значениям иттрия соответствуют кимберлитам.

Все данные по рассмотренным расплавленным включениям обладают в целом повышенными значениями Nb/Y и Zr/Y, располагаясь на границе между расплавами с плюмовым и без плюмового источников. При этом отношения Nb/Y во включениях из минералов Гулинского массива и меймечитов одинаковы и соответствуют данным по OIB в отличие от включений в хромшпинелидах из триасовых отложений северо-востока Сибирской платформы (а также пикритов) с относительно высокими значениями Nb/Y, наиболее характерными для кимберлитов и лампрофиров Сибирской платформы.

По соотношениям Zr/Nb – Nb/Th включения в хромшпинелидах из Гулинского массива связаны исключительно с полем OIB. При этом включения в минералах из меймечитов и из триасовых отложений северо-востока Сибирской платформы (а также пикриты) обладают свойствами как OIB, так и кимберлитов. Данные по лампрофирам Сибирских траппов располагаются в поле кимберлитов Сибирской платформы.

Спектры распределения редкоземельных элементов в прогретых расплавленных включениях из хромшпинелидов из триасовых отложений северо-востока Сибирской платформы характеризуются явным отрицательным наклоном с резким обогащением легкими лантаноидами по отношению к тяжелым и в общем хорошо согласуются с данными по кимберлитам Сибирской платформы, попадая частично в поле лампрофиров Сибирских траппов. При этом включения в хромшпинелидах из дунитов Гулинского массива, отличаясь значительно более высокими содержаниями редкоземельных элементов в целом, практически полностью совпадают с данными по расплавленным включениям в оливинах из меймечитов Маймеча-Котуйской провинции, перекрывая в области легких лантаноидов поле пикритов из района Гулинского массива.

Графики рассмотренных расплавленных включений характеризуются в целом наклоном на спайдер-диаграммах с понижением при переходе от мобильных несовместимых к совместимым немобильным элементам, что

характерно для включений и закалочных стекол из пород континентальных «горячих точек» [4]. Необходимо отметить, что на спайдер-диаграммах данные по включениям в хромитах Гулинского массива (также как и на диаграммах распределения редкоземельных элементов) практически идеально совпадают со спектрами включений в оливинах из меймечитов, а также пикритов. В то же время включения из хромшпинелидов из триасовых отложений северо-востока Сибирской платформы содержат меньшие количества элементов и хорошо согласуются с данными по кимберлитам Сибирской платформы и частично по лампрофирам Сибирских траппов, а также по внутриконтинентальным «горячим точкам».

3. Выводы

В целом проведенные исследования особенностей распределения редких и редкоземельных элементов в расплавных включениях свидетельствуют о существовании в северной части Сибирской платформы как минимум двух контрастных ультраосновных магматических систем. Прежде всего, это магмы, формировавшие крупные ультраосновные интрузивные массивы типа Гулинского и имеющие тесную связь с развитием меймечитов и пикритов Маймеча-Котуйской провинции. В то же время включения из хромшпинелидов из триасовых отложений северо-востока Сибирской платформы свидетельствуют о существовании скорее всего глубинных плюмовых магматических систем, связанных с развитием кимберлитов, а также лампрофиров и (или) других континентальных «горячих точек».

4. Благодарности

Работа выполнена в рамках государственного задания ИГМ СО РАН, при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, гранта РФФИ 18-45-140027.

5. Литература:

- [1] Simonov V.A., Sharkov, E.V., Kovyazin S.V. Petrogenesis of the Fe-Ti Intrusive Complexes in the Sierra Leone Region, Central Atlantic // *Petrology*, 2009, vol. 17, no 5, pp. 109-122.
- [2] Simonov V.A., Prikhod'ko V.S., Kovyazin S.V. Genesis of platiniferous massifs in the southeastern Siberian Platform // *Petrology*, 2011, vol. 19, no 6, pp. 579-598.

[3] Simonov V.A., Prikhod'ko V.S., Vasiliev Yu.R., Kotlyarov A.V. Physicochemical Conditions of Crystallization of Rocks from Ultrabasic Massifs of the Siberian Platform // Russian Journal of Pacific Geology, 2017, vol. 36, no. 6, pp. 56-79.

[4] Naumov V.B., Kovalenko V.I., Dorofeeva V.A., Girmis A.V., Yarmolyuk V.V. Average Compositions of Igneous Melts from Main Geodynamic Settings According to the Investigation of Melt Inclusions in Minerals and Quenched Glasses of Rocks // Geochemistry International, 2010, vol. 48, no. 12, pp. 1185-1207.

УДК 552.3: 552.1

СРЕДНЕПАЛЕОЗОЙСКИЙ ГРАНИТОИДНЫЙ МАГМАТИЗМ РАССОШИНСКОЙ ЗОНЫ ОМУЛЕВСКОГО ПОДНЯТИЯ

Сергей Сычев^{1,2}, Ольга Лебедева^{1,2}, Александр Рогов¹,
Василий Маклашин¹

¹ ФГБУ Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского, 199106, Россия, г. Санкт-Петербург, Средний пр-т В.О., 74

² ФГАОУ ВО Санкт-Петербургский государственный университет, 199034, Россия, Санкт-Петербург, Университетская набережная, 7–9

MID-PALEOZOIC GRANITOID MAGMATISM OF THE RASSOHA ZONE OF THE OMULJOVKA UPLIFT

Sergey Sychev^{1,2}, Olga Lebedeva^{1,2}, Alexander Rogov¹,
Vasilii Maklashin¹

¹ A.P. Karpinsky Russian Geological Research Institute, 74 Sredny ave., St. Petersburg, 199106, Russia

² St. Petersburg State University, 7–9 Universitetskaya emb., St. Petersburg, 199034, Russia

Annotation. The geological position is considered and an assumption is made about the geodynamic nature of two granitoid massifs located in the Rassoha zone of the Omuljovka

uplift. It is shown that the rocks were formed in the Silurian period.

1. Введение

Омулевское поднятие расположено в пределах внутренней части Верхояно-Колымской складчатой системы, юго-восточной части коллизионного пояса Черского и простирается в северо-западном направлении. В результате геолого-съёмочных работ в Рассошинской зоне Омулевского поднятия были изучены гранитоиды двух небольших штоков, расположенных в междуречье Трюлинья-Булкут. Трюлиньинский (3х2,5 км) и Левобулкутский (1,5х1 км) массивы прорывают породы ордовика и отделены разрывными нарушениями от раннедевонских образований.

2. Петрография гранитоидов

Массивы имеют двухфазное строение. Первая фаза имеет небольшой объем и сложена диоритами. Вторая фаза представлена и граносиенит-порфирами и трахидацитами. Контакты между породами первой и второй фазы интрузивные.

Диориты – средне-крупнозернистые массивные породы с гипидиоморфнозернистой структурой, сложенные зональным плагиоклазом: андезином и лабрадором (50-55%), кварцем (5-7%), роговой обманкой (25-30%), биотитом. Структура гипидиоморфнозернистая.

Граносиенит-порфиры – серые, розовато-серые, зеленовато-серые, среднезернистые массивные породы с резко порфировидной структурой. Вкрапленники представлены калиевым полевым шпатом, плагиоклазом (№40-47 – №30-37), реже олигоклазом №26-29. Основная масса мелкозернистая с гипидиоморфнозернистой структурой, сложена плагиоклазом №30-38 (35-40%), ортоклазом (10-15%), кварцем (до 15-20%), биотитом (2-5%), роговой обманкой (10-15%), ильменитом, магнетитом, титаномагнетитом, апатитом, титанитом, цирконом. Вторичные изменения проявлены в хлоритизации темноцветных минералов и серицитизации плагиоклазов, лейкоксенизации ильменита.

Трахидациты – массивные порфировые породы с флюидальной основной массой и вкрапленниками (8-10%) альбитизированного плагиоклаза с

антипертитами калиевого полевого шпата (ортоклаза) и ортоклаза. Основная масса фельзитовая, сложена кислым плагиоклазом, калиево-натриевым полевым шпатом, кварцем и псевдоморфозами хлорита по фемическому минералу.

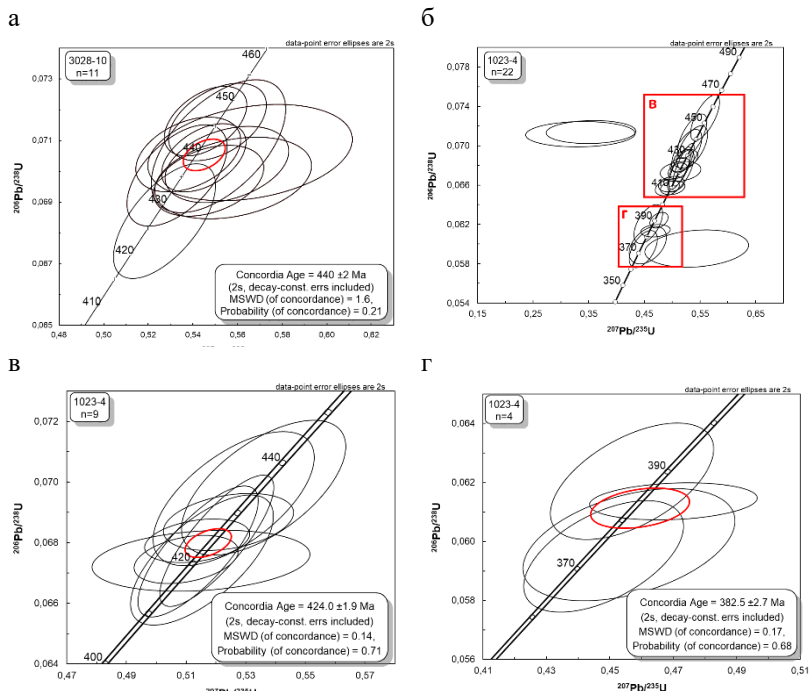


Рисунок 1. Диаграммы с конкордиями: а – Трюлиньинский массив; б,в,г – Левобулкутский массив (б – сводная конкордия; в,г – частные конкордии).

3. Изотопные данные

U-Pb датирование цирконов осуществлялось на ионном микрозонде SHRIMP-II в Центре Изотопных Исследований ВСЕГЕИ им. А.П. Карпинского. Результаты приведены на рисунке 1. Для образца 3028-10 из Трюлиньинского массива получено конкордантное значение возраста 440 ± 2 млн лет. Для образца 1023-4 (Левобулкутский массив) получены возрасты 424 ± 1.9 и 382.5 ± 2.7 млн лет.

4. Выводы

По результатам изотопно-геохронологических исследований установлен силурийский (рисунок 1а,в) и средне-позднедевонский возраст (рисунок 1г) гранитоидов. Средне-позднедевонский возраст вызывает сомнения, так как в это время в изученной области происходили процессы рифтогенеза с заложением Оймяконского океана [1]. Сходные датировки известны на Верхнемайском поднятии (Майский плутон) [2]. На дискриминационных диаграммах граниты попадают в поле вулканических дуг, по распределению REE, а также наличию хорошо выраженных отрицательных аномалий Nb, Sr и Ti сопоставимы с породами окраинно-континентальных надсубдукционных обстановок. По нашему мнению, силурийский гранитоидный магматизм маркирует этап закрытия Рассошинского задугового бассейна, выделенного на данной территории В.М. Мерзляковым (отчетные материалы 1987 года).

5. Благодарности

Авторы благодарны профессору кафедры региональной геологии Института наук о Земле СПбГУ А.К. Худолею за конструктивное обсуждение полученного материала. Полевые работы и изотопно-геохронологические исследования проводились в рамках темы ФГБУ «ВСЕГЕИ». Частичная обработка данных выполнена при поддержке проекта РФФИ № 19-05-00945.

6. Литература:

- [1] Oxman V.S. Tectonics of Chersky collision belt (North-East Asia). М.: GEOS, 2000, 269 p. (in Russian).
- [2] Prokopyev A.V., Bakharev A.G., Toro H., Miller E.L., Hourigen G.K., Dumitru T.A. Mid-Paleozoic continental margin magmatism and Mesozoic metamorphic events of North Asian craton – Okhotsk terrain conjunction zone // *Otechestvennaya geologiya*, 2017, vol. 6, pp. 57-63 (in Russian).

УДК 549.2:552.3

**ПЕТРОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ
АЙХАЛЬСКОГО ТРАПОВОГО СИЛЛА
С ПРОЯВЛЕНИЯМИ САМОРОДНОГО ЖЕЛЕЗА**

Михаил Томшин, Альбина Копылова, Александра Васильева
ФГБУН Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН,
677000, Россия, г.Якутск, пр-т Ленина, 39

**PETROLOGICAL-GEOCHEMICAL FEATURES OF THE
AIKHAL TRAP SILL WITH FINDS OF NATIVE IRON**

Mikhail Tomshin, Albina Kopylova, Alexandra Vasilyeva
Diamond and Precious Metals Geology Institute, Siberian Branch, Russian
Academy of Sciences, 39 Lenina ave., Yakutsk, 677000, Russia

Annotation. The petrographic and petrochemical features of the Aikhal sill are considered, where segregations of native iron weighing from 3 to 400 kg were found for the first time in Yakutia. It is assumed that the fractionation of a basaltic melt in the deep-seated (about 40 km from the paleosurface) intermediate chamber is one of the main factors controlling the phenomenon of native metal formation in basites. In the environment of an intermediate chamber, during the fluid-magmatic interaction of the basaltic melt with a high -temperature intratelluric fluid with reducing properties, the primary homogeneous basaltic liquid is dispersed into silicate- and metal- based liquates. It is the finely-dispersed state of the fluid - magmatic system that caused the occurrence of metals, first of all of iron, in native phase.

1. Введение

Новая находка самородного железа на северо-востоке Сибирской платформы в Айхальском трапповом силе [1] послужили основанием для более детального исследования этого объекта, т.к. вопрос происхождения природного железа до сих пор остается дискуссионным.

Данное сообщение не касается собственно самородного железа, поскольку об этом говорилось на предыдущем совещании [2]. Напомним, что самородное железо в Айхальском силе формирует обособления от 3-х до 400 кг, которые располагаются в верхней трети залежи. По химическому

составу оно отвечает беспримесному ферриту и постоянно сопровождается когенимом, троилитом и магнетитом. Данное сообщение затрагивает петрографические и петрохимические особенности Айхальского силла, необходимые для понимания генезиса такого уникального явления, как самородное железо.

2. Основной раздел

Айхальский силл вместе с другими интрузивами района, имеющими основной состав, формируют огромное трапповое поле по северо-восточному обрамлению Тунгусской синеклизы. Мощность интрузива непостоянна – от 40 до 150 м. В карьере кимберлитовой трубки Заря (место отбора образцов) она составляет 60 м. Айхальский силл относится к слабодифференцированному интрузиву. Последнее подчеркивается, прежде всего, появлением в средней части разреза прерывистого маломощного (2-3 м) горизонта оливиновых габбро-долеритов. Интрузив сложен мелко- и среднезернистыми офитовыми и таксито-офитовыми долеритами. В прикровлевых частях интрузива мелкозернистые долериты приобретают пойкилоофитовый облик, а в нижних горизонтах появляются среднезернистые долериты с пироксенофировым типом структуры. Следует подчеркнуть повышенные, относительно типичных траппов, содержания в долеритах силла оливина, которое в среднем изменяется от 7 до 10% и достигает максимума 16% в горизонте оливиновых габбро-долеритов.

Таблица 1
Средние составы породообразующих минералов долеритов

Минералы	Долериты силла	Долериты оторочки	Долериты из сегрегаций железа
Плагиоклаз	Ап ₇₇₋₈₇ ; 76-37;	Ап ₇₇₋₈₇ ; 70-59	Ап ₇₀₋₆₀
Пироксен	Wo ₄₄₋₃₀ En ₄₈₋₃₉ Fs ₂₅₋₁₂	Wo ₂₄₋₂₁ En ₃₄₋₃₂ Fs ₄₇₋₄₂ Wo ₁₂₋₇ En ₄₁₋₃₄ Fs ₅₄₋₅₂	Wo ₁₀₋₁₉ En ₃₃₋₅₃ Fs ₃₅₋₅₂
Оливин	Fa ₄₂₋₄₈	Fa ₄₂₋₄₉	Fa ₆₂₋₆₆ ; 78-92

Состав основных породообразующих минералов типичен для базитов данного типа, стабилен и приведен в таблице 1. Из таблицы также видно существенное отличие фемических породообразующих минералов в долеритах, оконтуривающих желваки самородного железа, а также в долеритах, располагающихся внутри сегрегаций железа. Авгит становится

более железистым, появляется малокальциевый железистый пижонит и высокожелезистый оливин, вплоть до феррогортонолита. В плагиоклазе и клинопироксене отмечаются микровключения капель феррита. В тоже время необходимо подчеркнуть, отсутствие в долеритах каких-либо метамагматических преобразований.

Таблица 2

Химический состав долеритов Айхальского силла, вес. %.

Компоненты	Ай-0	Ай-3- 1	Ай-3- 3	Ай-3- 4	Ай-3- 5	Ай-3- 6	Ай-3- 7	Ай-3- 8	Среднее	
									Силл*	Траппы**
SiO ₂	41,26	48,77	47,73	47,24	49,69	47,8	48,51	49,3	48,43	48,88
TiO ₂	0,93	1,06	1,12	1,23	1,08	1,14	1,2	1,35	1,17	1,51
Al ₂ O ₃	12,85	16,15	15,9	16,37	15,93	16,27	16,66	15,03	16,04	14,38
Fe ₂ O ₃	9,62	3,00	2,05	2,88	2,01	2,59	4,04	3,62	2,88	3,96
FeO	13,84	7,47	8,93	8,29	7,31	8,44	6,88	7,8	7,87	9,21
MnO	0,22	0,15	0,22	0,19	0,22	0,21	0,21	0,21	0,20	0,16
MgO	11,25	8,96	9,86	9,5	8,69	9,44	8,32	7,76	8,93	6,60
CaO	7,32	11,62	10,78	10,81	12,03	10,71	11,24	11,63	11,26	10,69
Na ₂ O	1,16	1,74	1,83	1,83	1,9	1,89	1,95	2,01	1,88	2,36
K ₂ O	0,22	0,33	0,36	0,33	0,35	0,5	0,37	0,42	0,38	0,65
P ₂ O ₅	0,08	0,09	0,08	0,09	0,08	0,11	0,10	0,11	0,09	0,21
H ₂ O+	0,54	0,8	0,54	0,82	0,53	0,30	0,00	0,79	0,54	1,07
CO ₂	1,00	0,40	0,80	0,65	0,46	0,94	0,82	0,20	0,61	-
S	0,18	0,07	0,07	0,04	0,03	0,04	0,06	0,13	0,06	-
F	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	-
Сумма	100,5	100,6	100,3	100,3	100,3	100,4	100,4	100,4	100,39	99,66
Mg#	47	61	62	61	63	61	58	56	60	50

* - среднее по силлу без Ай-0 (долерит из оторочки);

** - среднее по траппам востока Тунгусской синеклизы (435 ан.) – данные авторов.

Наряду с обычными минералами внутрикамерной кристаллизации в долеритах силла постоянны (до 4-5%) минералы ранней докамерной кристаллизации, представленные битовнитом (An₇₇₋₈₇), наиболее магниезальным авгитом (En₄₅₋₄₈) и идиоморфными округлыми зернами оливина, полностью замещенного тальк-серпентиновым агрегатом, подчеркивающим его высокую магниезальность. Ранняя докамерная ассоциация породообразующих минералов не установлена в соседствующих с Айхальским силлом трапповых интрузивах, хотя, в целом, все трапповые образования района сформированы единым

расплавом толеит-базальтового состава, а все петрохимические и петрологические нюансы в них обусловлены в основном процессами глубинной докамерной эволюции. С эволюцией расплава в глубинной обстановке связана повышенная магнезиальность ($Mg\# = 56-53$) долеритов Айхальского силла (таблица 2), их повышенная глиноземистость и кальциевость (последние отражают накопление в эволюционирующем расплаве плагиоклаза).

Низкие содержания суммарного железа (практически на 2% по сравнению с обычными траппами) - результат обособления силикатного железа в нульвалентную фазу в ходе металл-силикатной ликвации, о чем будет сказано ниже. С этим же связана такая особенность химического состава пород силла, как низкая степень окисленности железа ($FeO/Fe_2O_3=1.95$). Долериты Айхальского силла являются низкотитанистыми ($TiO_2\sim 1\%$), отвечают траппам II петрохимического типа по [3] в отличие от основного большинства трапповых интрузивов района относящихся к I типу.

3. Результаты

Предполагается (с учетом ранее выполненных работ), что фракционирование базитового расплава в глубинной (около 40 км от палеоповерхности) промежуточной камере является одним из основных факторов, приводящих к такому явлению как самородное металлообразование в базитах. В обстановке промежуточной камеры в ходе флюидно-магматического взаимодействия базальтового расплава с высокотемпературным интрателлурическим флюидом, обладающим восстановительными свойствами, происходит диспергирование первично однородной базальтовой жидкости на ликваты на силикатной и металлической основе. Именно тонкодисперсное состояние флюидно-магматической системы обусловило реализацию самородной фазы, прежде всего, железа, в толеитовом расплаве. В глубинной промежуточной камере при высоких температурах ($\sim 1500^\circ C$) и восстановительных условиях (появление муассанита) происходит первая ранняя фаза раскристаллизации базитового расплава, о чем свидетельствуют ранний битовнит-анортитовый плагиоклаз, высокомагнезиальный оливин, вплоть до форстерита (Fe_0), гранат пиропальмандинового ряда, хромит и др. [4].

Новая находка не только расширяет географию находок, но и дает возможность на новых объектах рассмотреть возможные генетические вопросы, связанные с металл-силикатной ликвацией.

4. Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке грантом РФФИ (Проект № 18-45-140043 p_a) и по плану НИР ИГАБМ СО РАН (№ 0381-2020-0003).

5. Литература:

- [1] Tomshin M.D., Salixov R.F., Matushkin A.I., Makovchuk I.V., Kopy`lova A.G., Vasil`eva A.E. Samorodnoe zhelezo v doleritax Ajjal`skogo silla (pervaya naxodka v Yakutii) // Prirodny`e resursy` Arktiki i Subarkтики. – 2019. - Т. 24. - № 3. - С. 50-63. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2019-24-3-5>
- [2] Kopy`lova A.G., Tomshin M.D., Vasil`eva A.E., Salixov R.F., Matushkin A.I. Pervaya naxodka samorodnogo zheleza v trappax Yakutii // Geologiya i mineral`no-sy`r`evy`e resursy` Severo-Vostoka Rossii. Materialy` IX Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii. Yakutsk: Izd-vo in-ta Merzlotovedeniya SO RAN. 2019.Т.II. С. 69-72.
- [3] Tomshin M.D., Kopy`lova A.G., Tyan O.A. Petroximicheskoe raznoobrazie trappov vostochnoy periferii Tungusskoj sineklizy` //Geologiya i geofizika, 2005, t. 46, № 1, s. 72-82.
- [4] Samorodnoe metalloobrazovanie v platformenny`x bazitax // Olejnikov B.V., Okrugin A.V., Tomshin M.D., V.K. Levashov., A.S. Varganov., A.G. Kopy`lova., V.Yu. Pankov. Yakutsk, 1985. 188 s.

УДК 551.243

ТЕКТОНИЧЕСКАЯ СХЕМА ВЕРХОЯНО-КОЛЫМСКИХ МЕЗОЗОИД

Феликс Третьяков

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

TECTONIC MAP OF THE VERKHOYANSK-KOLYMA MESOZOID SYSTEM

Feliks Tretyakov

Diamond and Precious Metals Geology Institute, Siberian Branch, Russian
Academy of Sciences, 39 Lenina ave., Yakutsk, 677000, Russia

Annotation. Tectonic map scale 1:2500000 of the Verkhoyansk-Kolyma mesozoid system (VKMS) was based on the plate tectonics model. It shows the main tectonic elements and stages of development of the system. In the Late Paleozoic-Early Mesozoic times the studied territory included a system of Alazeya-Oloy and Okhotsk island arcs, that framed the Eastern margin of the North-Asian craton, deformed during the Middle Paleozoic rifting. The submerged part of the craton is covered by sedimentary assemblage of the passive continental margin in the west and divided into blocks (microcontinents) by large basins of the Oymyakon and Arga-Tas adjacent seas in the east. Primarily, these seas closure in the Late Mesozoic time, resulted from the microcontinents collision with the margin of the North-Asian craton, led to the formation of the Early Mesozoic orogenic tectonic structures, Main and North granitic belts, and origin of new continental Earth's crust of the VKMS.

1. Введение

В основе тектонической схемы масштаба 1:2500000 Верхояно-Колымской системы мезозойд (ВКСМ) лежит плитотектоническая модель территории, которая в позднем палеозое располагалась между конвергентной границей палеоАрктическо – Северо-Тихоокеанского пояса и восточным краем Северо-Азиатского кратона (САК). Показаны основные тектонические элементы земной коры территории, участвующие в строении ВКСМ и этапы их развития.

2. Тектоническое районирование и этапы развития ВКСМ

С севера ВКСМ ограничена Южно-Ануйской шовной зоной. Восточная окраина ВКСМ состоит из островодужных комплексов Алазейско-Олойской и Охотской зон, которые маркируют конвергентную границу палеоАрктическо – Северо-Тихоокеанского пояса. Они же обрамляют большую часть территории ВКСМ, состоящую главным образом из структур и фрагментов земной коры восточной окраины САК, разрушенной и расчлененной в течение среднепалеозойского рифтогенеза. На обширной погруженной западной территории САК размещены осадочные толщи Верхоянской пассивной континентальной окраины. К востоку от нее располагаются геодинамические комплексы

двух краевых бассейнов, закрытие которых в позднем мезозое привело к формированию главных тектонических элементов ВКСМ. Один из них Оймяконский бассейн краевого моря (из трех составных частей – Полоусненского, Иньяли-Дебинского и Сугойского), начал свое образование в среднем-позднем девоне в процессе заложения и развития Индигирского рифта, отколовшего от восточного края САК миогеоклинальные блоки Омuleвского хребта. Этот бассейн прошел все стадии своего развития: от рифтовой долины к рифтовому бассейну до крупного краевого моря с узким океаническим дном. Другой Арга-Тасский задуговой бассейн располагался восточнее и разделял миогеоклинальные блоки Омuleвского хребта от Алазейской островной дуги. Вулканогенно-осадочные комплексы позднего палеозоя – раннего мезозоя этого некогда обширного краевого моря вскрываются в пределах одноименного хребта Арга-Тас. Преобразование окраинно-континентальных палеоструктур рассматриваемого региона в позднемезозойские орогенные ВКСМ началось с середины юрского времени возникновением латеральных геодинамических движений вдоль конвергентной границы палеоАрктическо – Северо-Тихоокеанского пояса и соответственно в зонах Алазейско-Олойской и Охотской островных дуг. В это время происходит отмирание одних островных дуг и столкновение других с фрагментами (микроконтинентами) САК с замыканием разделяющих их краевых бассейнов. Ранним событием этих процессов стало закрытие Арга-Тасского задугового бассейна, в результате которого Алазейская островная дуга спаяла окружающие ее разные по размерам блоки САК в единый Колымо-Омолонский мегаблок (КОМ). Затем орогенный процесс в течение поздней юры-раннего мела был продолжен коллизией КОМ с Сибирским континентом, где в зоне их столкновения замкнулось Оймяконское крайнее море с возникновением коллизионного пояса Черского. Относительно короткое время закрытия (оксфорд-начало титона) этого моря, видимо сочетается со временем полного поддвига небольшого по размерам океанического дна этого бассейна под земную кору КОМ и формированием над его западной окраиной надсубдукционного Уяндина-Ясачненского вулканического пояса. Поглощение малой по размерам океанской коры Оймяконского краевого моря, покрытого мощным чехлом осадочных отложений, под земную кору КОМ не оставило каких-либо следов существования малой океанской коры в пределах сильно деформированных пород коллизионного пояса Черского. Столкновение КОМ с Сибирским континентом привело к

формированию ранних мезозоид Северо-Востока России: орогенных тектонических структур, Главного и Северного гранитных поясов и становление новообразованной континентальной коры ВКСМ. Почти сразу вслед за образованием ВКСМ, формируется Новосибирско-Чукотская система мезозоид. Это происходит вследствие коллизии Чукотского микроконтинента Северо-Американского кратона с новообразованной континентальной окраиной ВКСМ, с возникновением между ними Южно-Ануйской шовной зоны, маркирующей след закрытия одноименного или Протоарктического океана. С этого момента Верхояно-Колымская и Новосибирско-Чукотская системы продолжают свое развитие в составе единой континентальной орогенной области мезозоид Северо-Востока России, юго-западная конвергентная граница которой обозначена происхождением позднемелового Охотско-Чукотского вулканно-плутонического пояса андского типа.

3. Благодарности

Работа выполнена в рамках Проекта НИР ИГАБМ СО РАН № 0381-2019-0001, а также при частичной поддержке гранта РФФИ № 19-05-009 45.

УДК 552.32

ЦИРКОНЫ ГРАНИТОИДОВ ВЕРХОЯНО-КОЛЫМСКОЙ ОРОГЕННОЙ ОБЛАСТИ

Вера Трунилина

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

THE ZIRCONS FROM GRANITOIDS OF THE VERKHOYANSK-KOLYMA OROGENIC REGION

Vera Trunilina

Diamond and Precious Metals Geology Institute, Siberian Branch, Russian
Academy of Sciences, 39 Lenina ave., Yakutsk, 677000, Russia

Annotation. The paper deals with typomorphic features of zircons of Cretaceous granitoids of different composition and formation belonging. Wide variations of their compositions have been established – from high-temperature "cow-mantle" morphotypes of early generation to relatively low – temperature "cow- mantle

" morphotypes of late generation, which is due to the mixed genetic nature of their granitoids. Since the most accurate local U-Th-Pb method is not available, it is proposed to conduct isotopic uranium- lead Dating of granitoids separately for "cow-mantle" and "crustal" morphotypes.

1. Введение

Одним из наиболее востребованных методов изотопного датирования магматических пород является уран-торий-свинцовый. Основным минералом при этом методе является циркон. Поскольку минерал в большинстве случаев зональный, рекомендуется применение локального U-Th-Pb метода, позволяющего датировать каждую зону роста кристалла. Поскольку этот метод весьма трудоемок и дорог, обычно используется определение возраста по не менее, чем 25 зернам с формированием конкордии, усредняющей полученные данные. Долгие годы продолжается дискуссия о правомерности применения метода, поскольку среди анализируемых зерен могут находиться не только магматические, но и ксеногенные и реститовые. В зависимости от их количественных соотношений возможны существенные искажения полученных возрастных данных. Целью наших исследований являлось выявление вариаций химических составов и морфотипов цирконов в гранитоидах региона для определения корректности использования уран-свинцового метода при их датировании.

2. Типоморфизм цирконов

Меловые гранитоиды – наиболее широко распространенные магматические образования Верхояно-Колымской орогенной области. Циркон в них присутствует в нескольких генерациях – ранне- и позднемеловых и, соответственно, образует кристаллы разных морфотипов разного состава. В данной работе приведены результаты изучения цирконов раннемеловых гранитоидных массивов юго-востока Полоусного синклинория и позднемеловых гранитов Селенняхского синклинория (рисунок 1), Первые представлены Буор-Юрхским массивом диоритов – гранодиоритов М-типа, Холодным и Мокринским массивами I- или IS-типа [1], вторые – Агдайским, Герамдачанским и Право-Кыринским массивами А-типа.

Среди цирконов гранитоидов Буор-Юрхского массива установлены кристаллы «корово-мантийных» морфотипов D и J (по [2]) с величинами

$ZrO_2/HfO_2 = 168-53$ и «коровых» ряда S с отношениями ZrO_2/HfO_2 53–49. В гранитоидах Холодного и Мокринского массивов присутствуют кристаллы «корово-мантийных» морфотипов D, J и P и «коровых» ряда S с величинами ZrO_2/HfO_2 89–57 и 57–39, соответственно. Те же морфотипы: D, J, P, S и с близкими значениями ZrO_2/HfO_2 (128–65 и 60–28) присущи и цирконам А-гранитов Селенняхского синклинория. Такое сочетание разнотемпературных и «разноглубинных» морфотипов обусловлено происхождением материнских расплавов за счет плавления нижнекоровых субстратов под воздействием на них тепла и флюидов, по всей вероятности, связанных с подъемом щелочно-основных диапиров [1].

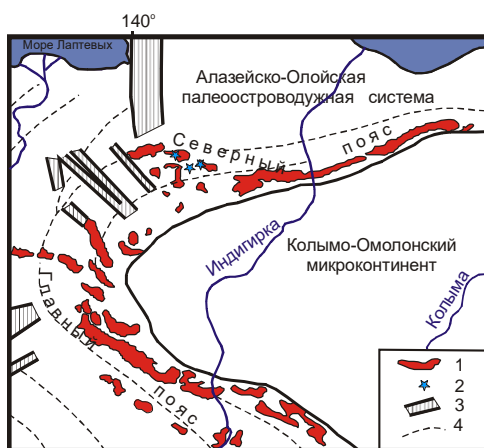


Рисунок 1. Схема расположения гранитоидов Верхояно-Колымских мезозойд

1 – массивы гранитоидов продольных рядов, 2 – рассматриваемые в работе гранитоидные тела, 3 – поперечные пояса гранитоидов, 4 – оси складчатых структур.

Для определения формационной принадлежности (и «глубинности») гранитоидов предложено [3] использовать соотношения в их аксессуарных цирконах иттрия и иттербия. Такие построения нами выполнены для всех перечисленных выше гранитоидных массивов (рисунок 2 а, б).

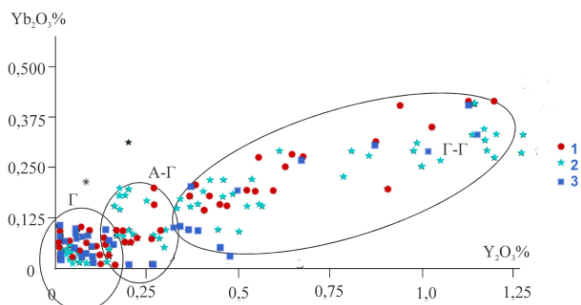


Рисунок 2а. Цирконы гранитоидов 1 – Мокринского, 2 – Холодного, 3 – Буор-Юряхского массивов.

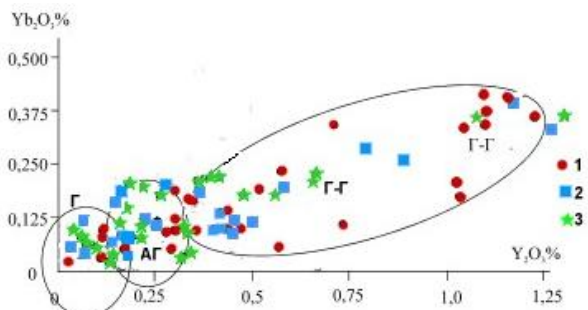


Рисунок 2б. Цирконы 1–Гермдачанского, 2 – Агдайского, 3 – Право-Кыринского массивов

Поля диаграммы [3]: Г-Г – цирконы гранитоидов габбро-гранитного, АГ – адамеллит-гранитного, Г – гранитного формационных типов.

Как видно из рисунка, во всех изученных гранитоидах присутствуют цирконы всех формационных типов по [3], а по факту – цирконы разных генераций. Количественные их соотношения широко варьируют вне зависимости от основности несущих их пород. Цирконы морфотипов D и I нередко ассоциируют с реститовыми клинопироксенами (массивы юго-востока Полоусного синклиория) и, соответственно, также могут быть отнесены к реститовым. Но отличить реститовые и раннемагматические цирконы при отборе зерен из протолочек, как это предусматривается для изотопного датирования, не представляется возможным, поскольку те и другие, как правило, сохраняют правильные кристаллографические очертания.

3. Обсуждение результатов

Таким образом, во всех изученных массивах присутствуют цирконы различных формационных типов и разных кристалло-морфотипов, поэтому для классификации гранитоидов типоморфизм цирконов мало применим. Что касается изотопного датирования по цирконам, то корректным оказывается только локальный метод. Применение же стандартного метода по серии зерен с построением конкордий может дать только весьма усредненные результаты, неясно, к какому этапу становления гранитов относящиеся; к процессу магмогенерации, если в выборке преобладают реститовые зерна, к началу кристаллизации (преобладание высокотемпературных раннемагматических форм) или к его концу (низкотемпературные и преобразованные кристаллы).

4. Литература:

- [1] Trunilina V.A., Roev S.P., Zaitsev A.I. Petrology of granitoids of the South-Eastern regions of Polousnyi range (Verkhoyansk-Kolyma orogenic region). // Prirodnye resursy Arctiki i Subarctiki, Т. 25, № 3, 2018, P. 53-70
- [2] Pupin J.P. Zircon and Granite Petrology // Contrib. to Miner. and Petrol.. 1980. V. 73. P. 207–220.
- [3] Krasnobaev A.A. Zircon as an indicator of geological processes. Moscow: Nedra, 1986. 142 p. (in Russian).

УДК 550.34

СЕЙСМИЧНОСТЬ ДЕЛЬТЫ РЕКИ ЛЕНА И СОСЕДНИХ РАЙОНОВ В 2016-2018 ГГ

Рустам Туктаров¹, Сергей Шибаяев¹, Борис Козьмин²,
Вольфрам Гейслер³, Франк Крюгер³, Алина Плетц³

¹ ЯФ ФИЦ «Единая геофизическая служба» РАН,

² ФГБУН Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН,
677000, Россия, г. Якутск, пр-т Ленина, 39

³ Институт полярных и морских исследований имени Альфреда Вегенера,
Бремерхафен, Германия

SEISMICITY OF THE LENA RIVER DELTA AND NEIGHBORING AREAS IN 2016-2018

Rustam Tuktarov¹, Sergey Shibaev¹, Boris Kozmin², Wolfram Geissler³,
Frank Krueger³ Aline Ploetz³

¹ YB FRC «Unified Geophysical Service» RAS,

² Diamond and Precious Metals Geology Institute, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, 39 Lenina ave., Yakutsk, 677000, Russia

³ Alfred Wegener Institute, Helmholtz Centre for Polar and Marine Research, Am Handelshafen 12, 27570 Bremerhaven, Germany

Annotation. The Russian-German expedition on the joint project Seismicity and Neotectonics of the Laptev Sea Region in 2016-2018 in the Lena River Delta and coastal areas seismicity studies was conducted. At 25 field digital seismic stations during this period over one thousand local earthquakes were recorded. Their distribution in space, in time and in depth are considered.

1. Введение

Арктическая зона Республики Саха (Якутия) характеризуется высокой сейсмичностью. Так, через акваторию Северного Ледовитого океана от о. Гренландия к дельте р. Лена тяготеет полоса эпицентров землетрясений, приуроченная к хр. Гаккеля, вытянутому от Гренландского шельфа к шельфу моря Лаптевых, параллельно линии островов Шпицберген - Земля Франца Иосифа - Северная Земля. [1, 2, 3].

Для детального изучения сейсмической активности в прибрежной арктической зоне Якутский филиал ФИЦ ЕГС РАН совместно с Полярным институтом им. Альфреда Вегенера, Гельмгольтцским центром полярных и морских исследований (Германия), и Институтом океанологии им. Ширшова (Москва) проводят совместные исследования по проекту «Seismicity and neotectonics of Laptev sea region (SIOLA)» с 2015 г. В настоящий момент получены цифровые записи с 25 пунктов наблюдений за период август 2016 г по май 2019 г.

2. Сейсмичность Арктической части Якутии за период август 2016 - декабрь 2018 гг.

Построена диаграмма распределения количества землетрясений по времени (август 2016 г. - декабрь 2018 г.) (рисунок 1). На ней выявляется несколько максимумов числа событий, которые тяготеют к зимнему периоду регистрации землетрясений.

Наибольшая сейсмическая активность наблюдалась в октябре-ноябре 2016 г. За этот период было зафиксировано 410 событий. Январь-февраль 2017 г. имел наименьшую активность, выявлено 22 толчка. С апреля по июль

2017 и 2018 гг. количество событий минимальное. Это связано с перерывом в регистрации сейсмологической аппаратуры. В сентябре-декабре 2017 г. было отмечено 333 события, в то время как за аналогичный период 2016 г. произошло 516. Казалось бы, здесь наблюдается сезонная активность, связанная с процессами замерзания, однако за период сентябрь-декабрь 2018 г. зафиксировано всего 126 событий. Это может свидетельствовать о присутствии таких явлений, связанных с мерзлотой, но, несомненно, большая часть землетрясений обусловлена эндогенными процессами и связана с подвижками по разломам.

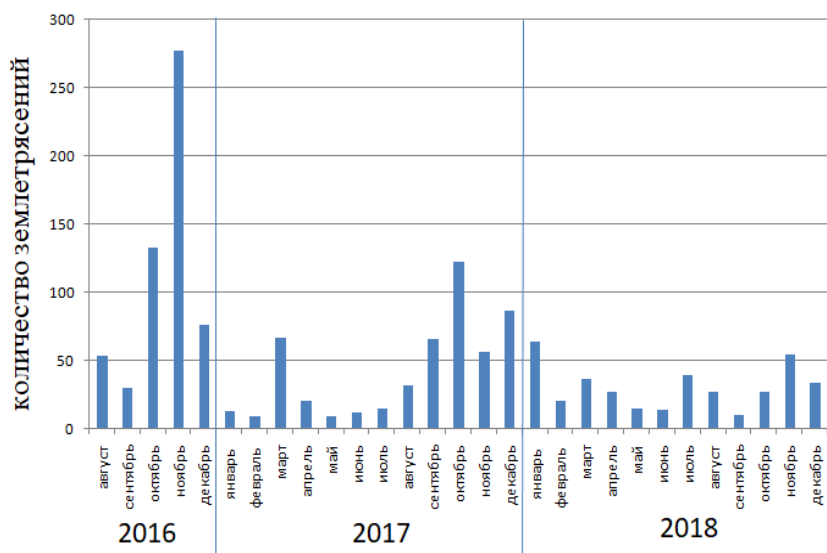


Рисунок 1. Диаграмма распределения количества землетрясений арктической части Якутии за период август 2016 г.- декабрь 2018 г.

В процессе исследования было зарегистрировано 1452 землетрясения. На карте можно выделить полосу эпицентров шириной 60-100 км, в длину около 350 км (рисунок 2). Причем большая часть событий сконцентрирована на двух участках: в среднем течении Оленекской протоки и губе Буор-Хая (южная часть моря Лаптевых). Для данной территории характерна мелкофокусная сейсмичность. Очаги 946 землетрясений зафиксированы на глубине до 10 км, 240 - на глубине 11-

20 км, 266 - на глубине 21-30 км. По энергетическому классу преобладают слабые землетрясения с $K_p < 6$, их общее количество 804. Эпицентры с $K_p=6-7.9$ зафиксированы 558, сильные с $K_p > 7.9$ - 90 событий. Наиболее сильные толчки произошли с $K_p=11.5$ и $K_p=11.3$.

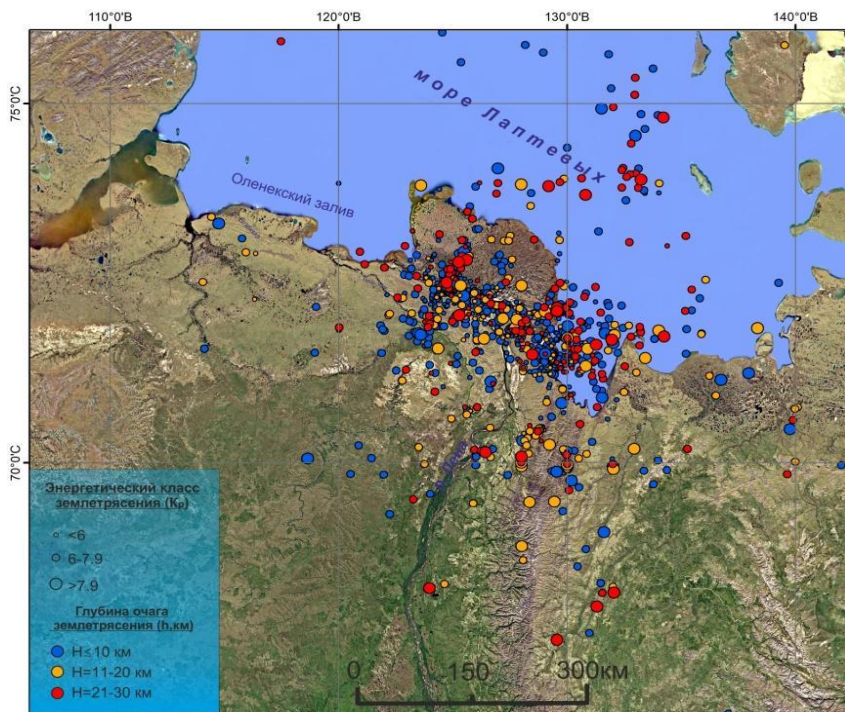


Рисунок 2. Сводная карта эпицентров землетрясений арктической части Якутии за период августа 2016 г. - декабрь 2018 г.

3. Выводы

Таким образом, район дельты реки Лена, является сейсмически очень активной в настоящее время. Большая часть эпицентров тяготеют к Дюлюнскому разлому, пересекающему у основания дельту названной реки [3]. На данной территории ежегодно происходит более 500 землетрясения. Соответственно, сейсмический мониторинг за данной территорией нужно продолжить и усилить, путем установки дополнительных сейсмических станций на Оленекской протоке дельты р.

Лена, губа Буор-Хая. Полученные материалы позволят существенно расширить знания о напряжённом состоянии земной коры, и дать оценку уровня сейсмической опасности, ряда активных участков территории.

4. Литература:

- [1] Avetisov G.P. Seismically active zones of the Arctic // S-P.:VNIIOkeanologiya. 1996.163 pp.
- [2] Gramberg I.S., Demenitskaya R.M., Sekretov S.B. System of riftogenic grabens of the Laptev Sea shelf as a missing link in the rift belt of the Gakkel ridge - Momsky ridge // DAN SSSR. 1990.Vol. 11, no. 3. pp. 689-694.
- [3] Imaev V.S., Imaeva L.P., Kozmin B.M. Seismotectonics of Yakutia // М.: GEOS, 2000.227 pp.

УДК 551.12

ПРИРОДА ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ЭВОЛЮЦИИ ЗЕМЛИ

Владимир Шкодзинский

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

NATURE OF THE EARTH'S GEOLOGICAL EVOLUTION

Vladimir Szkodzinski

Diamond and Precious Metals Geology Institute, Siberian Branch, Russian
Academy of Sciences, 39 Lenina ave., Yakutsk, 677000, Russia

Annotation. Numerous evidence Earth's hot heterogeneous accretion allow explain the main features of evolution on it geological processes. They allow to highlight four stages of its evolution: panmagmatic (4.56 – 3.8 billion years ago), crystallatzyion of the crust from acid layer of magma ocean 3.8 – 1.8 billion years), origin of continental lithosphere (1.8 - 1.1 billion years) and the modern continental-oceanic.

1. Введение

К настоящему времени установлены главные особенности эволюции геологических процессов на Земле [1, 2]. Однако с позиций господствующей гипотезы ее холодной гомогенной аккреции природа их

до сих пор остается неясной. Полученные в последние годы многочисленные доказательства горячей гетерогенной аккреции [3] позволяют полностью объяснить происхождение этих особенностей.

2. Природа геологической эволюции

Наиболее непонятной была причина образования в раннем докембрии кислой кристаллической коры. При обычно предполагаемом возникновении магм путем частичного плавления она не могла сформироваться, так как кислые выплавки в первичных ультраосновных породах могли возникать только при давлении менее 0,3 ГПа. Однако на соответствующей этому давлению глубине менее 12 км при принимаемой холодной аккреции не могла существовать температура более 1000° С, необходимая для начала плавления. При горячей аккреции уже на раннем этапе образования мантии существовал глобальный магматический океан. Его придонная часть кристаллизовалась и фракционировала под влиянием давления нагрузки возникавших верхних частей. Вследствие пониженного еще гравитационного поля Земли и небольшой глубины раннего магматического океана его придонное фракционирование было низкотемпературным. Это привело к образованию большого количества кислых остаточных расплавов. Они всплывали и впоследствии сформировали кислую кристаллическую кору. Вследствие роста плотности от верхнего кислого слоя до перидотитового нижнего при остывании в магматическом океане не возникала конвекция расплавов. Поэтому он длительно кристаллизовался сверху вниз в результате преимущественно кондуктивных теплопотерь [3]. Расплавленное состояние верхней оболочки Земли объясняет отсутствие на ней пород древнее 4 млрд. лет и кратеров гигантской метеоритной бомбардировки, завершившейся 3,8 млрд. лет назад. В это время на Земле существовала *панмагматическая* стадия эволюции (рисунок).

Затвердевавшие верхние части кислого слоя становились плотнее нижних и периодически тонули вместе с возникавшими на них ранними осадками. На их место всплывали средние и основные по составу расплавы. Это объясняет частую перемежаемость в раннедокембрийских кристаллических комплексах кислых ортогнейсов с более основными, присутствие в них парапрород, выдержанные на всех континентах магматические температуры их кристаллизации (600 – 800°), только регрессивную последовательность минералообразования в них,

отсутствие мощных перекрывающих толщ, теплоизолирующим влиянием которых мог бы быть обусловлен их метаморфизм погружения.

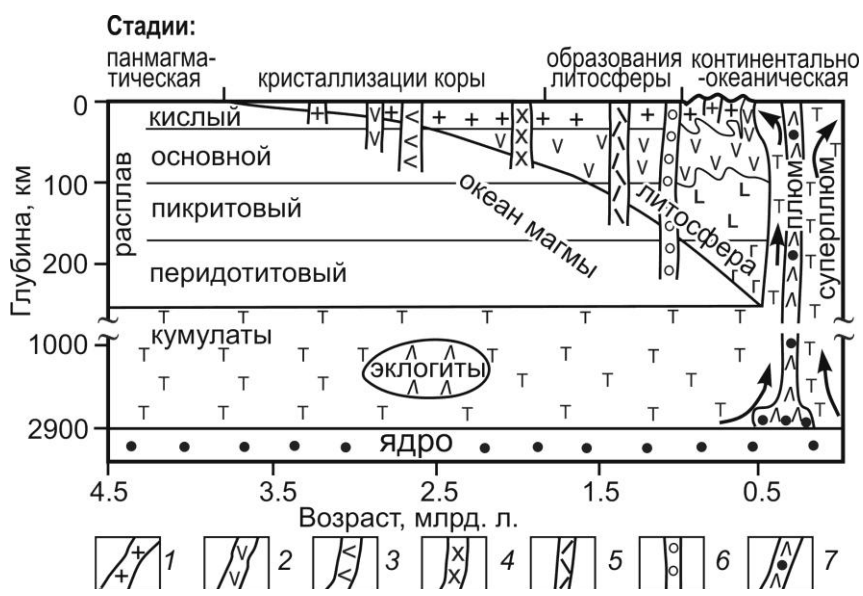


Рисунок. Эволюция глобальных геологических процессов и магматизма в истории Земли. Подъем различных магм: 1 – кислых, 2 – основных, 3 – коматиитовых, 4 – рапакиви и автономных анортозитов, 5 – щелочно-ультраосновных, 6 – кимберлитовых, 7 – океанических и траппов иногда с желваками самородного железа.

Отделение кислотных газов из магматического океана привело к большому развитию процессов кислотного выщелачивания затвердевавших пород и объясняет широкое распространение кварцитов и высокоглиноземистых гнейсов в кристаллических комплексах. Отделявшиеся рудоносные эманации магматического океана размещались в ранних осадочно-вулканогенных бассейнах и обусловили образование большого количества стратиформных месторождений. Огромный объем магматического океана является причиной часто очень больших запасов этих месторождений (Витватерсранд, Курская магнитная аномалия и др.). Вследствие возрастания среднего размера падавшего материала величина импактного тепловыделения при аккреции мантии постепенно возрастала.

Это обусловило существование обратного геотермического градиента в мантии и отсутствие современных геодинамических обстановок в раннем докембрии. Процессы подъема и опускания вещества в магматическом океане приводили к деформациям формировавшейся коры. В это время существовала стадия *кристаллизации кислой коры и тектоники малых тонких коровых плит*.

После завершения формирования кислой коры примерно 1,8 млрд. лет назад происходили кристаллизация более глубинных слоев магматического океана и образование литосферы древних платформ. Фракционирование этих слоев в условиях высокого давления обусловило образование щелочных магм. Тектоническая активность в это время была минимальной, так как магматический океан почти затвердел, а всемантийная конвекция еще не началась. Этот период может быть назван стадией *образования континентальной литосферы, щелочных магм и минимальной тектонической активности*.

Земное ядро изначально имело на тысячи градусов более высокую температуру, чем мантия, так как оно быстро сформировалось с участием мощных магнитных сил. Постепенный прогрев им мантии привел к возникновению в ней конвекции. Судя по времени образования океанических областей и начала активизации тектонических процессов, это произошло около 1,1 млрд. лет назад. Подъем и растекание вещества суперплюмов обусловили возникновение современных геодинамических обстановок. Декомпрессионное плавление ранних продуктов затвердевания расплавов магматического океана приводит к образованию примитивных по составу магм траппов и океанических областей. Изредка они выносят ксенолиты земного ядра.

Интенсивное пластическое течение вещества континентальной литосферы под влиянием давления океанических плит приводит к его фрикционному плавлению и к образованию разнообразных магм в зонах субдукции и коллизии. Это время является *континентально-океанической стадией тектоники литосферных плит*. На планетах земной группы небольшие по размеры ядра не смогли прогреть их мантии. Это является причиной отсутствия на них признаков существования плитной тектоники и современного магматизма.

3. Заключение

Таким образом, учет горячей гетерогенной аккреции Земли позволяет объяснить происхождение всех ее геосфер, эволюцию на ней

геодинамических обстановок, генезис и время формирования ее магматических пород. Разнообразие состава магматических пород обусловлено протеканием процессов магматического фракционирования. Как и все явления в природе, геологические процессы на Земле эволюционируют направленно и необратимо.

4. Литература:

- [1] Bogatkov O.A., Bogdanova S.V., Borsuk A.M. et al. Magmatic rocks. Evolution of magmatism in the Earth's history. M.: Nauka, 1987. 438 p. (in Russian).
- [2] Salop L.N. Geological evolution of the Earth in Precambrian. L.: Nedra, 1982. 334 p. (in Russian).
- [3] Shkodzinskiy V.S. Global petrology on modern data of hot heterogeneous accretion of the Earth. Yakutsk: Pub. SVFU, 2018. 244 p. (in Russian).

УДК 551.72

НОВАЯ СХЕМА РАСЧЛЕНЕНИЯ ПРОТЕРОЗОЙСКИХ ОБРАЗОВАНИЙ ВОСТОЧНОГО ПРИКОЛЫМЬЯ

Владимир Шпикерман, Екатерина Брусницына

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

NEW SCHEME FOR THE SEPARATION OF PROTEROZOIC FORMATIONS OF THE EASTERN KOLYMA REGION

Vladimir Shpikerman, Ekaterina Brusnitsyna

A.P. Karpinsky Russian Geological Research Institute,
74 Sredny ave., St. Petersburg, 199106, Russia

Annotation. New data have been obtained on dating zircons from terrigenous and volcanogenic strata, as well as subvolcanic formations from Precambrian sediments of the Eastern

Prikolymie. New data make it possible to radically revise the stratigraphic scheme for the Proterozoic formations of the region.

1. Введение

Верхнепротерозойские образования на территории Восточного Приколымья распространены весьма широко. Здесь расположены стратотипы большинства местных стратонов этого интервала разреза. В основе расчленения верхнепротерозойских образований лежат схемы, разработанные В.И. Ткаченко, Р.И. Протопоповым и др., по результатам работ ГДП-200, ГС-50 и тематических исследований. Эти схемы обобщены в материалах Третьего стратиграфического совещания по Северо-Востоку России и представлены в [1]. В то же время, по сути единственным возрастным репером здесь являлась чебукулахская серия с многочисленными остатками строматолитов керпыльского и лахандинского горизонтов среднего- верхнего рифея. Вулканогенная хакдонская серия всеми исследователями рассматривалась как стратон, с несогласием перекрывающий чебукулахскую серию и датировалась концом позднего рифея.

В результате наших исследований была кардинально пересмотрена стратиграфическая схема не только рифея, но и всего протерозоя. Это произошло потому, что благодаря U-Pb (SHRIMP) датированию нам удалось получить новый надежный возрастной репер разреза протерозоя, а именно – возраст хакдонской вулканической серии, которая оказалась не позднерифейской, как было единодушно принято на всех схемах, а раннепротерозойской.

2. Уточнение геологического строения территории по результатам изотопного датирования цирконов

Хакдонская серия выделена еще в 80-х прошлого века при работах ГК-200. За стратотипический принят разрез серии на водоразделе составляющих ручья Хак-Дон (приток Прав.Каменки). В составе серии преобладают метаморфизованные в зеленосланцевой фации вулканические породы, представленные контрастной ассоциацией трахибазальтов, трахиандезибазальтов, базальтов и трахириолитов. Широко распространены туфы основного состава, отдельные пачки

сложены туфопесчаниками, кварц-полевошпатовыми и полимиктовыми песчаниками, алевролитами и филлитовидными глинистыми сланцами; присутствуют пласты и линзы конгломератов. Общая мощность хакдонской серии 400-1400 м.

Возраст хакдонской серии изначально определялся как позднерифейский на основании её несогласного залегания на отложениях чебукулахской серии среднего- верхнего рифея. Верхняя граница определялась тем, что серия с размывом и структурным несогласием перекрывалась нижневендской сяпкинкой свитой [4, 5].

В 2006 г. А.К. Худолей, В.И. Ткаченко и др. впервые опубликовали U-Pb SHRIMP датировку вулканитов хакдонской серии - 1710 ± 21 млн. лет [3]. Однако эти данные не были учтены в обновленных стратиграфических схемах Приколымской СФО и в Решениях МСК 2009 г., хакдонская серия осталась на уровне верхнего рифея [1].

В процессе работы по составлению листа Q-56 (ГДП-1000/3) были датированы обломочные цирконы пачки кварц-полевошпатовых метапесчаников, залегающих выше хакдонских метариолитов в правом береговом обрыве р. Колымы (обр. 27038). Установлено, что наиболее молодой возрастной кластер обломочных цирконов отвечает возрасту границы нижнего протерозоя и раннего рифея (1660 млн. лет). Аналогичные результаты получены по возрасту обломочных цирконов из пачки метапесчаников которые залегают среди вулканитов хакдонской серии (обр. 27036/1¹).

Помимо обломочных, были датированы цирконы из эффузивов хакдонской серии, нами получены две конкордантные U-Pb (SHRIMP) даты: 1710.5 ± 3.8 млн. лет (обр. 27037¹) и 1738 ± 5.0 млн. лет (обр. 124-142¹). Кроме того, из субвулканического тела трахириодацитов хакдонского вулканического комплекса получена U-Pb (SHRIMP) датировка 1704 ± 5.0 млн. лет (обр. 27039¹).

На основании этих данных вулканиты хакдонской серии в настоящее время сопоставляются с эльгэтэйской свитой нижнепротерозойской улканской серии юго-восточного обрамления Сибирской платформы [1]. Сходство очевидное: состав и U-Pb возраст вулканитов, строение разреза и др. Вывод однозначен: хакдонская серия Восточного Приколымья - это улканий, возрастной аналог верхнего карелия.

На основании полученных данных по изотопному U-Pb возрасту хакдонской серии ее, часто наблюдаемая граница с чебукулахской серией, интерпретируется как пологий, нередко послойный надвиг. Тесно ассоциирующие с вулканитами толщи кварц-полевошпатовых метапесчаников, по данным возрастных спектров детритовых цирконов, также следует относить к хакдонской серии.

Изучение возрастных спектров обломочных цирконов позволило уточнить возраст оссалинской серии. В соответствии с [1] г. серия датируется средним рифеем. Выполненные в процессе составления листа Q-56 Госгеолкарты-1000/3, датирование обломочных цирконов средней части оссалинской серии (стратотип ороёкской свиты по правому борту р. Колыма ниже устья руч. Ороёк) указывают на более древний возраст этой части разреза серии. В стратотипе ороёкской свиты не обнаружено цирконов моложе 1500 млн. лет, несмотря на то, что в свите присутствуют туфогенные породы. Самая молодая популяция цирконов в стратотипе свиты 1550-1720 млн. лет. Максимальные значения этой популяции соответствуют нижележащей хакдонской серии, а более молодые (раннерифейские цирконы), скорее всего, синхронны самой ороёкской свите. Однако данные о согласном залегании на оссалинской серии шаманихинской свиты чебукулахской серии (Шульгина и др., 1999 г.), позволяют расширить возраст рассматриваемой серии до первой половины среднего рифея. Это подтверждается и популяцией цирконов 1350-1200 млн. лет в нижневендской сяпякинской свите, перекрывающей со структурным несогласием ороёкскую свиту в районе ее стратотипа (обр. 27053¹).

3. Выводы

Таким образом, схема расчленения протерозойских образований Восточного Приколмыя, основанная на новых данных, полученных при составлении листа Q-56 Госгеолкарты-1000/3 обобщенно представляется в следующем виде (снизу-вверх).

1. Хакдонская серия раннепротерозойского возраста (400-1400 м). Нижняя граница достоверно не установлена, скорее всего, серия со структурным несогласием перекрывает колымскую серию, возраст которой, согласно Решениям [1] – ранний архей.

2. Оссалинская серия раннего- среднего рифея (2450 – 2850 м), состоящая из лучистинской толщи, ороёкской свиты и заломнинской толщи.
3. Чебукулахская серия среднего- позднего рифея (1000-1400 м), состоящая из шаманихинской, савельевской, налучинской толщ.
4. Спякинская свита раннего венда (500-800 м).
5. Коркодонская свита позднего венда (400-500 м). Свита перекрывается фаунистически охарактеризованными отложениями нижнего кембрия (кирпичниковская свита).

4. Литература:

- [1] Decisions of the Third Interdepartmental Regional Stratigraphic Meeting on Precambrian, Paleozoic, and Mesozoic of the North-East of Russia // St. Petersburg: VSEGEI, 2009. - 267 p.
- [2] Guryanov V.A., Peskov A.Yu. Ulkan paleorift structure: developmental features, geodynamic situation (southeastern border of the Siberian platform) // Regional Geology and Metallogeny, No. 62, 2015. P. 57-63.
- [3] Khudoley A.K., Tkachenko V.I., Matukov D.I., Berezhnaya N.G., Sergeev S.A. New age data on Precambrian volcanic rocks of the khakdon group, eastern Kolyma region // Doklady Earth Sciences. 2006. T. 411. № 9. С. 1357-1361.
- [4] Tkachenko V.I. Upper Riphean and Lower Cambrian volcanogenic formations of the Prikolymo-Omolon region // Abstracts dokl. III region. petrograph. Meetings on NE USSR. Magadan, 1988.
- [5] Tkachenko V.I. Ordovician deposits of the articulation zone of the Prikolymsky uplift // Regional geodynamics and stratigraphy of the Asian part of the USSR. L., 1992.S. 31-48.

¹ Коллекция Шпикермана В.И., 2017 г.

² Коллекция Прокопьева А.В., 2017 г.

**ПЕТРОГРАФИЯ, ГЕОХИМИЯ И
ГЕОДИНАМИЧЕСКАЯ ОБСТАНОВКА
ФОРМИРОВАНИЯ ПОЗДНЕЮРСКИХ ДАЕК
ВЬЮНСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ
(СЕВЕРО-ВОСТОК ЯКУТИИ)**

Кюннэй Яковлева¹, Валерий Фридовский¹, Антонина Верниковская²

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

² ФГБУН Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А.
Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. академика
Коптюга, 3

**PETROGRAPHY, GEOCHEMISTRY AND GEODYNAMIC
SETTING OF LATE JURASSIC DYKES OF THE VYUN
DEPOSIT (NORTH-EAST YAKUTIA)**

Kiunnei Iakovleva¹, Valery Fridovsky¹, Antonina Vernikovskaya²

¹ Diamond and Precious Metals Geology Institute, Siberian Branch, Russian
Academy of Sciences, 39 Lenina ave., Yakutsk, 677000, Russia

² Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics, Siberian Branch of
Russian Academy of Sciences, 3 ave. Akademika Koptyuga, Novosibirsk,
630090, Russia

Annotation. The dykes of the Vyun gold ore deposit area are located on the eastern margin of the Siberian craton. They have a wide variety of petrographic compositions - basalts, andesibasalts, trachy-andesibasalts, andesites, trachyandesites, porphyry diorite, dacites, rhodacites, plagiordiacites and granodiorite-porphyrines. The results of geochemical studies, as well as the results of new U-Pb (SHRIMP-II) data are presented. The rocks exhibit features close to OIB, E-MORB and MORB, and have a pronounced negative anomaly of Ta and Nb. These dikes were formed in the interval 151.5-147 Ma ago in the setting of an active continental margin from enriched and depleted mantle sources possibly involving suprasubduction components.

1. Введение

Изучаемые дайковые образования Вьюнского золоторудного поля, Яно-Колымского золотоносного пояса, расположены в западной части Верхояно-Колымской складчатой области. Дайки прорывают терригенные отложения (Т-Ј) в зоне Чаркы-Индибирского разлома, разделяющего Кулар-Нерский и Полоусно-Дебинский террейны.

Исследуемые дайковые породы протяженностью до 4 км и мощностью до 30-40 м имеют преимущественно северо-восточное простирание и близвертикальное падение [1]. Они изучались в поверхностных выработках и в коренных обнажениях ручьев Вьюн и Шумный.

Определение главных компонентов производилось с помощью силикатного анализа (39 образцов) в ИГАБМ СО РАН (г. Якутск). Минералогический состав пород был изучен на электронном сканирующем микроскопе «Тескан МІРА 3 LMU» (ИГМ СО РАН, г. Новосибирск). Определение содержаний редкоземельных элементов в породах (10 проб) выполнено с помощью масс-спектрометров – квадрупольного Agilent7500se (Япония) и высокого разрешения Element2 (Германия) в лабораториях ИГХ СО РАН (г. Иркутск). Изотопный U-Pb анализ цирконов из двух дайковых пород выполнен на ионном микронзонде SHRIMP-II в ВСЕГЕИ (г. Санкт-Петербург).

2. Основной раздел

Было изучено 16 дайковых тел, характеризующихся широким разнообразием петрографических составов. Среди них установлены базальты, андезибазальты, трахиандезибазальты, андезиты, трахиандезиты, диорит-порфиры, дациты, риодациты, плагиориодациты, гранодиорит-порфиры, а также дайки зонального строения (андезибазальты-андезиты-дациты и андезибазальты-андезиты-трахиандезиты-диориты-гранодиорит-порфиры). В породах основного и среднего состава интенсивно проявлены вторичные изменения – карбонатизация, хлоритизация, пелитизация и т.д. Они имеют массивную текстуру и порфировую структуру с пилотакситовой, гиалопилитовой, офитовой и микролитовой основными массами. Реликтовые фрагменты вкрапленников (об. 10-20%) представлены клинопироксеном (до 1 мм), плагиоклазом (до 2 мм). В андезибазальтах, андезитах и диорит-порфирах присутствуют зерна роговой обманки (до 2 мм). Для базальтов характерны зерна оливина (до 1 мм) с келифитовой каймой. Основная масса этих пород состоит из тех же минералов что вкрапленники, а также

калиевого полевого шпата в трахиандезитах и трахиандезибазальтах. Акцессорные и рудные минералы представлены апатитом, рутилом, цирконом, ильменитом, пиритом и магнетитом.

Кислые породы менее изменены. Они имеют массивную текстуру порфиоровую и порфировидную структуру с мелкозернистой полнокристаллической, гипидиоморфной и фельзитовой основной массой. Во вкрапленниках (об. 20-30%) встречаются плагиоклаз (до 5 мм) с полисинтетическими двойниками и антипертитовой структурой, калиевый полевой шпат (до 2 мм), ксеноморфный кварц, а также длиннопризматическая роговая обманка (до 3 мм) и биотит (до 1 мм). В риодацитах установлены единичные зерна клинопироксена (до 1 мм). Из акцессорных минералов присутствуют апатит, циркон, сфен, шпинель, а из рудных – пирит, магнетит и ильменит.

В исследуемых дайковых породах наблюдается широкое варьирование содержаний SiO_2 (46.8-70.5 мас.%), K_2O (0.55-4.06 мас.%) и суммы $\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$ (2.63-7.59 мас.%). Они относятся к породам низко- и высококалиевой известково-щелочной и шошонитовой серий. Изученные породы имеют однотипный характер распределений трёх элементов, проявленный в отсутствии аномалий Eu, повышенных содержаниях крупноионных литофильных (Rb, Ba и K) и высокозарядных (Th и U) элементов подобных OIB, концентрациях ЛРЗЭ промежуточных между OIB и E-MORB, плоских распределениях ТРЗЭ, сходных с MORB. Наблюдаемые отчетливые отрицательные аномалии Ta и Nb возможно указывают на присутствие в магматическом источнике этих пород надсубдукционной компоненты.

Для дацита и гранодиорит-порфира из зональных даек был определен U-Pb возраст цирконов. Цирконы (8 зерен) из дацита представлены коричневыми и полупрозрачными зернами призматической формы и их обломками (длиной 150-300 мкм) с отчетливой магматической зональностью на CL снимках. Содержание U варьирует от 342 до 2983 ppm, Th=100-737 ppm, Th-U=0.17-0.72. Конкордантный U/Pb возраст 147.0 ± 1.3 млн лет (СКВО 2.1).

Цирконы (9 зерен) из гранодиорит-порфира имеют коричневый и рыжий цвет. Они представлены прозрачными и полупрозрачными изометрическими зернами и их обломками, длиной от 150 до 400 мкм. На CL снимках в зернах установлена магматическая зональность, а в некоторых субидиоморфных зернах – секториальная зональность. Цирконы в этой породе разделяются на две возрастные группы. Для

первой группы цирконов содержание урана варьирует от 236 до 1860, Th=51-372, Th/U=0.13-0.39. Конкордатный возраст составляет 151.5 ± 1.5 млн лет (СКВО 0.52), который отвечает времени кристаллизации этой породы. Вторая группа представлена захваченными цирконами с содержаниями U = 246, 228 и 597 ppm, Th = 105, 85 и 112 ppm. Отношение Th/U=0.19-0.44. Для них получены древние возрастныe дискордантныe оценки ($^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$) 1865 ± 21 млн лет, 1829 ± 16 млн лет, 1751 ± 10 млн лет.

3. Выводы

Проведенные комплексные исследования дайковых пород основного, среднего и кислого составов Вьюнского рудного поля позволяют сделать вывод о вероятности их формирования в верхней коре (в интервале 151.5-147 млн. лет) в обстановке активной континентальной окраины, с участием обогащенного и истощенного мантийных источников и, возможно, надсубдукционной компоненты.

4. Благодарности

Исследование выполнено по плану НИР ИГАБМ СО РАН, при финансовой поддержке РФФИ и Республики Саха (Якутия) в рамках научного проекта № 18-45-140040 p_a

5. Литература:

[1] State geological map of the Russian Federation on a scale of 1: 200000 (Second Edition). Verkhoyansk series. Sheet Q-54-XIX, XX (Upper Adychi). Explanatory note / L.G. Vdovina, V.D. Scuba diving. Ed. L.A. Musalitin - State Unitary Enterprise State Enterprise "Yangeologiya". - Batagay, 2005. (In Russian).

ГЕОЛОГИЯ И МИНЕРАЛОГИЯ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ СЕВЕРО-ВОСТОКА РОССИИ

УДК 504.064:631.438:533.679

ПРИРОДНЫЙ ЦЕОЛИТ КАК ГЕОХИМИЧЕСКИЙ БАРЬЕР НА ПУТИ МИГРАЦИИ РАДИОНУКЛИДОВ НА ОБЪЕКТЕ ПЯВ «КРАТОН-3»

Александр Александров, Сергей Ефимов, Лариса Ерофеевская
ФИЦ «ЯНЦ СО РАН» ФГБУН Институт проблем нефти и газа СО РАН,
677980, Россия, г. Якутск, ул. Петровского, 2

NATURAL ZEOLITE AS A GEOCHEMICAL BARRIER TO RADIONUCLIDE MIGRATION AT THE UNE «KRATON-3»

Aleksander Aleksandrov, Sergey Efimov, Larisa Erofeevskya
Institute of Oil and Gas Problems Siberian Branch of the Russian Academy of
Sciences, 2 Petrovsky st., Yakutsk, 677980, Russia

Annotation. Natural zeolite from the Khonguruu deposit (Yakutia, Russia) was used as a base material. A brief description of the material composition and the averaged physical and chemical properties of the zeolite of the clinoptilolite-heilandite series are given. Investigations performed in 2007-2008 showed the continuous water migration of radionuclide ^{137}Cs and ^3H (tritium) on the object UNE «Kraton-3» in the Markha river basin. Experimental studies and mathematical calculations helped to state the possibility of using natural zeolites as a geochemical barrier in the path of water radionuclide migration. Parameters of a geochemical barrier based on zeolites of the Khonguruu field are suggested.

1. Введение

Подземный ядерный взрыв (ПЯВ) «Кратон-3» на территории Мирнинского района Республики Саха (Якутия) мощностью 22 (19) кт по заданию Мингеологии СССР, проведенный 24.08.1978 г. на глубине 577 м в карбонатных толщах, оказался аварийным. Вследствие нарушения технологии работ, при взрыве произошла частичная разгерметизация забивки «боевой» скважины и аварийный выброс в атмосферу радиоактивных газов и аэрозолей. В составе загрязнителей в очагах ПЯВ обнаружены особо опасные изотопы плутония (с периодом полураспада 24 тыс. лет) [1, 2].

Рабочим проектом реабилитации загрязненной территории, разработанной ФГУП ВНИИ Промтехнологии Минатома РФ кроме инженерно-технических мероприятий, на пути миграции искусственных радионуклидов (ИРН) ^{90}Sr , ^{137}Cs предусмотрено обустройство геохимического барьера из цеолита месторождения Хонгуруу.

Институт проблем нефти и газа СО РАН (г. Якутск) совместно с Институтом геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН (г. Москва) провели исследования физико-химических свойств цеолитов месторождения Хонгуруу с целью создания на их основе геохимического барьера на пути миграции радионуклидов.

2. Характеристика цеолитового сырья

В качестве исходного материала использован природный цеолит месторождения Хонгуруу, расположенного в 22 км к востоку от пос. Кемпендэй (Сунтарский район, Якутия) в отрогах одноименного хребта. В структурном плане месторождение располагается на юго-восточном борту Таас-Туусской солянокупольной антиклинальной структуры.

Пласты цеолитовых пород месторождения Хонгуруу залегают согласно с вмещающими их осадочными породами верхнего девона и нижнего карбона. Всего выделяется четыре пласта мощностью от 6,5 до 13 м. Цеолитовые породы сложены минералами клиноптилолит-гейландитового ряда с незначительными примесями кварца, полевых шпатов, обломков кремнистых пород, биотита, кальцита и глинистых минералов. Содержание цеолитов в породе - 70-98%. Запасы цеолитового сырья на месторождении оцениваются в 30-35 млн.т.

Усредненный химический состав цеолитовых пород по 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-химические свойства цеолитовых пород месторождений по типам сырья следующие: содержание цеолитов в породе колеблется от 70 до 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°C; оптимальная температура дегидратации - 300-550°C [3].

3. Экспериментальные работы

Установлено, что по коэффициенту внутренней диффузии цеолит месторождения Хонгуруу уступает лишь цеолиту месторождения Белый пласт (Болгария), а по коэффициенту распределения Sr^{2+} даже превосходит болгарский цеолит. Экспериментальные работы показали высокую селективность цеолита к ионам Sr ($K_d = 2 \cdot 10^4$ мл/г) и Cs ($K_d = 5 \cdot 10^4$ мл/г) и по данному параметру якутский цеолит превосходит цеолиты других месторождений мира [4].

В 2007 г. на путях миграции ИРН и около могильника, устроенного весной 2007 г., были заложены 9 опытных участков. Общая масса цеолита фракцией 0,05-8 мм составила 4 т.

Полевые наблюдения 2008 г. показали, что миграция ИРН на объекте продолжается. Цеолит на участках сорбирует ^{90}Sr и ^{137}Cs и их содержание, через 1 год после закладки, соответственно, составило 13,9-28,4 и 7,6-54,5 Бк/кг. В почвенной и поверхностной воде концентрация ^{90}Sr составляет: 0,27-2,8 Бк/л. В воде обнаружен 3H , его содержание варьирует в пределах 18-68 Бк/л.

Предложены параметры траншеи-барьера для заполнения цеолитом, добываемого из 1-го карьера, как сырье, обладающее повышенными ионообменными свойствами. Основной материал барьера - смесь фракции цеолита 0,01-8 мм. Верхний 0,5 м слой – цеолит фракции 1-3 мм. Проходка траншеи и укладка цеолита слоями по 0,5 м механизированная, с утрамбовкой. Общая масса цеолита для возведения геохимического барьера на объекте «Кратон-3» – 1845 т. Рассчитано защитное действие цеолита в барьере шириной 2 м в зависимости от зернения и скорости фильтрации модельного раствора р. Марха.

4. Заключение

В ходе проведенных исследований выявлены признаки миграции радионуклидов из могильника в р. Марха. Также экспериментальными полевыми работами показана эффективность применения природных цеолитов месторождения Хонгуруу в качестве геохимического барьера на

пути миграции искусственных радионуклидов грунтовыми и поверхностными водами.

5. Благодарности

Работа выполнена по государственному контракту Министерства охраны природы РС(Я) № 10 от 02.05 2008 г.

6. Литература:

- [1] Burtzev I.S., Kolodeznikov E.N. Radiation environment in diamondiferous regions of Yakutia //Yakutsk: 1997, p.52 (in Russian).
- [2] Gedeonov A.D., Kuleshova I.N., Bakushkina L.P. Results of the study of radioactive pollution of the objects «Kristall» and «Kraton-3» //Radiation pollution of the territory of the Republic of Sakha (Yakutia): problems of radiation safety, Yakutsk, 1993, pp. 214-232 (in Russian).
- [3] Kolodeznikov K.E. Zeolite-bearing provinces in the north of the Siberian platform //Yakutsk: Yakutsk Branch of the SB RAS, 2003, p. 224 (in Russian).
- [4] Nikashina V.A., Serova I. B., Katz E. M., Tikhonov N. A., Tokmachev M.G., Novgorodov P.G. Development of geochemical barriers on the base of clinoptilolite-containing tuffs for solving the ecological problems arising after the abnormal underground nuclear explosion on the object «Kraton-3» (Yakutia) //Radiochemistry-2009, Moscow, 2009, p. 314 (in Russian).

УДК 552.11

ПЕТРОГРАФИЧЕСКИЕ ПРИЗНАКИ ГЕНЕЗИСА «БЕЛЫХ ГРАНИТОВ» КЕСТЁРСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ, ЯКУТИЯ

Виктор Алексеев

ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский горный университет, 199106, Россия,
г. Санкт-Петербург, Васильевский остров, 21 линия д.2

PETROGRAPHIC SIGNS OF GENESIS OF THE «WHITE GRANITES» FROM KESTERSKY DEPOSIT, YAKUTIA

Viktor Alekseev

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

Annotation. Petrographic features of the «white granites» from Kestersky deposit in Yakutia are investigated. The conclusion is drawn on magmatic genesis of «white granites ». Kestersky harpolith and with the same name tin-rare-metal deposit are a part of the Far East rare-metal granites superprovince.

1. Введение

Доказательство магматического генезиса редкометалльных литий-фтористых гранитов (ЛФГ) позволило открыть новые промышленные типы месторождений, выделить провинции редкометалльных гранитов, в том числе Дальневосточный пояс ЛФГ [1]. В докладе рассмотрены петрографические особенности «белых гранитов» (БГ) Кестёрского месторождения в Восточной Якутии, свидетельствующие об их магматическом генезисе. В Арга-Ыннах-Хайском массиве в междуречье Яны и Борулаха расположено Кестёрское оловянно-редкометалльное месторождение – грейзеновая залежь в эндоконтактовой части одноименного гарполита БГ. Долгое время кестёрский гарполит рассматривали как интрузию «аляскитов». Наличие в апикали залежи грейзенов и постепенный переход от них к БГ породили гипотезу об апогранитах: магматическими минералами БГ считались микроклин, кварц-1, циркон и апатит, а альбит, лепидолит, кварц-2, топаз, амблигонит, касситерит относились к постмагматическим [2]. Со временем утвердились представления о магматическом происхождении БГ и был выделен кестёрский комплекс редкометалльных гранитов [3]. Но встречаются случаи возвращения к гипотезе «апогранитов» [4], что входит в противоречие с отсутствием метасоматической зональности гарполита.

2. Основной раздел

Гарполит залегает в андезиновых гранитах и вскрыт карьером, канавами и шурфами. Контакты БГ с андезиновыми гранитами резкие, в БГ наблюдаются ксенолиты вмещающих гранитов. Висячий контакт осложнен апофизами в андезиновые граниты. Описаны магматические брекчии из обломков андезиновых гранитов и гранодиоритов, сцементированных БГ. В эндоконтакте гарполита залегают штокшайдеры мощностью 0.25–0.5 м [2, 3].

БГ представляют собой массивные сахаровидные породы с минеральным составом (об. %): альбит № 2–7 (28–41), микроклин (13–29), кварц (23–

41), светлая слюда (7–13), топаз (0.5–3), монтебразит (0.1–3). На дневной поверхности преобладают лепидолит-монтебразитовые БГ, сменяющиеся с глубиной мусковит-топазовыми. Структура БГ равнозернистая, от крупно- до мелкозернистой. Характерна ведущая роль альбита двух генераций. Относительно крупный толстотаблитчатый альбит № 1 с удлинением 1:3 – 1:6 образует каркас породы; мелкий лейстовый альбит № 2 (1:5 – 1:12) заполняет интерстиции и образует вростки в микроклине и кварце. Микроклин-пертит ксеноморфный, а кварц изометричный – дипирамидальный или округлый. В кварце отмечена структура «снежного кома»: зональные включения альбита, лепидолита и монтебразита.

М.А. Романовой путем математического моделирования доказана магматическая природа структуры БГ [5]. Нами с помощью компьютерного анализатора изображений проведен корреляционный анализ минерального состава и структуры БГ. Сильная корреляционная связь размеров магматических микроклина, кварца 1, с одной стороны, и альбита, кварца 2, светлой слюды и акцессориев с вероятностью более 0.95 показывает отсутствие в БГ вторичных минералов. Микроклин, кварц, альбит, светлая слюда, топаз, монтебразит, касситерит солидарно увеличиваются или уменьшаются в размерах и, следовательно, формируются в едином минералообразующем процессе (Таблица 1).

Таблица 1

**Корреляция размеров минералов в «белых гранитах»
Кестёрского месторождения**

	<i>Mc</i>	<i>Ab</i>	<i>Qtz</i>	<i>Lpd</i>	<i>Tr</i>	<i>Mnb</i>	<i>Acc</i>
<i>Mc</i>		<u>0.52</u>	<u>0.47</u>	<u>0.39</u>	0.16	0.10	-0.17
<i>Ab</i>	0		<u>0.66</u>	<u>0.57</u>	<u>0.21</u>	0.11	<u>-0.39</u>
<i>Qtz</i>	0	0		<u>0.49</u>	0.10	0.03	<u>-0.34</u>
<i>Lpd</i>	0	0	0		<u>0.42</u>	<u>0.45</u>	<u>-0.12</u>
<i>Tr</i>	0.20	0.09	0.42	0		<u>0.41</u>	0.02
<i>Mnb</i>	0.41	0.39	0.82	0	0		-0.11
<i>Acc</i>	0.17	0	0	0.34	0.88	0.36	

*Примечание. Прямым шрифтом указаны коэффициенты корреляции (подчеркнуты значимые), курсивом – уровни значимости ($p = 0.05$); «0» – < 0.01 . Использовано 101088 замеров в 109 пробах гранитов. Минералы: *Ab* – альбит, *Acc* – акцессории, *Lpd* – лепидолит, *Mc* – микроклин, *Mnb* – монтебразит, *Qtz* – кварц, *Tr* – топаз.*

В БГ установлены типичные для гранитов закономерности: отрицательная корреляция содержания кварца и полевых шпатов; прямая зависимость содержания аксессуаров от содержания кварца. Сильно коррелируют концентрации топаза и монтебрита, что отражает глиноземистость и фтористость редкометалльной гранитовой магмы (Таблица 2).

Гипотезе метасоматического генезиса БГ противоречат следующие факты: 1) отсутствие корреляция между содержаниями кварца, топаза и слюды; 2) отрицательная корреляция между размером кварца и содержанием топаза (-0.31), касситерита (-0.24), колумбита (-0.29), других аксессуаров (-0.34); 3) отрицательная корреляция между размерами аксессуаров и кварца (-0.34), альбита (-0.39); 4) отрицательная корреляция между размером альбита и содержанием топаза (-0.30) (Таблицы 1, 2).

Таблица 2

**Корреляция содержаний минералов в «белых гранитах»
Кестёрского месторождения**

	<i>Mc</i>	<i>Ab</i>	<i>Qtz</i>	<i>Lpd</i>	<i>Tr</i>	<i>Mnb</i>	<i>Acc</i>
<i>Mc</i>		0.01	<u>-0.52</u>	-0.14	<u>-0.19</u>	-0.03	-0.14
<i>Ab</i>	0.99		<u>-0.70</u>	<u>-0.43</u>	-0.04	0.05	<u>-0.41</u>
<i>Qtz</i>	0	0		0.13	<u>-0.16</u>	<u>-0.29</u>	<u>0.33</u>
<i>Lpd</i>	0.19	0	0.22		<u>-0.25</u>	-0.05	-0.02
<i>Tr</i>	0.07	0.68	0.14	0.02		0.67	0.14
<i>Mnb</i>	0.79	0.65	0	0.67	0		-0.07
<i>Acc</i>	0.20	0	0	0.89	0.20	0.51	

Примечание. См. Таблицу 1

3. Заключение

Таким образом, «белые граниты» характеризуются петрографическими признаками магматических пород. Они являются аналогами литий-фтористых гранитов многих редкометалльных месторождений Евразии. Кестёрский гарполит и генетически связанное с ним одноименное оловянно-редкометалльное месторождение входят в состав Дальневосточной суперпровинции редкометалльных гранитов.

4. Литература:

[1] Kovalenko, V.I. Petrology and geochemistry of rare-metal granitoids. Novosibirsk: Nauka, 1977. 206 p. (in Russian).

- [2] Flerov, B.L., Indolev, L.N., Jakovlev, Ya.V. et al. Geology and genesis of ore-tin deposits of Yakutia. M.: Nauka, 1971. 318 p. (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. N 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. N 1(13). pp. 47-52. (in Russian).
- [5] Romanova M. A. White granites of Arga-Ynnykh-Khaya (Yakutia) and the mechanism of their formation // Researches on mathematical geology. L.: Nauka, 1978. pp. 25-40. (in Russian).

УДК 553.411

ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ РУД СПОКОЙНИНСКОГО УЗЛА

Галина Анисимова, Лариса Кондратьева, Вероника Кардашевская
ФГБУН Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН,
677000, Россия, г.Якутск, пр-т Ленина, 39

SUBSTANCE COMPOSITION OF ORES OF THE SPOKOININSKIY ORE NODE

Galina Anisimova, Larisa Kondratieva, Veronika Kardashevskaja
Diamond and Precious Metals Geology Institute, Siberian Branch, Russian
Academy of Sciences, 39 Lenina ave., Yakutsk, 677000, Russia

Annotation. The material composition of ores from the Spokoininsky ore node has been studied. Quartz, calcite, dolomite, feldspar, and barite prevail among the vein minerals. Ore minerals can be classified into two groups: macrominerals and trace minerals. Macrominerals include hematite, pyrite, chalcopyrite, galenite, pyrrhotite, sphalerite, arsenopyrite and ilmenite, and trace minerals include chalcocite, native gold and acanthite. Cu, Au, Ag, Te, Sn, Ir, Os, Y intermetallics, Au, Ag tellurides such hessite and petzite are sporadically observed. Accessory minerals are monazite, zircon, rutile, and thorite.

Contrast mineralization has predetermined a wide range of native gold fineness (543 to 1000%).

1. Введение

Проведено изучение вещественного состава руд Спокойнинского рудного узла. 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. Геологическая обстановка

Спокойнинский рудный узел расположен в верховьях правого притока р. Тимптона – р. Улахан-Тараканда (Бол. Тырканда). 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 гранулитогнейсовой области.

Геологическое строение территории представлено архейским кристаллическим фундаментом, сложенным гнейсами и кристаллосланцами сугамской и кюриканской свит желтулинской серии нижнего архея. Породы фундамента мигматизированы и вмещают согласные и секущие тела гранитов, ультрабазитов, габбро-диоритов и габбро-диабазов. Мезозойские магматиты представлены полями даек, мелкими штоками, сложенными породами монцонит-сиенитовой и щелочно-сиенитовой формаций различного состава: от диорит-порфиритов до щелочноземельных сиенитов, монцонитов, кварцевых сиенитов и граносиенитов. Оруденение связано с протяженными и мощными минерализованными и жильными зонами системы разрывных нарушений Тыркандинского, Спокойнинского и Суннагинского разломов. Рудные тела представлены в виде маломощных кварцевых жил, жильных и минерализованных зон, локализующихся в катаклазитах, бластомилонитах, брекчиях крутопадающих, протяженных зон разломов. Мощность их составляет 10-30 м, протяженность до 100 м. Среднее содержание золота – 2,08 г/т. Руды брекчиевого и вкрапленного типа.

3. Минеральный состав руд и типы минеральных ассоциаций

На основе минераграфических наблюдений были выделены следующие минеральные ассоциации: 1) гематит-ильменит-кварцевая; 2) пирит-

пирротин-кварцевая; 3) галенит-халькопирит-кварцевая; 4) золото-серебро-теллуридно-кварцевая.

Среди жильных минералов преобладают кварц, кальцит, доломит, полевые шпаты, барит. Рудные минералы можно охарактеризовать двумя группами: макроминералы - гематитом, пиритом, халькопиритом, галенитом, пирротином, сфалеритом, арсенопиритом, ильменитом, микроминералы - халькозином, самородным золотом, серебром, акантитом. Реже отмечаются интерметаллиды Cu, Au, Ag, Fe, Sn, Ir, Os, Y, теллуриды серебра и золота – гессит, петцит. Акцессорные минералы – монацит, циркон, рутил, торит (рисунок 1).

Гематит является самым распространенным минералом, часто встречается в виде радиально-лучистых и таблитчатых выделений в ассоциации с кристаллами пирита. Реже образует гипидиоморфные кубические и реликтовые выделения. *Пирит* также является вторым по встречаемости и обнаружен в виде метакристаллов скелетной формы. По нему развиваются гидроксиды железа и отмечаются прожилковидные и округлые выделения самородного золота и петцита. *Галенит* образует частые мелкие выделения, в виде тонких округлых и неправильных форм. Чаще ассоциирует с самородным золотом. *Халькопирит* встречается в виде аллотриоморфных выделений в кварце и пирите. *Арсенопирит* обнаружен спорадически и встречен в виде неправильных выделений. *Ильменит* локализуется в брекчиях, образуя таблитчатые и удлиненные, аллотриоморфные выделения, ассоциирует с пиритом и гематитом. *Халькозин* образует аллотриоморфные округлые выделения в доломите. *Самородное золото* в большинстве случаев зафиксировано в виде неправильных форм, реже изометричных выделений. Размер зерен не превышает 0,1 мм. Пробность варьирует от 543 до 1000%. В пирит-пирротин-кварцевой ассоциации пробность составляет 802-1000%. В галенит-халькопирит-кварцевой ассоциации примесь Ag составляет 14%. Ассоциирует с акантитом, гесситом и галенитом. *Самородное серебро* встречается в виде аллотриоморфных зерен в гидроксиде железа. *Акантит* образует губчатые выделения в кварце и гетите.

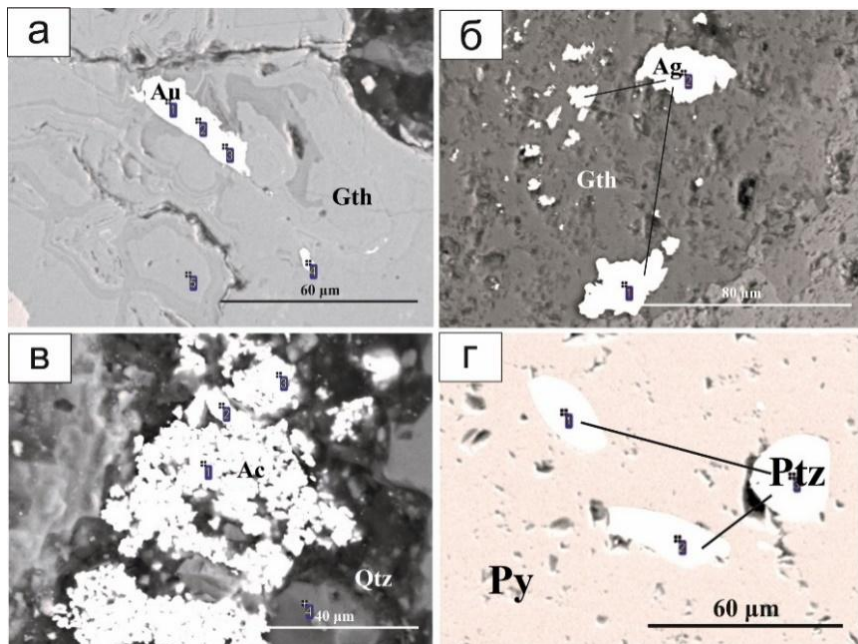


Рисунок 1. Минералогия руд Спокойнинского узла. а – самородное золото (Au) в виде включения в гетите (Gth); б – самородное серебро (Ag) в гетите (Gth); в – губчатые выделения акантита (Ac) в кварце (Qtz); г – округлые агрегаты петцита (Ptz) в пирите (Py).

Таблица 1

Представительные анализы самородных элементов и сульфидов (мас.%)

Минерал	Au	Ag	Fe	Cu	Te	S	Total
Самородное золото	79,05	17,26	2,29	-			98,60
	60,79	6,01	1,63	30,04			98,47
	88,72	9,57	-	-			98,29
Самородное серебро	-	100	-	-			100
Акантит		87,57				10,2	97,51
Петцит	24,84	41,66			32,90		99,40
Гессит		61,61			38,46		100,07

Интерметаллиды (Cu – 30,04; Au – 60,79; Ag – 6,01; Fe – 1,63, Ir – 27,63; Os – 26,43; Y – 23,52; Sn – 6,24), обнаружены в виде зерен эллипсоидальной формы в кварце. Петцит встречен в виде округлых и овальных форм в пирите. *Гессит* отмечается в виде округлых выделений в пирите.

4. Выводы

По предварительным данным руды Спокойнинского узла характеризуются разнообразным минеральным составом. Впервые в рудах обнаружены теллуриды Au, Ag и необычные интерметаллиды Cu, Au, Ag, Fe, Sn, Ir, Os, Y. Контрастная минерализация обусловлена широким диапазоном пробыности самородного золота.

5. Благодарности

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

УДК 553.41

ФОРМЫ НАХОЖДЕНИЯ ТЕЛЛУРА И СЕЛЕНА В РУДАХ ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ БОДОРОНО (ЮЖНАЯ ЯКУТИЯ)

Галина Анисимова, Вероника Кардашевская
ФГБУН Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН,
677000, Россия, г.Якутск, пр-т Ленина, 39

FORMS OF THE LOCATION OF TELLURIUM AND SELENIUM IN THE ORES OF THE BODORONO GOLD DEPOSIT (SOUTH YAKUTIA)

Galina Anisimova, Veronika Kardashevskaya
Diamond and Precious Metals Geology Institute, Siberian Branch, Russian
Academy of Sciences, 39 Lenina ave., Yakutsk, 677000, Russia

Annotation. In the Bodorono gold ore deposit, tellurium forms independent minerals (tellurium bismuthite, tetradimite,

headleyite and ingodite) and mineral phases. Recently, in the ores of the described deposit, native mineral forms and an isomorphic admixture of selenium in sulfides were first discovered. Selenium is present as an isomorphic impurity in galena (up to 3.44%) and headleyite (up to 5.17%). For the first time, a rare bismuth selenide, laitakarite, was found. All tellurides, sulfotellurides and selenides are found in association with native gold and bismuth, as well as with bismuthine. The wide development of various Te and Se minerals in ores emphasizes the epithermal nature of the late superimposed association in the ores of the Bodorono deposit.

1. Введение

Теллур и селен образуют тесную парагенетическую ассоциацию с золотом и серебром. Это их свойство может быть использовано как поисковый признак, так и при генетической типизации благороднометалльного оруденения.

В золоторудном месторождении Бодорono теллур находится в качестве изоморфной примеси в сульфидах, так и образует самостоятельные минералы и минеральные фазы [1, 2]. В последнее время в рудах описываемого месторождения впервые обнаружены собственные минеральные формы и изоморфная примесь селена в сульфидах и теллуридах.

2. Основной раздел

Месторождение Бодорono в составе Верхнеалгоминского золотоносного района находится на сочленении Восточно-Алданского и Тындинского тоналит-грондjemито-гнейсового террейнов во фронтальной части Становой шовной (надвиговой) зоны, расположенном в 300 км юго-восточнее г. Нерюнгри Республики Саха (Якутия) [3]. В геологическом строении месторождения участвует комплекс раннеархейских зеленокаменных образований: толщи переслаивания основных кристаллосланцев, гнейсов (метабазитов), диопсидовых кальцифиров и гранат-кварц-полевошпатовых пород (гранулитов). Они прорваны многочисленными раннемеловыми дайками долеритов-диоритовых порфиритов, лампрофиров [2, 3]. Само месторождение Бодорono находится в бассейне верхнего течения руч. Алгома и локализовано в

раннеархейских образованиях – основных кристаллосланцах (метабазитах), в виде крупных линзообразных тел в гранатовых и биотит-пироксеновых гнейсах. Оно приурочено к зонам рассланцевания северо-восточного простирания. Протяженность рудных зон составляет до 1 км, мощность от 0,1-0,5 м, иногда достигает до 3,5 метров. Кварцевые жилы имеют различные четковидные формы – будины, линзы, которые образуют серии кулис и жильных зон. В пределах месторождения выделяется 3 наиболее продуктивные рудные зоны.

На месторождении выделено три последовательные минеральные ассоциации [1, 2]. Раннюю ассоциацию представляет пирит-пирротин-кварцевая. Типоморфные рудные минералы – пирит, пирротин. С ними встречается самородное Au высокой пробы (940‰). Вторая наиболее продуктивная минеральная ассоциация характеризуется золото-сфалерит-галенит-кварцевой с типоморфными минералами: галенитом, сфалеритом, халькопиритом, пиритом и самородным золотом средней пробы (850‰). Поздняя ассоциация представлена золото-теллур-висмут-кварцевой (типоморфные минералы – теллуrowисмутит, тетрадимит, лиллианит и самородное золото средней пробы (870‰)). Минералы теллура и селена совместно с минералами висмута составляют основу поздней минеральной ассоциации.

Среди теллуридов и сульфотеллуридов по данным рентгеноспектрального анализа установлены теллуrowисмутит, тетрадимит, хедлейит и ингодит.

Хедлейит, (Bi₂Te). Выделение хедлейита с включениями самородного висмута тесно контактируют с висмутином с многочисленными вкраплениями самородного висмута (рисунок а, b). Иногда наблюдается тесная ассоциация хедлейита, висмутина и самородного золота (рисунок, d). Состав хедлейита стехиометричен (таблица). Отмечаются разности хедлейита примесью Se до 5,17% (таблица).

Теллуrowисмутит, (Bi₂Te₃) – редкий минерал месторождения. Вытянутые формы теллуrowисмутита найдены в кварцевой жиле рудного тела 2. Минерал тесно контактирует с самородным золотом (рисунок c). Также ассоциирует с висмутином, ингодитом, хедлейитом.

Тетрадимит, (Bi₂Te₂S) образует крупные аллотриоморфные выделения в кварце [1, 2]. Отмечается в тесной ассоциации с самородным золотом. Тетрадимит замещается самородным золотом и оксидами Te Bi, Fe.

Ингодит, (Bi₂TeS) отмечен в составе золото-теллур-висмут-кварцевой ассоциации по рудной зоне 2 [2]. Выделения ингодита замещают

раздробленные кристаллы висмутита с интенсивными вкраплениями самородного висмута. В сульфотеллуриде висмута отмечается примесь Рb до 4,40% (таблица).

Таблица

Химический состав минералов Те и Se, масс. %

Минерал	Bi	Pb	Te	Se	S	Сумма
Хедлейит	80,92	-	19,49	-	-	100,41
Теллуровисмутит	51,67	-	47,70	-	-	99,37
Тетрадимит	59,32	-	35,84	-	4,84	100
Ингодит	64,86	4,4	22,49	-	5,59	97,34
Лайтакарит	80,81	-	-	19,08	-	99,89
	80,81	-	-	19,75	-	100,56
	79,99	-	-	19,52	-	99,51
Se-содержащий галенит	-	87,26	-	2,71	10,97	100,94
	-	87,43	-	3,44	10,78	101,65
Se-содержащий хедлейит	80,06	-	13,77	5,17	-	99,00
	80,89	-	16,59	3,72	-	101,21

Находка собственных минералов селена вызывает большой интерес в виду их относительной редкости. В рудах месторождения Бодороно впервые найден сульфоселенид висмута – лайтакарит, а также примесь селена обнаружена в галените и хедлейите.

Лайтакарит, $(\text{Bi}_4(\text{Se}, \text{S})_3$ редкий сульфоселенид висмута найден в тесной ассоциации с висмутином в карбонат-кварцевой жиле (рисунок е). В отраженном свете минерал серовато-белый до белого, высокоотражающий. В химическом составе минерала сера не обнаружена, возможно полностью замещена селеном (таблица). Лайтакарит найден в том образце, где отмечаются хедлейит, ингодит, теллуровисмутит, самородный висмут и золото, а также Se-содержащий галенит.

Se-содержащий галенит не образует больших скоплений и отмечается в анкерите, а также в тесной ассоциации с висмутовыми минералами в кварцевой жиле рудной зоны 2. Содержание Se доходит до 3.44% (рисунок, f, таблица).

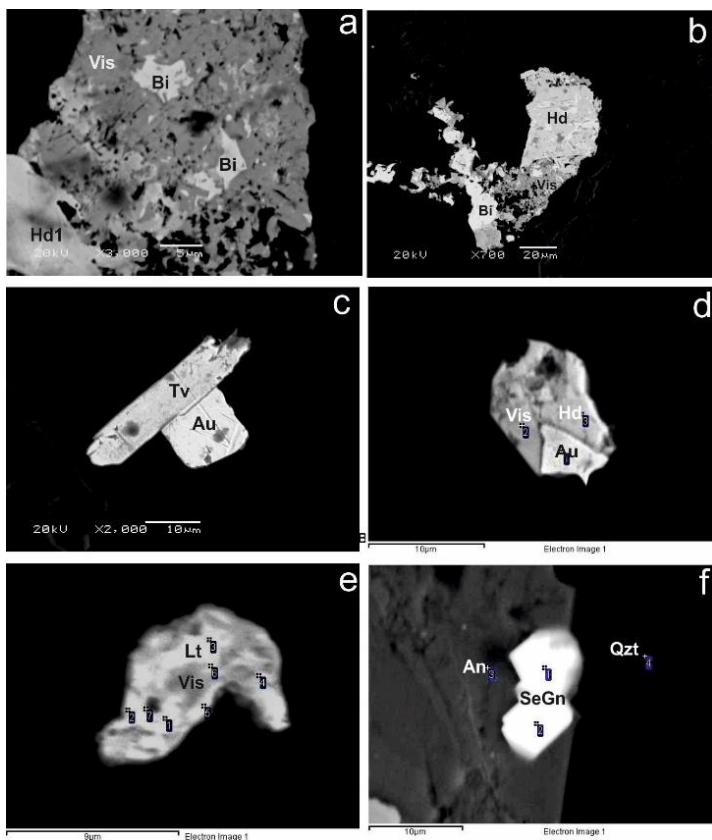


Рисунок. Взаимоотношение минералов Te и Se с ассоциирующими минералами: а - включения самородного висмута (Bi) в висмутине (Vis) в сростании с Se-содержащим хедлейитом (Hd1), б – хедлейит (Hd) с включениями самородного висмута (Bi) и тесной ассоциации с висмутином (Vis), с – тесное сростание теллуровисмутита (Tv) и самородного золота (Au), d – проникновение самородного золота (Au) в висмутином (Hd) и хедлейит (Hd), е – взаимоотношение лайтакарита (Lt) и висмутина (Vis), f – включение Se-содержащего галенита в анкерите (An) на контакте с кварцем (Qzt).

3. Выводы

Исследования показали, что в рудах месторождения Бодороно теллур и селен присутствуют в виде собственных минералов. Кроме этого, селен

находится в виде изоморфной примеси в галените и хедлейите. Впервые найден редкий селенид висмута - лайтакарит. Все теллуриды, сульфотеллуриды и селениды встречаются в ассоциации с золотом средней пробы и самородным висмутом, а также с висмутином. Широкое развитие в рудах различных минералов Te и Se подчеркивает эпitherмальность поздней наложенной ассоциации в рудах месторождения Бодороно.

4. Благодарности

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ (№18-45-140045 p_a, №19-35-90051_Аспиранты) и по плану НИР ИГАБМ СО РАН, проект № 0381-2019-00045.

5. Литература:

- [1] Anisimova G.S., Sokolov E.P. The Bodorono auriferous deposit as a new auriferous location in South Yakutia // Ores and metals. №5. 2014 b. P. 49–57. (in Russian).
- [2] Anisimova G.S., Sokolov E.P., Kardashevskaya V.N. Gold-rare metal (Au-Mo-Bi-Te) mineralization of the Upper Algominsk gold deposit zone (Southern Yakutia) // Otechestvennaya Geologia. 2017. №5. P. 12-22. (in Russian).
- [3] Tectonics, geodynamics and metallogeny of the Sakha Republic (Yakutia).- М.:МАИК “Наука/Интерперiodica”, 2001. 571 p. (in Russian).

УДК 553.98

ОСОБЕННОСТИ БЫСАХТАХСКОГО ГОРИЗОНТА И ПЕРСПЕКТИВЫ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ

Эмирбек Аширов, Алексей Сивцев

ФГАОУ ВО Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, 677000, Россия, г.Якутск, ул. Белинского, 58

FEATURES OF THE BYSAKHTAKH HORIZON AND PROSPECTS FOR OIL AND GAS POTENTIAL

Emirbek Ashirov, Alexey Sivtsev

M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, 58 Belinsky st., Yakutsk, 677000, Russia

Annotation. Peculiarities of oil and gas potential and filtration and reservoir properties of the Bysakhtakh horizon discovered in wells drilled in the Berezovsky trough and the northwestern slope of the Aldan anticline are presented.

Insignificant porosity of reservoirs of the Bysakhtakh horizon in all considered areas was noted. The conclusion is drawn about the decisive role of fracturing in the productivity of the Bysakhtakh horizon. Based on the proposed position, the most promising subsoil plots within the Berezovsky Depression have been outlined.

1. Введение

Бысахтахский продуктивный горизонт выделяется в нижней части сералахской свиты в разрезе одноименного газоконденсатного месторождения расположенного на северо-западном борту Березовского прогиба. Несмотря на относительно хорошую изученность Березовского прогиба глубоким бурением (более 20 глубоких скважин) новых месторождений приуроченных бысахтахскому продуктивному горизонту до настоящего времени не открыто.

Вместе с тем территория Березовского прогиба находится в непосредственной близости от магистральных трубопроводов «ВС-ТО» и «Сила Сибири» и поэтому опосредованное на его территории месторождений УВ является актуальной задачей. Целью работы является выяснение особенностей распределения в плане и разрезе бысахтахского горизонта – проницаемого комплекса сералахской свиты на территории Березовского прогиба для выделения наиболее перспективных зон и участков.

2. Особенности нефтегазоносности и ФЕС

Прямые признаки нефтегазоносности (выпоты и примазки нефти, газопроявления, повышенные газопоказания) отмечены в разрезах сералахского резервуара почти на всех площадях глубокого бурения в пределах Березовского прогиба и северного склона Алданской антеклизы. Таким образом, проницаемый комплекс сералахской свиты можно считать регионально перспективным на значительной территории рассматриваемого района (рисунок).

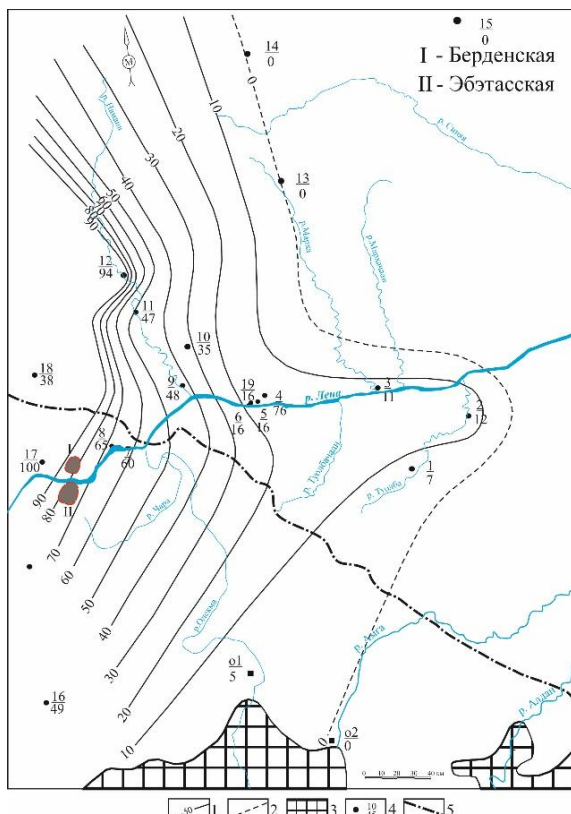


Рисунок. Распределение общей мощности сералахской свиты.

Условные обозначения: 1 - изопахиты (м) толщин сералахской свиты, 2 - линия выклинивания, 3 - выходы фундамента, 4 - скважины: в знаменателе - толщины (м), в числителе - номера на карте: 1-Ченкиямская 1, 2-Алексеевская 1, 3-Мархинская 1, 4-Русскореченская Р-2, 5- Русско-Реченская Р-3, 6- Русско-Реченская Р-1, 7- Олекминская 3, 8 - Олекминская Р-1, 9- Наманинская 2-Р, 10- Дирин-Юряхская 1, 11- Джаджанская 2610, 12-Мухтинская 2210, 13- Северо-Наманинская 1, 14- Кумахская 482, 15- Бапгагайская 1, 16 - Южно-Березовская 287, 17 - Усть-Бирюкская 1, 18 - Кэдэргинская 2, 19 - Среднеленская 1-П. 5 - нефтепровод ВС-ТО, о1 - обнажение р. Олекма, о2 - обнажение р. Амга.

Еще в 1936 году из отложений этого проницаемого комплекса был получен приток нефти с дебитом 110 л/сут на Ченкиямской площади. Газопроявления в течение 3 суток отмечены при разбуривании скв №4 Илыгирской площади (р. Туолба) северного склона Алданской антеклизы. Промышленные притоки газа и газоконденсата получены из нижнего песчаного горизонта сералахской свиты на Бысахтахской площади из пяти скважин. Дебит этих скважин от 8,8 до 875 тыс.м³/сут. В скважине №1871 получен газоконденсат с дебитом 215 м³/сут.

Бысахтахский горизонт представлен песчаниками серыми, светло-серыми, разнотекстурными, полевошпат-кварцевыми, кварцевыми. Встречаются прослойки аргиллита, глинистого, алевролитистого доломита, гравелита и гравелитистых песчаников [1, 2]. Коллекторские свойства пород бысахтахского горизонта в пределах Бысахтахской площади невысокие (общая пористость 2-7% реже 12%). В Олекминской площади (скважины №1 и №3) по 32 образцам пористость колеблется в пределах от 6,7 до 19,18%, составляя в большинстве случаев 8-10%.

Считается, что несоответствия ФЕС сералахского проницаемого комплекса с полученными результатами промышленных притоков газа двумя причинами: неполным выносом зерна с наиболее пористых разностей песчаников, либо определяющей ролью трещиноватости.

В новой Среднененской поисково-оценочной скважине 1-П бысахтахский горизонт представлен разнотекстурным, кварцевым, темно-серым, плохо сортированным песчаником с редкими включениями гальки до 6 мм. По результатам интерпретации ГИС и данных зерна пористость составляет 5,2-7,5%. Горизонт водонасыщенный и при испытании получен непереливающий приток воды с дебитом 2,97 м³/сут.

3. Выводы

С учетом вышеуказанного соображения, что определяющим является роль трещиноватости, т.к. пористость бысахтахского горизонта даже в северо-западной части Алданской антеклизы незначительная (Результаты Среднененской 1-П) в Березовской впадине намечены две перспективные зоны.

Первая зона выделяется на прикладчатом борту впадины, к югу от Бысахтахского месторождения. Вторая такая зона намечена на восточном борту впадины (бассейны нижних течений р. Чара и Токко). Одним из участков развития зон улучшенных коллекторов здесь может считаться территория южной половины Эбетасского горста, где интенсивно развита

трещиноватость пород. Наиболее надежным верхним флюидоупором сералахского проницаемого комплекса на территории южной части Эбэтасского горстовидного вала (рисунок) будет служить довольно мощный (до 30 м) пласт торсальных солей.

4. Литература:

[1] Safronov A.F. Lithological characteristics of the productive horizons of the Bysakhtakhskeye gas condensate field of the Berezovskaya Depression [Text] / A.F. Safronov, I.E. Moskvitin, A.V. Bubnov, L.A. Kondratyev, Y.I. Kupriyanov // Problems of prospecting, exploration and development of oil and gas fields in Yakutia. - Yakutsk: NSC SB RAS, 1993. - S. 74-84.

[2] Sivtsev A.I. On the manifestations of horizontal tectonic movements in the lower sedimentary cover of the Berezovsky depression in connection with oil and gas potential [Text] / A.I. Sivtsev, V.S. Sitnikov // Geology, geophysics and development of oil and gas fields. - 2014. - No. 3. - S. 24-31

УДК 552.311

БЛАГОРОДНЫЕ МЕТАЛЛЫ В ЩЕЛОЧНЫХ ПОРОДАХ И КАРБОНАТИТАХ

Леонид Баранов^{1,2}, Александр Толстов^{1,2}, Александр Округин³

¹ Научно-исследовательское геологическое предприятие АК «АЛРОСА» (ПАО), 678170, Россия, г. Мирный, Чернышевское шоссе, 16

² ФГБУН Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3

³ ФГБУН Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, 677000, Россия, г. Якутск, пр-т Ленина, 39

THE NOBLE METALS IN ALKALINE ROCKS AND CARBONATITES

Leonid Baranov^{1,2}, Alexandr Tolstov^{1,2}, Alexandr Okrugin³

¹ Scientific-Investigation Geology Enterprise AC «ALROSA», 16 Chernyshevskoye Highway, Mirny, 678170, Russia

² V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy Siberian Branch Russian Academy of Sciences, 3 ave. Akad. Koptuyuga, Novosibirsk, 630090, Russia

³ Diamond and Precious Metals Geology Institute, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, 39 Lenina ave., Yakutsk, 677000, Russia

Annotation. The results of a research of the discovered noble metal mineralization in apatite-magnetite ores of the Tomtor massif by electron scanning microscopy and microprobe analysis are presented. The substantiation of the possibility of detecting gold and platinum in carbonatites, foidolites and alkaline syenites of the Tomtor massif, as well as similar massifs of the Udzha province of alkaline ultrabasic rocks and carbonatites is given.

1. Введение

На территории Сибирской платформы широко распространены россыпные проявления благородных металлов без установленного коренного источника. Согласно работам по изучению МПГ на севере Сибирской платформы [1, 2], коренным источником являются щелочные породы [3], расположенные на северо-восточном склоне Анабарской антеклизы. На их возможную приуроченность платиноидной минерализации к массиву Томтор указывают зерна МПГ, полученные из зерна осадочных пород массива Томтор по сообщению Владыкина Н.В. (2015) [4]. В работе Гусева А.И. [5], указываются черты золотоносных карбонатитов, также характерные для апатит-магнетитовых руд массива Томтор, генетически связанных с карбонатитами [5, 6].

2. Результаты исследований

Методами электронной сканирующей микроскопии (ИГМ СО РАН) и микрозондового анализа (НИГП АК «АЛРОСА» ПАО) установлены минералогические находки благородных металлов в апатит-магнетитовых рудах (месторождение Онкучах) и щелочных сиенитах комплекса ультраосновных щелочных пород и карбонатитов Томтор, имеющего концентрически-зональное строение [6]. Коренные проявления золота обнаружены в карбонате апатит-магнетитовых руд (скв. 801, гл. 59,5 м), а также в пирите щелочных сиенитов (скв. 7217) (Рисунок 1) [7]. Нормализованный состав золота в апатит-магнетитовых рудах с исключением влияния вмещающего карбоната (в масс. %): Au - 90,5; Ag - 6,7; Cu - 2,8.

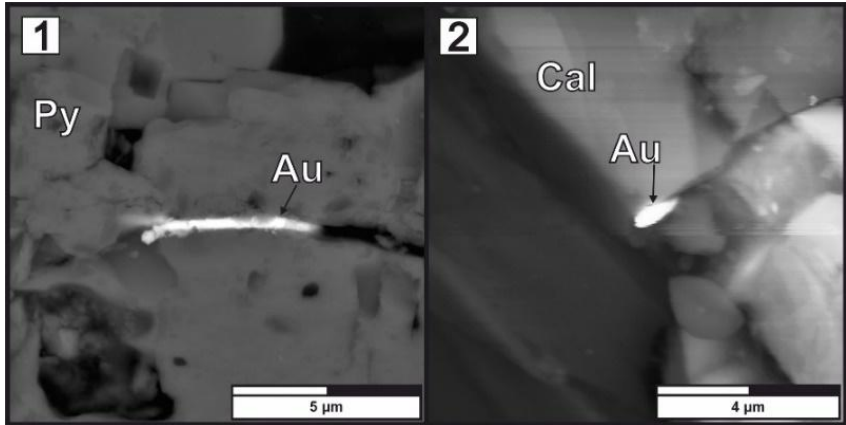


Рисунок 1. Коренное золото в породах массива Томтор. СЭМ (BSE). Py – пирит, Cal – кальцит, Au – золото.

Нормализованный состав золота в щелочных сиенитах с исключением влияния вмещающего пирита (в масс. %): Au - 62; Ag- 38. Впервые для Уджинской провинции щелочных пород и карбонатитов было обнаружено зерно самородной платины в халькопирите (Таблица 1) в карбонатном прожилке в массивном магнетите со структурами распада ильменита и шпинели.

Таблица 1

Составы самородной платины и халькопирита, масс. %.							
Минерал	Fe	S	Cu	Pd	Ir	Pt	Сумма
Pt + Сср	24,72	28,45	22,83	0,00	5,44	18,55	100
Pt + Сср	25,49	28,64	23,07	0,17	5,47	17,16	100
Pt + Сср	27,36	27,54	24,28	0,13	4,95	15,73	100
Сср	32,97	33,28	33,75	0,00	0,00	0,00	100

Рассчитанный состав сплава платиноидов, исключая влияние вмещающего халькопирита, среднее по трем замерам (в масс.%): Pt – 76,6; Ir – 23,48; Pd – 0,46%. Ввиду малых размеров зерна, точное содержание примеси Fe рассчитать проблематично, оценочно оно составляет первые массовые проценты.

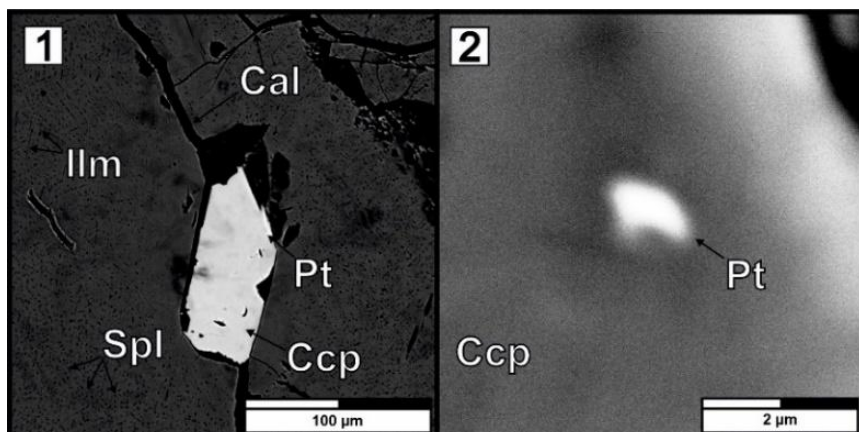


Рисунок 2. Проявление МПГ в массиве Томтор, образец 801/119,6. 1 – халькопирит с самородной платиной; 2 – зерно самородной платины в халькопирите. Микрондовый анализ, съемка в режиме обратно рассеянных электронов (BSE). Ilm – ильменит, Spl – шпинелид, Cal – кальцит, Csp – халькопирит, Pt–платина.

3. Выводы

Апатит-магнетитовые руды – результат метасоматоза вмещающих пород карбонатитовыми флюидами, отражающий особенности карбонатитового и фойдолитового комплексов. Находки коренной благороднометалльной минерализации в апатит-магнетитовых рудах в сочетании с особенностями вещественного состава золота и МПГ позволяют прогнозировать коренные проявления благородных металлов в карбонатитовом и нефелин-пироксеновом комплексах пород массива Томтор, других массивах Уджинской провинции, что существенно повышает экономическую значимость этого арктического региона. Схожесть составов россыпных и коренных проявлений МПГ [2] позволяет считать массивы ультраосновных щелочных пород и карбонатитов коренными источниками близлежащих россыпей благородных металлов.

4. Благодарности

Работа поддержана РНФ (грант №18-17-00120) и Министерством Образования и Науки РФ. Авторы благодарят Иванова А.С. (НИГП АК «АЛРОСА» ПАО), Лазареву Е.В. и Карманова Н.С. (ИГМ СО РАН) за содействие.

5. Литература:

- [1] 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. №1, с. 1568-1577.
- [2] 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 // *Otechestvennaya Geologiya*, 2012, №5, С. 11-20. (in Russian).
- [3] Grinev O.M. The potential of provinces of alkaline rocks as areas of development of gold-platinum mineralization. *Platinum of Russia*. Moscow, 2005. Vol. VI. P.110-121. (in Russian).
- [4] Tolstov A.V. New prospects of Tomtor ore field // *Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference. Geology and mineral resources of North-East Russia*. Yakutsk, March 31-April 2, 2015. (in Russian).
- [5] Gusev A.I., Gusev N.I. Gold-bearing Carbonatites // *Advances in Modern Natural Sciences*, Academy of Natural Sciences Publishing House (Penza). 2014. №11, с. 25-28.
- [6] Tolstov A.V. Mineralogy and geochemistry of apatite-magnetite ores the Tomtor Massif (Northwestern Yakutia) // *Russian Geology and Geophysics*. 1994. Т. 35. № 9. С. 76-84.
- [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. № 2. С. 42-54. (in Russian).

УДК 553.411:550.84

ИЗОТОПНО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ КВАРЦА И КАРБОНАТОВ РУДНЫХ И БЕЗРУДНЫХ ЖИЛ ВЕРХОЯНО-КОЛЫМСКОГО РЕГИОНА

Геннадий Гамянин¹, Николай Горячев², Сергей Кряжев³

¹ ФГБУН Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, 109017, Россия, г. Москва, Старомонетный переулок, 35

² ФГБУН Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт им. Н.А. Шило ДВО РАН, 685000, Россия, г.Магадан, ул. Портовая, 16

³ ФГБУ Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов, 117545, Россия, г. Москва, Варшавское шоссе, 129 к1

ISOTOPIC-GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF QUARTZ AND CARBONATES FROM MINERALIZED AND UNMINERALIZED VEINS OF THE VERKHOYAN-KOLYM REGION

Gennady Gamyarin¹, Nikolay Goryachev², Serguei Kryazhev³

¹ Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry, 35 Staromonetny st., Moscow, 109017, Russia

² North-East Interdisciplinary Scientific and Research Institute, Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences, 16 Portovaya st., Magadan, 685000, Russia

³ Central Research Institute of Geological Prospecting for Base and Precious Metals, 129-1 Varshavskoye av., Moscow, 117545, Russia

Annotation. Differences in the oxygen isotopy of quartz and carbonates and the composition of the fluid phase of ore and barren veins are shown.

1. Введение

В пределах складчатых поясов восточного обрамления Сибирского кратона широко распространены многочисленные кварцевые и карбонат-кварцевые жилы с редкой сульфидной минерализацией, которые большинством исследователей трактуются как метаморфогенные. Они образуют обширные ареалы в терригенных породах верхоянского комплекса по всему разрезу от позднего карбона до поздней юры. В пределах таких ареалов локализуются и золото-кварцевые жилы, тесно ассоциирующие с орогенными плутоно-метаморфическими ареалами (Горячев, 2003). Возрастные соотношения их, чаще неопределенные, но имеются единичные находки, показывающие более позднее положение рудных жил.

2. Основной раздел

Нами проведены исследования изотопного состава кислорода жильного кварца, состава флюидных включений в нем, и изотопного состава кислорода и углерода карбонатов, указанных двух групп жил. В результате установлено, что рудный кварц жильных и дайковых месторождений, независимо от их местоположения, имеет предел вариаций изотопного состава кислорода от +14.0 до +19.0‰ при пике около 16.5‰ (75 проб), в то время как кварц ранних безрудных жил характеризуется преобладанием тяжелого изотопа, с вариациями от +17.0 до +22.0‰, при пике около 19‰ (17 проб). Также установлено, что карбонаты безрудных жил имеют близкий, но чуть более тяжелый изотопный состав кислорода от +20.2 до +22.4 ‰ при стабильном изотопном составе углерода (-0.4.....-1.1‰) (12 проб). В то же время, изотопный состав углерода и кислорода карбонатов золоторудных жил варьирует в очень широких пределах от +19.8 до -6.1‰ и от +4.0 до -13.6‰ (50 проб), соответственно. Помимо различий в изотопном составе выявлены также и различия в составе кварца и его флюидных включений. Так, кварц безрудных жил (10 проб) содержит в составе включений существенно больше натрия, хлора и гидрокарбонат иона, а также Br, Sr, Ba, Zn, в то время как для рудных жил из того же ареала (3 пробы) отмечено существенное преобладание углекислоты, Li, As, Sb, Ge, Au, Ag, W, Bi. Отдельную группу по изотопным и флюидным данным образует кварц рудных и безрудных жил, генетически связанных с гранитами, для которого типично преобладание легкого изотопа с вариациями от +8.0 до +14.4 (30 проб), близкое магматическому кварцу гранитов, а также гораздо более высокие концентрации солей и рудных элементов во флюидной фазе.

3. Выводы

Таким образом, кварц орогенных золото-кварцевых жил имеет изотопный состав кислорода промежуточный между типично метаморфогенными и типично гранитогенными жилами. Это предполагает возможность формирования золоторудных жил из региональных флюидных потоков, имеющих плутонометаморфическую природу.

4. Благодарности

Исследования проведены в рамках бюджетного финансирования ИГЕМ РАН и СВКНИИ ДВО РАН и, частично, в рамках проектов РФФИ № 20-05-00344 и РФФИ-Респ. Саха Якутия № 18-45-140040 p_a.

УДК 553.411

АПОКАРБОНАТНЫЕ ГИДРОТЕРМАЛЬНО- МЕТАСОМАТИЧЕСКИЕ ОБРАЗОВАНИЯ – НОВЫЙ ТИП ЗОЛОТОНОСНЫХ ПРОЯВЛЕНИЙ АНАБАРСКОГО РАЙОНА

Борис Герасимов¹, Роман Желонкин²

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

² АО «Алмазы Анабара», 677000, Россия, г. Якутск, ул. 50 лет Советской
Армии, 86/3а

APOCARBONATE HYDROTHERMAL- METASOMATIC FORMATIONS - A NEW TYPE OF GOLDEN MANIFESTATIONS OF ANABAR DISTRICT

Boris Gerasimov¹, Roman Zhelonkin²

¹ Diamond and Precious Metals Geology Institute, Siberian Branch, Russian
Academy of Sciences, 39 Lenina ave., Yakutsk, 677000, Russia

² JSC «Almazy Anabara», 86/3a 50 years of the Soviet Army st., Yakutsk,
677000, Russia

Annotation. Hydrothermal-metasomatic formations with disseminated gold-sulfide mineralization were studied for the first time they were found in places of tectonic jointing of carbonate rocks developed in the deep fault zones of the Anabar region. Considering epigenetic mineral associations, quartz-potassium feldspar and quartz hydrothermal-metasomatic formations are identified. Ore mineralization of disseminated type is represented by native gold, sphalerite, argentite, galena, pyrite, chalcopyrite and native silver. Gold is found in native form, and in association with pyrite (quartz metasomatites) and

potassium feldspar metasomatites). The similarity of geological conditions of localization and material composition of apocarbonate hydrothermal -metasomatic formations with gold-bearing metasomatites of the Central Aldan gold ore region indicates a high gold potential of the poorly studied Anabar region.

1. Введение

Целью настоящей работы является изучение минералогических особенностей апокарбонатных гидротермально-метасоматических образований, обнаруженных нами в зонах разломов Анабарского района, как потенциальных коренных источников весьма мелкого золота.

2. Результаты

Приразломные гидротермально-метасоматические образования, развитые по доломитам анабарской свиты среднего кембрия изучены на двух участках Эбеляхской россыпной площади – Каменистый и Биллях.

На руч. Каменистый измененные доломиты обнаружены в плотике россыпи. Здесь наблюдаются многочисленные трещины и маломощные зоны дробления субширотного простирания. В этих зонах дробления выявлены гидротермально-метасоматические образования ржаво-бурого цвета полосчатой текстуры. Бурый оттенок породе придают окислы железа, образующиеся за счет разложения сульфидных минералов, главным образом пирита. Эпигенетические минералы в измененных доломитах представлены калиевыми полевыми шпатами (КПШ) и кварцем, которые развиты в основном в микроразломах дробления доломитов, а также прожилках кремнисто-железисто-алюмосиликатного состава пронизывающих карбонатные породы. Мощность этих прожилков составляет от десятых долей мм до нескольких мм в раздувах. КПШ представлены очень мелкими, от первых до десятков микрон, кристаллами, формирующимися в микротрещинах доломитов и маломощных прожилках. Кварц характеризуется колломорфно-натечными выделениями, реже – мелкими кристаллами. Рудные минералы в кварцево-железисто-алюмосиликатных прожилках представлены весьма мелкими зёрнами и фазами самородного золота, пирита, арсенипирита,

сфалерита и галенита. Также довольно часто отмечается барит в виде тончайших прожилков в микротрещинах доломита.

В бассейне реч. Биллях штупное опробование производилось главным образом в искусственных обнажениях – вертикальных стенках руслоотводного канала. На данном участке выявлены две разновидности гидротермально-метасоматических образований – кремнисто-кварцевые и калишпатовые. Характерной особенностью первой разновидности является их оолитовая и сфероидально-коллоидальная структура. В этих образованиях кремний практически полностью замещает доломиты. Наблюдаются лишь весьма мелкие их реликты в центральных частях оолитов. Кварц представлен халцедоновидными разновидностями. Рудная вкрапленная минерализация локализована в периферических частях сфероидальных стяжений и представлено в основном пиритом и гетитом, в подчиненном количестве сфалеритом, аргентитом, халькопиритом и галенитом. Довольно часто наблюдается пирит, полностью замещающий кремний в стяжениях. Золото встречается в свободном самородном виде, а также в ассоциации с пиритом и окислами железа. Размер его колеблется от первых микрон до 15 мкм по длинной оси. Отмечаются золотины с примесью ртути от 0,5 до 2,6%.

В меньшей степени по сравнению с описанными образованиями распространены метасоматиты основными эпигенетическими минералами, которых являются калиевые полевые шпаты, имеющие мелкие размеры и кристаллические формы. Рудная минерализация представлена пиритом, галенитом и ассоциирует с КПШ. Пирит характеризуется сравнительно крупными размерами (десятки микрон) и кристаллическими формами, иногда в трещинах отмечаются скопления пирита фрамбоидальной формы. Галенит встречается в виде весьма мелких (первые микроны) удлиненных в плане выделений.

Гидротермально-метасоматические образования, сформированные в зоне катаклаза рифейских доломитистых известняков, изучены в естественных обнажениях по бортам рр. Мачала и Талахтах (восточное обрамление Анабарского щита). Породы пронизаны маломощными кварцевыми и кальцитовыми прожилками. Широко распространены тектонические брекчии. Эпигенетические изменения выражены окварцеванием и калишпатизацией. В данных образованиях обнаружена вкрапленная рудная минерализация. Золото и серебро развиты в

кварцевых прожилках и характеризуются изометричными формами и мелкими (до 10 мкм) размерами. Среди сульфидов наиболее распространен пирит, представленный в основном кубическими кристаллами и их агрегатами. В подчиненном количестве отмечаются весьма мелкие (до 5 мкм) кристаллы антимонита, молибденита, сфалерита, аргентита и арсенопирита. Редко наблюдаются пластинчатые формы самородного олова.

3. Обсуждение

Рудные гидротермально-метасоматические образования в карбонатных толщах платформенных областей, как правило, проявлены в виде обширных зон гидротермально-метасоматического изменения пород. Для них характерны линейно вытянутые конфигурации и локализация в системах протяженных долгоживущих разломов. С гидротермально-метасоматической формацией связаны крупные месторождения золота, свинца, цинка и т.д. Примером могут служить месторождения золота Центрально-Алданского рудного района, связанные с мезозойскими апокарбонатными кварцево-калишпатовыми метасоматитами, развитыми в зонах разломов.

4. Выводы

Таким образом, сходство геологических условий формирования и вещественного состава, изученных апокарбонатных гидротермально-метасоматических образований с золотоносными метасоматитами Центрально-Алданского района свидетельствуют о высоком золоторудном потенциале все еще слабоизученного с точки зрения золотоносности Анабарского района.

5. Благодарности

Работа выполнена по государственному заданию ИГАБМ СО РАН, хоздоговорных работ с АО «Алмазы Анабара» и частично в рамках гранта РФФИ № 18-45-140018.

УДК 553.2

ЗОЛОТО-СЕРЕБРЯНОЕ ОРУДЕНЕНИЕ ВОСТОЧНОЙ ЧУКОТКИ

Антон Глухов, Елена Колова, Наталья Савва
ФГБУН Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский
институт им. Н.А. Шило ДВО РАН, 685000, Россия, г.Магадан, ул.
Портовая, 16

GOLD-SILVER MINERALIZATION OF THE EAST CHUKOTKA

Anton Glukhov, Elena Kolova, Natalia Savva
North-East Interdisciplinary Scientific and Research Institute, Far Eastern
Branch, Russian Academy of Sciences, 16 Portovaya st., Magadan, 685000,
Russia

Annotation. The Korrida and Pepenveem epithermal LS Au-Ag occurrences located at east of Chukotka Peninsula and coincide with juxtaposition of OCVB and South-Anyui suture. Location of that controlled by intersections of the large volcanic structure with NE-trending faults. The basement composed by volcanic-sedimentary rocks of Velmay island-arc terrane. The Korrida ore occurrence has two stages of mineralization, related with volcanism and plutonism. Shallow-seated marine rocks influenced on composition of ore. That lead to forming of broad range Ag minerals, include bromides and chlorides. Pepenveem ore occurrence has only one volcanic mineralization stage and characterized simple mineral composition. Therefore, tectonic of basement of the ore-hosted volcanic structures have strong impact to composition and origin of mineralization.

1. Введение

Au-Ag рудопроявления Восточной Чукотки скудно охарактеризованы в литературе. В то же время Восточная Чукотка является исключительно интересным регионом, что обусловлено ее расположением на восточном фланге ОЧВП и наличием здесь в фундаменте пояса террейнов различного состава.

2. Основной раздел

Изучены рудопроявления Коррида и Пепенвеем, входящие в состав Эргувеемского рудного района и приурочены к пересечению крупной вулканоструктуры разломами северо-восточного простирания. Цоколь вулканоструктуры представлен островодужными образованиями Вельмайского террейна [1].

Вулканиты на рудопроявлении Коррида содержат многочисленные обломки подстилающих вулканиты песчаников, алевролитов и гнейсов. На площади рудопроявления широко развиты аргиллизиты и вторичные кварциты. Рудные тела представлены жилами адуляр-кварцевого состава. Вертикальный размах оруденения не превышает 50 м. Из рудных минералов более всего распространены пирит, арсенопирит и галенит. Минералы серебра представлены, в первую очередь, акантитом; в меньших количествах присутствуют Se-сульфосоли, селениды и самородное серебро, сульфиды Ag ряда штернбергит-аргентопирит-ленаит. Самородное золото электрум характеризуется двумодальным распределением пробности (от 200 до 700 ‰). Спецификой минерального состава рудопроявления Коррида является присутствие заметных количеств хлоридов и бромидов серебра ряда кераргирит-эмболит-бромирит. Для рудопроявления Пепенвеем характерно широкое развитие экструзий и субвулканических тел риолитов, к которым приурочены ореолы аргиллизитов и рудоносные жильно-прожилковые зоны; в отличие от Корриды в составе вулканитов полностью отсутствуют обломки пород цоколя. Рудные тела представлены жилами адуляр-кварцевого состава. Вертикальный размах оруденения превышает 100 м. Среди сульфидов полиметаллов преобладают пирит и галенит, в меньшей степени развиты сфалерит и халькопирит; в незначительных количествах отмечаются Cu-Fe сульфиды серебра (минералы группы ленаит-джеффроит), блеклые руды и халькозин. Из минералов серебра наиболее распространенным является пиростильпнит Ag_3SbS_3 ; также отмечаются стефанит, пираргирит, полибазит, акантит. Самородное золото имеет среднюю пробность 611,3 ‰ и одномодальное ее распределение. Рудопроявление Коррида формировалось в условиях резких градиентов температур, давлений, плотности и концентрации растворов. Рудопроявление Пепенвеем формировалось в более стабильных условиях.

3. Выводы

Изученные рудопроявления характеризуются специфической тектонической позицией: с одной стороны, они располагаются на восточном продолжении Южно-Ануйской сутуры [2], а с другой, по колю ОЧВП здесь представлен островодужными образованиями Вельмайского террейна. Это отразилось на геологическом строении объектов и вещественном составе их руд. Рудопроявление Коррида формировалось в два этапа - вулканогенный и плутоногенный - при существенной роли магматогенного флюида. Неглубоко залегающие морские вулканогенно-терригенно-кремнистые породы цоколя оказали существенное влияние на его состав, что привело к развитию широкого спектра минералов Ag, включая бромиды и хлориды. Рудопроявление Пепенвеем образовалось в один вулканогенный этап и характеризуется относительно простым минеральным составом руд. Таким образом, тектоника цоколя рудоносных вулкано-тектонических структур оказывает существенное влияние на состав и условия образования вмещающей ими минерализации.

4. Литература:

- [1] Ledneva, G.V., Peaseb, V.L., Bazylev, B.A. Late Triassic siliceous volcano-terrigenous deposits of the Chukchi Peninsula: composition of igneous rocks, U-Pb age of zircons, and geodynamic interpretations // Russian Geology and Geophysics, 2016, vol. 57, no 8. pp. 1119-1134.
- [2] Sokolov, S.D., Tuchkova, M.I., Ganelin, A.V., Bondarenko, G.E., Layer, P. Tectonics of the South Anyui Suture, Northeastern Asia // Geotectonics, 2015, vol. 49, no 1. pp. 3-26.

УДК 552.33

ЗОЛОТО И СЕРЕБРО В ЩЕЛОЧНЫХ ПОРОДАХ МАССИВА БОГДО (АРКТИЧЕСКАЯ СИБИРЬ)

Сергей Жмодик¹, Николай Добрецов¹, Елена Лазарева¹,

Дмитрий Белянин¹, Александр Толстов², Николай Карманов¹

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

² Научно-исследовательское геологическое предприятие АК «АЛРОСА»
(ПАО), 678170, Россия, г. Мирный, Чернышевское шоссе, 16

GOLD AND SILVER IN ALKALINE ROCKS OF BOGDO INTRUSION (ARCTIC SIBERIA)

Sergey Zhmodik¹, Nikolay Dobretsov¹, Elena Lazareva¹, Dmitriy Belyanin¹,
Aleksandr Tolstov², Nikolay Karmanov¹,

¹ V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy Siberian Branch Russian
Academy of Sciences, 3 ave. Akademika Koptyuga, Novosibirsk, 630090,
Russia

² Scientific-Investigation Geology Enterprise AC «ALROSA», 16
Chernyshevskoye Highway, Mirny, 678170, Russia

Annotation. In the north of Siberia, east of the Anabar shield, several massifs of alkaline rocks with carbonatites are known, including Tomtor and Bogdo complex, which form a large alkaline-carbonatite province. The alkaline rocks of the Bogdo intrusive correspond to the group of feldspathic rocks of the main composition. The distribution of Au and Ag in them were studied. The maximum dispersion and contents of Au and Ag were determined in rischorrites and pseudolithic syenites (average - 42.5 - 44.0 ppb Au; 28-38 ppb Ag). The gold composition corresponds to $Au_{0.91}Ag_{0.09}$ – $Au_{0.78}Ag_{0.22}$. Feldspars (albite, anorthoclase) were found in inclusions in gold from rischorrite.

1. Введение

На севере Сибирской платформы восточнее Анабарского щита широко распространены россыпи благородных металлов, для которых коренные источники не установлены [1, 2]. В россыпях на территории Уджинского поднятия наиболее часто встречается Au двух типов: 1 – мелкое (<1 мм) хорошо окатанное пластинчатое Au косовых россыпей («виллойский» или «уджинский» тип); 2 – крупное (1-8 мм) в различной степени окатанное комковидное золото, которое выделяется в «анабарский» тип [3]. Для золота 1 типа характерны как вытянутые, так и изометричные пластинки толщиной 0,05-0,1 мм с рваными краями. Состав колеблется от 836 до 998‰ и в среднем по 37 анализам равен 960‰, с примесью Ag (от 0,2 до 16 масс.%; $x_{cp} = 2,67$ масс.%), при низких количествах (< 0,1 масс.%) Cu, Hg, Fe. Золотины 2 типа имеют различную морфологию: округлую, комковидную, уплощенную и др. Средняя пробность Au этого типа равна 830 ‰, при крайне низких содержаниях других примесей [3]. На

основании изучения минеральных микровключений в зернах благородных металлов из россыпей Анабарского района было сделано обоснованное предположение о том, что возможным коренным источником платинометаллической минерализации могут быть щелочно-ультраосновные комплексы [1]. К востоку от Анабарского щита известно несколько выявленных массивов щелочных и щелочно-ультраосновных пород с карбонатами: Томторский, Богдо, Промежуточный, а также прогнозируемых по геофизическим данным Буолкалах, Чюэмпэ, Уэле, образующих в целом крупную щелочно-карбонатную провинцию. Нами проведено комплексное изучение щелочных пород массива Богдо. В данном сообщении основное внимание уделено изучению распределения Au и Ag в щелочных породах.

Содержания Au и Ag определялись в различных породах массива Богдо, вскрытых на глубине 32–42 м скважиной №3257.5, методами ПААС и ЭТААС после кислотного разложения проб и экстракции аналитов в органическую фазу. Химический состав пород определялся методом РФА, а минералого-геохимические исследования проводились с применением метода СЭМ с получением количественных данных о составе минералов и микровключений.

2. Результаты исследований, обсуждение, выводы

Массив Богдо расположен в 20–40 км на север от наиболее крупного Томторского массива. Сведения о массиве Богдо крайне немногочисленны. Среди изученных пород выделены: полевошпат-нефелиновые сиениты (рисчорриты) пойкилитовой структуры с пироксеном, биотитом, амфиболом, сфеном; средне- и мелко-зернистые тёмно-серые с красно-коричневыми идиоморфными зёрнами либнерита (псевдоморфозы серицита по нефелину, представленные микрозернистым серицит-нефелиновым агрегатом), К–Ва-полевым шпатом, меланитом — биотит-эгириновые либнеритовые сиениты; светло-серые пятнистые пойкилитовой структуры карбонатизированные с симплектитом и нефелин-полевошпатовыми агрегатами псевдолейцитовые нефелиновые сиениты. Рисчорриты – специфические горные породы, ранее впервые встреченные в Хибинском комплексе Кольского полуострова, обнаружены также среди пород Богдинского и Томторского щелочных массивов. По составу рисчорриты относятся к высокоглиноземистым (>20 масс.% Al_2O_3) щелочным габбро, с $K_2O+Na_2O = 20$ масс.%, с преобладанием K_2O .

Максимальная дисперсия и наиболее высокие содержания Au (160 ppb Au) и Ag (41 ppb Ag) установлены в рисчорритах и псевдолейцитовых сиенитах (среднее – 42,5-44,0 ppb Au; 28-38 ppb Ag) (Таблица 1).

Таблица 1

Средние содержания породообразующих компонентов (масс. %), Au (ppb) и Ag (ppb) в щелочных породах массива Богдо

Порода(n)	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO _{tot}	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Au	Ag	Au/Ag
Рисчорриты (5)	50,3	0,57	23,12	2,83	0,29	1,78	6,89	10,1	42,5	28	1,5
ПЛС (2)	52,5	0,92	20,85	3,38	0,55	3,47	2,14	10,8	44,0	38	1,2
КПЛС (1)	45,9	2,88	18,18	5,10	1,70	7,58	0,42	9,9	3,7	29	0,1
Слабо-ЛиС (1)	50,1	0,31	22,77	3,33	0,35	2,22	7,02	8,3	31,0	15	2,1
ЛиС (7)	49,8	0,42	22,51	3,53	0,48	2,88	5,37	8,2	13,9	10	1,3
Сильно-ЛиС (3)	50,6	0,49	22,44	3,61	0,42	2,78	4,06	8,5	6,7	13	0,5

Примечание: ПЛС – псевдолейцитовые сиениты; КПЛС – карбонатизированный псевдолейцитовый сиенит; ЛиС – либнеритизированные сиениты; n – число проанализированных проб. Содержания породообразующих компонентов определены методом РФА (аналитик Н.Г. Карманова), Au и Ag – спектрохимическим атомно-абсорбционным методом в ИГМ СО РАН (аналитик В.Н. Ильина).

Наиболее низкие содержания Au характерны для карбонатизированных псевдолейцитовых сиенитов и сильно либнеритизированных сиенитов (3,7 и 6,8 ppb). При этом содержания Ag в разной степени либнеритизированных сиенитах меняются незначительно. Намечается возрастание содержания Au с увеличением количества SiO₂, Al₂O₃, Na₂O в породах. Изменения Au/Ag отношений определяются, прежде всего, значительными вариациями золота в щелочных породах. Из рисчорритов были выделены частицы самородного золота, в виде изометричных (10-20 мкм) и удлиненных (до 100 мкм) тонких пластинок, состав которых частично представлен в таблице 2 и соответствует соединениям Au_{0,91}Ag_{0,09} – Au_{0,78}Ag_{0,22}. Золотины содержат значительное количество включений полевых шпатов разного состава (Таблица 3). Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о наличии золота в щелочных породах массива Богдо. Самородное золото имеет морфологию и состав соответствующий золоту «уджинского» типа.

Таблица 2

Состав (масс.%) самородного Au из рисчоррита массива Богдо

Au	Ag	Total	Form	Au	Ag	Total	Formulae
94,78	5,02	99,80	Au _{0,91} Ag _{0,09}	94,45	5,26	99,71	Au _{0,91} Ag _{0,09}
94,72	5,10	99,81	Au _{0,91} Ag _{0,09}	92,24	4,72	96,96	Au _{0,91} Ag _{0,09}
88,8	11,3	100,1	Au _{0,81} Ag _{0,19}	87,23	12,98	100,21	Au _{0,79} Ag _{0,21}
85,95	13,21	99,15	Au _{0,78} Ag _{0,22}	86,3	10,96	97,27	Au _{0,81} Ag _{0,19}

Таблица 3

Состав (масс.%) включений полевых шпатов в самородном Au из рисчоррита (Бог-18, скв. 3257.5) массива Богдо

№	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Total
1	65,62	20,22	1,04	0,60	12,25	0,26	99,99
2	64,25	19,63	0,58	0,93	8,65	5,96	100,00
3	64,44	19,47	0,37	0,00	7,02	8,70	100,00

3. Благодарности

Работа поддержана РФФИ (грант 05–18–70109_Арктика) и МинОбразования и Науки РФ по госзаданию ИГМ СО РАН. Аналитические работы выполнены в ЦКП Многоэлементных и изотопных исследований СО РАН.

4. Литература:

- [1] Okrugin A.V., Zaitsev A.I., Borisenko A.S., Zemnukhov A.I. and Ivanov P.O. // Otechestvennaya geologiya, 2012, no 5, pp. 11- 20.
- [2] Nikiforova Z.S., Gerasimov B.B. and Tulaeva E. G. // Lithology and Mineral Resources, 2011, no. 1, p. 21–35.
- [3] Okrugin A.V., Okhlopkov S.S. and Grakhanov S.A. // Otechestvennaya geologiya, 2008, no 5, pp. 3–17.

УДК 549.283 + 553.41:553.495

**ТИПОХИМИЗМ САМОРОДНОГО ЗОЛОТА ИЗ
РОССЫПЕЙ ЭВОТИНСКОГО УРАН-
ЗОЛОТОРУДНОГО РАЙОНА (АЛДАНСКИЙ ЩИТ)**

Анатолий Журавлев, Александр Округин, Алексей Иванов, Евгений Лоскутов, Александр Кравченко, Мичил Иванов, Мария Желонкина

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

TYPOCHEMICAL FEATURES OF NATIVE GOLD FROM PLACERS OF EVOTINSKII URANIUM-GOLD ORE DISTRICT (ALDAN SHIELD)

Anatolii Zhuravlev, Alexandr Okrugin, Alexsey Ivanov, Evgeniy Loskutov,
Alexandr Kravchenko, Michil Ivanov, Maria Zhelonkina
Diamond and Precious Metals Geology Institute, Siberian Branch, Russian
Academy of Sciences, 39 Lenina ave., Yakutsk, 677000, Russia

Annotation. The typochemical features of native gold from placers of the Evotinsky uranium-gold ore district are considered. The fineness of native gold in these placers varies from medium to predominantly high and very high. By fineness, this gold occupy an intermediate position between the studied earlier precious metal from the exploited placers of the r. Bol. Kuranakh, r. Seligdar and P. Pinigin ore deposit. Such distribution of gold fineness in the r. Small Nimmir and r. Legleger may indicate the presence in the area different ore sources - similar to the P. Pinigin deposit and to the widespread and well-known Mesozoic types of the Central Aldan ore district. Another type of ore deposit with independent geochemical specialization also we can suppose as a source of gold for these placers.

1. Введение

Рассматриваются типоморфные особенности самородного золота из россыпей, расположенных в южной части Нимнырского террейна в пределах северного фланга Эвотинского уран-золоторудного района. Данная площадь в последние несколько десятилетий активно изучается в отношении коренной золотоносности, были открыты месторождение им. П. Пинигина, рудопроявления Бривас и другие, однако источники для многих россыпей золота в данном районе установлены не были. В данном сообщении обсуждаются возможные типы коренных источников для таких, широко распространенных россышепроявлений (рисунок 1).

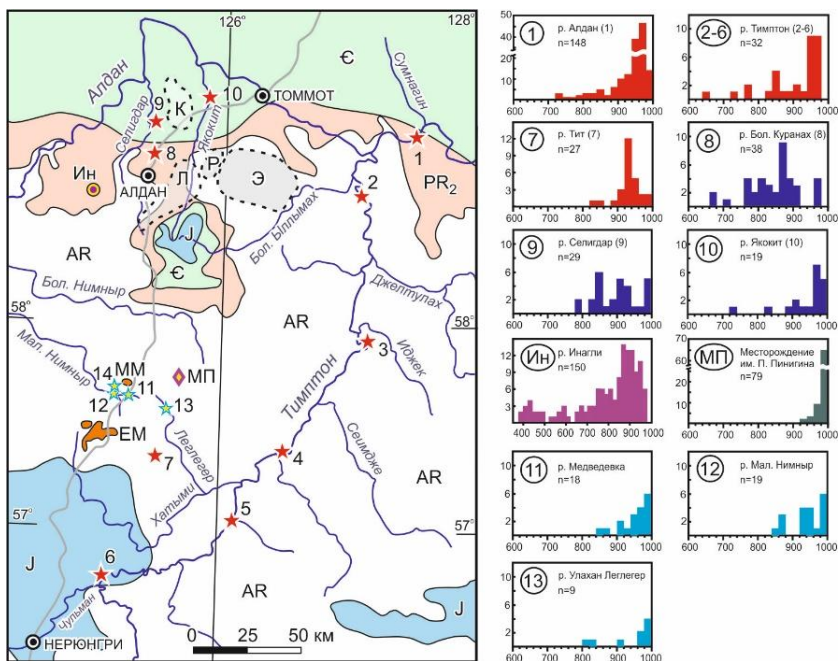


Рисунок 1. Схема расположения изученных Pt-Au россыпных и коренных месторождений с гистограммами пробности золота. Звездочками показаны россыпепроявления: 1 – Макылганское, 2-6 – р. Тимптон; россыпи: 7 – руч. Тит, 8 – р. Бол. Куранах, 9 – р. Селигдар, 10 – р. Якобит, 11 – р. Медведевка, 12 – р. Мал. Нимныр, 13 – р. Ул. Леглер, 14 – руч. Еловый. Коренные месторождения: Ин – Инаглинский массив с россыпью платины, МП – месторождение им. П. Пинигина с Au-содержащими сульфидными рудами, ММ – Медведевский массив, ЕМ – Эвотинский массив. Номера на гистограммах соответствуют вышеуказанным номерам россыпей. Штриховой линией оконтурены границы рудных полей по [1]: К – Куранахский, Р – Рябиновский, Л – Лебединский, Э – Эльконский.

2. Типоморфные особенности самородного золота

Самородное золото р. Малый Нимныр представлено удлиненными, изометричными выделениями с хорошей и средней окатанностью размерами 0,1-0,3 мм, редко до 0,8 мм. Пробность самородного золота по данным микрозондового анализа изменяется от 840 до 1000 ‰, в среднем 942 ‰. В качестве элементов примесей присутствуют Си до 0,28% и Нг до 0,17%. Золото р. Медведевка отличается от рассматриваемого в р.

Малый Нимныр более крупными размерами и преобладанием выделений изометричной, уплощенной и таблитчатой форм. Пробность варьирует в диапазоне от 846 до 1000 ‰, в среднем составляет 955 ‰. Содержание примесей Cu и Hg достигает 0,25% и 0,15% соответственно. По руч. Еловый установлен единичный знак золота крючковатой формы размером 0,3 мм. Пробность золота 734 ‰, элементы-примеси не установлены в пределах обнаружения микрозондового анализа. В россыпи Улахан Леглегер золото представлено единичными средне и хорошо обработанными удлиненными выделениями размером 0,1-0,4 мм. Пробность колеблется от 814 до 1000‰, в среднем 941 ‰. Микрозондовым анализом определены элементы примеси Cu и Hg. В одном зерне отмечено повышенное содержание Cu составляющее 0,49%. Примесь Hg не превышает 0,16%.

3. Обсуждение

Золото средней и низкой пробности изучено нами в россыпях рек Селигдар и Большой Куранах, которые расположены вблизи крупных золоторудных месторождений куранахского и лебединского типов мезозойского возраста. Также подобное золото с примесью Cu до 0,2% отмечалось в рудах Рябиновского месторождения [2]. Золото весьма высокой пробности известно в сульфидно-вкрапленных рудах в докембрийских метабазитах месторождения им. П. Пинигина [3].

Согласно проведенным ранее работам [4] на данной площади проходит три крупных разлома северо-восточного, юго-восточного и меридионального направлений. На северо-востоке в пределах данного района расположено месторождение Бривас, которое приурочено к узлам пересечения диагональных разломов с меридиональными. Подобное пересечение разрывных нарушений отмечается в бассейне р. Медведевка. Возможно, данные структуры являются питающими для россыпепроявления р. Медведевка, которая в свою очередь частично снабжает благородным металлом р. Малый Нимныр. Присутствие большего количества низкопробного золота в русловых отложениях р. Малый Нимныр вероятно, обусловлено поступлением последнего из россыпепроявления руч. Еловый.

4. Выводы

Таким образом, самородное золото в рассмотренных россыпепроявлениях представлено металлом различной пробности - от среднепробного до

преобладающего высоко- и весьма высокопробного. Они по пробности занимают промежуточное положение между благородным металлом, изученным нами ранее из эксплуатируемых россыпей рек Бол. Куранах и Селигдар, дренирующих рудные месторождения Лебединского и Куранахского типов (с преобладающим среднепробным золотом) и из рудного месторождения им. П. Пинигина, характеризующегося весьма высокопробным металлом. Подобное распределение пробности золота верховьев рек Малый Нимыр и Леглегер может указывать на присутствие в данном районе двух разных рудных источников - подобных месторождению им. П. Пинигина и широко распространенным и известным мезозойским типам Центрально Алданского рудного района. Можно предположить и альтернативный вариант о том, что источником золота этих россыпей проявлений может быть другой тип коренного проявления с самостоятельной геохимической специализацией. Для решения этой задачи требуются дальнейшие топоминералогические исследования в данном районе с целью сбора дополнительного материала.

5. Благодарности

Работа выполнена по государственному заданию ИГАБМ СО РАН при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ, проект НИР №0381-2019-0004.

6. Литература

- [1] Vetluzhskikh V.G., Kazanskii V.I., Kochetkov A.Ya., Yanovskii V.M. Gold-ore bearing deposits of the Central Aldan // *Geologiya rudnykh mestorozhdenii*. 2002. No 6. p 467-499. (in Russian).
- [2] Okrugin A.V., Zhuravlev A.I., Mokhnachevskii G.V. Minegalogical, geochemical and morphological features of placer gold of southeastern part of Siberian platform // *Otechestvennaya geologiya*. 2013. No 5. p. 45-56. (in Russian).
- [3] Kravchenko A.A., Smelov A.P., Beryozkin V.I., Popov N.V. Geology and genesis of Precambrian gold ore-bearing meta basites of central part of Aldan-Stanovoy shield (by example P. Pinigin deposit). – Yakutsk: RIZ “Ofset”, 2010. 148 p. (in Russian).
- [4] Utrobin D.V., Toropygin S.B., Vorobyov K.A., et al. Report of results of geology- mineralogical mapping of scale 1:200 000 of Des-Khatyminsky area (sheets O-51-XXIII, O-51-XXIV), 2008. 481 p. (in Russian).

УДК 552.08

**НЕИЗВЕСТНЫЙ СУЛЬФАТ-АРСЕНАТ-ФОСФАТ
Al и Fe ИЗ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ХАНГАЛАС
(ВОСТОЧНАЯ ЯКУТИЯ)**

Надежда Заякина, Максим Кудрин, Валерий Фридовский
ФГБУН Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН,
677000, Россия, г.Якутск, пр-т Ленина, 39

**UNKNOWN SULPHATE-ARSENATE-PHOSPHATE
Al AND Fe FROM KHANGALAS DEPOSIT
(EAST YAKUTIA)**

Nadezhda Zayakina, Maksim Kudrin, Valery Fridovsky
Diamond and Precious Metals Geology Institute, Siberian Branch, Russian
Academy of Sciences, 39 Lenina ave., Yakutsk, 677000, Russia

Annotation. Rare sulfates and arsenates: scorodite, kankite, amaranthite, bukovskyite, pitticite and unknown sulfate-arsenate-phosphate Al, Fe were detected by X-ray phase analysis in the study of hypogene minerals from the Khangalas deposit (East Yakutia). An unknown mineral was investigated by electron scanning microscopy, IR spectroscopy, DTA-DTG analysis, the chemical composition was determined, and an empirical formula is proposed.

1. Введение

Исследования вещественного состава коры выветривания на золоторудном месторождении Хангалас показали широкое развитие гипергенных минералов [1, 2]. Установлены следующие минералы: сульфаты – гипс, ярозит, амарантит, гидроокислы – гетит, арсенаты – скородит, канькит, питтицит, сульфоарсенат – буковскийит. Кроме того, встречены неизвестные минеральные фазы. Арсенаты в последнее время привлекают большое внимание исследователей, что связано с разложением этих минералов как в результате гипергенных изменений породы в естественных условиях, так и в результате горных работ, и возможностью последующего загрязнения окружающей среды [3]. В зоне гипергенеза арсенаты не образуют значительных концентраций, редко встречаются как монообразования, а чаще в смесях с другими

минералами. Арсенаты, в частности скородит, является главным продуктом окисления арсенопирита и в ходе дальнейшего развития зоны окисления лимонитизируется или замещается питтитом [4].

Изучение минерального состава выполнено методом рентгенофазового анализа на дифрактометре D2 PHASER, съемка образцов проводилась на CuK_α излучении, напряжении трубки 30 кВ и силе тока 10 мА в интервале $4,5\text{--}65^\circ$ ($2\theta^\circ$), использовали базу данных PDF-2. Препараты готовились из порошковых проб. Химический состав неизвестного минерала определен классическим мокрым методом (аналитик Галенчикова Л.Т.) и на электронном сканирующем микроскопе JEOL JSM-6480LV с энергетическим дисперсионным спектрометром Energy 350 Oxford (20 кВ, 1 нА, диаметр пучка 1 мкм) (аналитик Попова С.К.).

2. Объекты исследования и результаты работ

Объектом данного исследования послужил образец (X-18-17), состоящий из агрегата обломков желтовато-белого и желтовато-зеленоватого оттенков, отобранный висячем крыле рудной зоны Центральная месторождения Хангалас. Обломки заполняют трещину в серицит-хлорит-кварцевых метасоматитах с арсенопиритом и пиритом (рисунок 2А). В обломках желтовато-зеленого цвета диагностированы следующие арсенаты: скородит $\text{FeAsO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, канькит $\text{FeAsO}_4 \cdot 3,5\text{H}_2\text{O}$, и сульфоарсенат $\text{Fe}_2(\text{AsO}_4)(\text{SO}_4)(\text{OH}) \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ буковскиит (рисунок 2Б). Канькит находится в смеси с буковскиитом, выделить минералы в виде монофракций не удалось. Рентгенограмма приведена на рисунке 1. Канькит и буковскиит относятся к достаточно редким минералам.

Для обломков желтовато-белого цвета, отобранных под бинокулярным микроскопом, получена рентгенограмма, аналогов которой в базе данных не найдено (рисунок 3). Исследование пробы на сканирующем электронном микроскопе и повторно полученные рентгенограммы показали, что минерал практически мономинеральный, очень редко на рентгенограммах фиксируются следы кварца. Минерал характеризуется массивной текстурой, тонкокристаллической структурой, состоит из параллельных сростков тонких игольчатых кристаллов толщиной доли мкм, длиной до 10 мкм (рисунок 2В).

По результатам химического анализа установлено, что минерал является водным сульфат-арсенат-фосфатом Fe и Al. Следует отметить, что при анализе на электронном сканирующем микроскопе были зафиксированы участки с различным содержанием Fe и Al, т.е. не исключаются

достаточно широкие изоморфные замещения между этими элементами и возможно существование чистых Fe и Al разновидностей.

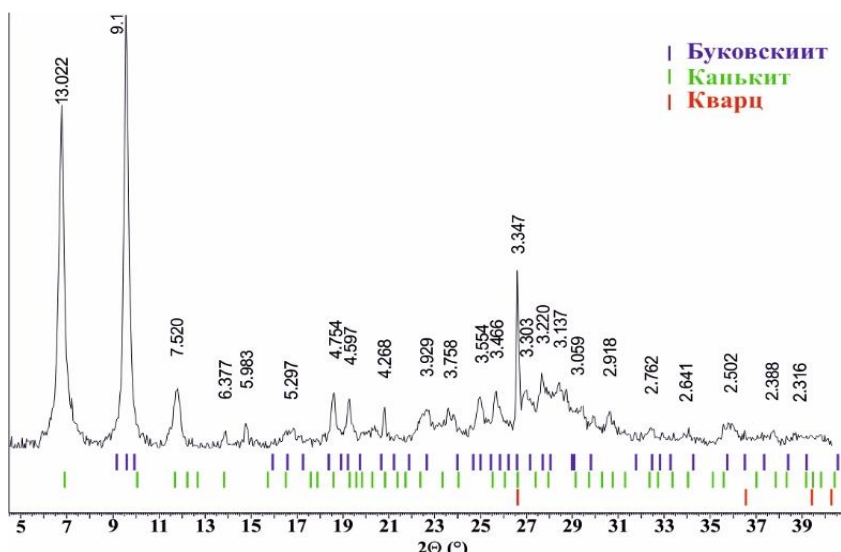


Рисунок 1. Рентгенограмма смеси канькита и буковскита с небольшой примесью кварца.

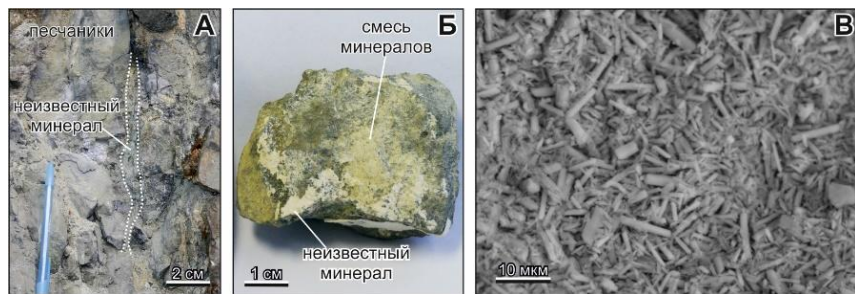


Рисунок 2. Неизвестный минерал: А – в обнажении, Б – в штуфе, В – SEM изображение.

Предварительно общая формула следующая: $(\text{Fe,Al})_2(\text{SO}_4)[(\text{As,P})\text{O}_4](\text{OH}) \cdot n\text{H}_2\text{O}$, где $n=4-5$. Аналогов по химическому составу не найдено. Размер и особенности кристаллов не дают возможности работать с отдельными монокристаллами. Для образца

получен ИК-спектр, Проведено исследование минерала методом ДТА-ДТГ. По результатам этих анализов минерал оказался индивидуален, аналогов в литературных данных также не найдено.

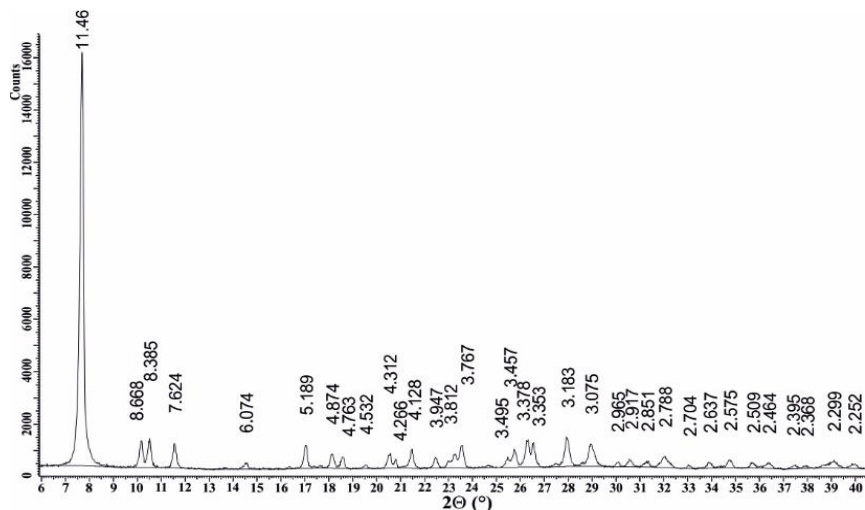


Рисунок 3. Рентгенограмма неизвестного сульфат-арсенат-фосфата Fe, Al.

3. Заключение

В настоящее время невозможно дать полное описание (кристаллографические и оптические характеристики, плотность, кристаллическую структуру) найденного сложного сульфат-арсенат-фосфата Al и Fe. Работа в данном направлении продолжается. Углубленное изучение минералогии окисленных руд Якутии может привести к открытию новых минеральных видов.

Авторы благодарят сотрудников института Л.Т. Галенчикову, Н.Н. Емельянову, Т.И. Васильеву за помощь в работе.

4. Благодарности

Исследование выполнено по плану НИР ИГАБМ СО РАН и при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-35-00336.

5. Литература:

- [1] Kudrin M.V., Vasilyeva T.I. Fridovskiy V.Yu., Zayakina N.V., Polufuntikova L.I. Mineraly kory vyvetrivaniya Khangalasskogo rudnogo uzla (Severo-Vostok Rossii) // Geologiya i mineralno-syryevyye resursy Severo-Vostoka Rossii: materialy IX Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Yakutsk: Izd. dom SVFU. 2019, pp. 53–56.
- [2] Kudrin M.V., Zayakina N.V., Vasilyeva T.I. Mineraly zony okisleniya zolotorudnogo mestorozhdeniya Khangalas (Vostochnaya Yakutiya) // Geologiya i mineralno-syryevyye resursy Severo-Vostoka Rossii: materialy VIII Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. T. I. – Yakutsk: Izdvo IMZ im. P.I. Melnikova. 2018, pp. 77–80.
- [3] Putilina V.S., Galitskaya I.V., Yuganova T.I. Povedeniye myshiaka v pochvakh, gornyx porodakh i podzemnykh vodakh (transformatsiya, adsorbtsiya/desorbtsiya, migratsiya). Novosibirsk: GPNTB SO RAN. 2011, – 249 p.
- [4] Yakhontova L.K., Zvereva V.P. Osnovy mineralologii gipergeneza. Osnovy mineralologii gipergeneza. Vladivostok: Dalnauka. 2000. –331 s.

УДК 553.98: 551.735.15

ГЕОХИМИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ НАФТИДО- ПРОЯВЛЕНИЙ В СРЕДНЕКАМЕННОУГОЛЬНЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ПРИКОЛЫМСКОГО ПОДНЯТИЯ

Ираида Зуева¹, Ольга Чалая¹, Юлия Глязнецова¹, Сара Лифшиц¹,
Ньургустаана Попова¹, Андрей Прокопьев², Александр Александров¹
¹ ФИЦ «ЯНЦ СО РАН» ФГБУН Институт проблем нефти и газа СО РАН,
677980, Россия, г. Якутск, ул. Петровского, 2,
² ФГБУН Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН,
677000, Россия, г. Якутск, пр-т Ленина, 39

GEOCHEMISTRY OF SURFACE BITUMEN SHOWS IN THE MIDDLE CARBONIFEROUS SEDIMENTS OF THE PRIKOLYMSKY UPLIFT

Iraida Zueva¹, Olga Chalaya¹, Yuliya Glyaznetsova¹, Sara Lifshits¹,
Nurgustaana Popova¹, Andrey Prokopiev², Aleksander Aleksandrov¹

¹ Institute of Oil and Gas Problems Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 2 Petrovsky st., Yakutsk, 677980, Russia

² Diamond and Precious Metals Geology Institute, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, 39 Lenina ave., Yakutsk, 677000, Russia

Annotation. The paper presents the results of geochemical study of the samples of the Nyatvinsky strata by outcrops of the Popovka river to determine a type of naphthides and their relation with the enclosing rocks. The high content of organic matter and bitumoids in rocks was detected. The studied samples are oils and malthas, methane-naphthene hydrocarbons dominate in hydrocarbon composition of the oils, and there is a significant content of phenantrenes in malthas. Alcohol-benzene resins in oils and malthas are highly oxidized. Widely developed oil and bitumen shows here up to formation of hydrocarbon pools in the more submerged parts of the Indigiro-Zyryansky basin may produce to the high generation potential of the Nyatvinsky strata, while it is impossible to exclude some presence of hydrocarbons from the underlying the Novinsky formation.

1. Введение

В терригенно-карбонатных толщах ниже-среднекаменноугольных отложений Омудевского и Приколымского поднятий (ОПП) широко развиты различные по масштабу и характеру нефте- и битумопроявления [1, 2]. В ряде работ приводится подробное описание нефтепроявлений в районе р. Поповки на границе ОПП, приуроченных к центральной части Нятовенской грабен-синклинали [1, 2], их геохимическая характеристика на сегодня является недостаточно полной. С целью выяснения типа нафтидопроявлений и их генетической взаимосвязи с вмещающими породами выполнено геохимическое изучение проб из поверхностных битумопроявлений (нятовинская толща, среднекаменноугольные отложения, р. Поповка) современными геохимическими методами.

2. Результаты

Мощность нятовенской толщи около 100 м, накопление осадков происходило в мелководной обстановке, характерной для прибрежной зоны морей и лагун бореальных бассейнов с преобладанием

восстановительной среды [3]. Исходное органическое вещество (ОВ) соответствует аквагенному типу. Образцы представлены чёрными глинисто-битуминозными алевролитами. По высокому содержанию органического углерода до 6% и высоким значениям выхода хлороформенного битумоида до 0,219% (Таблица 1) можно сделать вывод о доманикоидном типе пород поповкинской свиты. Учитывая низкие коэффициенты битуминозности можно предположить параавтохтонный характер битумопроявлений, при этом нельзя исключить и привнос углеводородов (УВ) из нижележащей новинской свиты [3].

По групповому составу образцы относятся к нефтям и мальтам и характеризуются алифатическим составом (Таблица 1). Состав и особенности распределения насыщенных УВ соответствуют аквагенному типу исходного ОВ. О достаточной термической зрелости исходного ОВ, достигшего ГФН, свидетельствуют значения коэффициента нч/ч равные 0,95-1,01. По данным ИК-спектрокопии нефти характеризуются преимущественно алифатическим строением при менее значительном участии ароматических циклов. По типу ИК-спектров и групповому составу эти образцы близки к образцу из нефтепроявления (Таблица 1), генезис которого связывают с ОВ нижележащей новинской свитой нижнего карбона [1]. В химической структуре мальт выше содержание ароматических циклов, а в их составе фенантроновых циклов.

Как в мальтах так, и нефтях высокая окисленность спирто-бензольных смол. Поглощение карбонильных групп - $D'_{1700} > 1$ указывают на имевшие место процессы значительного окисления нафтидов в зоне гипергенеза. Вариации в количестве карбонильных групп в химической структуре нафтидов определяются содержанием спиртобензольных смол в их составе (коэф. корреляции $R(D'_{1700} \cdot \text{количество спиртобензольных смол}) = 0,75$). Скорее всего большие колебания в содержании карбонильных групп в химической структуре нафтидов (Таблица 1) могут быть обусловлены различной степенью «наложения» новых подтоков лёгких УВ из нижележащих отложений на нафтидопроявления, уже претерпевшие значительные изменения в зоне гипергенеза.

Таблица 1

**Геохимическая характеристика нафтидопроявлений в породах нятвинской толщи
среднекаменноугольных отложений Приколымского поднятия (обнажения, р. Поповка)**

Параметры	Содержание, % на породе			Содержание, % на ХБ			УВ-состав		Отношение		*D' ₁₇₀₀
	C _{орг.}	α _{хб.}	β _{хб.} , %	масла	смолы	асф-ны	М-Н	Н-А	МН/ НА	сп.бенз/ бенз. см	
Значения							нефти				
мин	4,97	0,047	0,88	69,2	13,4	1,3	73,7	13,5	2,80	0,51	0,10
макс	5,55	0,219	3,94	85,3	29,4	3,6	86,5	26,3	6,41	2,12	0,27
<i>среднее</i>	5,24	0,155	2,96	77,7	20,2	2,0	80,3	19,7	4,37	1,18	0,17
							мальты				
мин	5,10	0,053	0,99	60,8	31,6	3,9				1,47	0,33
макс	6,01	0,105	2,05	64,5	34,6	5,3				2,46	0,72
<i>среднее</i>	5,48	0,084	1,54	62,2	33,4	4,4	69,3	30,7	2,26	2,10	0,48
**нефть	не опр	не опр	не опр	71,2	28,3	0,5	94,1	5,9	15,9	не опр	не опр

Обозначения: *D'₁₇₀₀=D₁₇₀₀/D₁₄₆₀ – относительная плотность поглощения карбонильных групп

**жидкий битум в полостях конкреций нятвинской толщи C₂^{nt}, р. Поповка в 118 км от устья [1]

3. Выводы

Полученные результаты и данные других исследователей [1, 2, 4] свидетельствуют о том, что битуминозная нятвинская толща обладала высоким нефтематеринским потенциалом, генерировала жидкие УВ и могла быть источником УВ для широко развитых битумопроявлений в нижне-среднекаменноугольных отложениях ОПП вплоть до формирования скоплений УВ в погруженных частях Индигиро-Зырянского бассейна.

4. Благодарности

Работа выполнена по Программе ФНИ государственных академий наук Рег. № НИОКТР АААА-А17-117040710037-1

5. Литература:

- [1] Ivanov V.V., Clubov B.A. Naphthides and Naphthoides of the North-East of the USSR // Moscow: Nauka, 1979, p.147. (in Russian).
- [2] Comparison and column sections of the Omulevsky and the Prikolymsky uplift. // Karavaeva N.I. //Report on the topic: 1173, VKPS Magadansky RGP, 1993, p. 93(in Russian).
- [3] Ganelin V.G. Stratigraphy and brachiopods of the Upper Paleozoic deposits of the Kolymo-Omolon massive // Dis. cand. geol.-miner. Sciences, Moscow, Geological Institute, 1973, p. 191 (in Russian).
- [4] Shishkin V.A., Ganov A.P. Prospects of oil and gas potential of the southern part of the Tuscan structural zone of the Omulevsky uplift // Vestnik SVNTS FEB RAS, 2010, no. 2, pp. 8-13 (in Russian).

УДК 550.8 :553.98

ОЦЕНКА ЗАПАСОВ ГАЗОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ МЕТОДОМ МАТЕРИАЛЬНОГО БАЛАНСА

Анатолий Кислицын¹, Сергей Кузнецов²

¹ Тюменский государственный университет,
625003, Россия, г. Тюмень, ул. Вологарского, 6

² ООО «Газпромнефть НТЦ»,
625048, Россия, г.Тюмень, ул. 50 лет Октября, 14

EVALUATION OF DRAINABLE GAS RESERVES BY THE METHOD OF MATERIAL BALANCE

Anatolii Kislitsyn¹, Sergey Kuznetsov²

¹ University of Tyumen, 6, Vologarskogo st., Tyumen, 625003, Russia

² Gazprom Neft STC, 14, 50y Oktyabrya st., Tyumen, 625048, Russia

Annotation. It is marked advantages of method of material balance: using the accuracy producers-technological information by calculations. But there are some problems by applying of this method in practice. One of these is determining the average reservoir pressure on all gas saturated layer volume, especially for low-permeable layers, in those deep depression funels arises around the wells. Authors suggested and described the procedure of correct determination the weighted average pressure by means of the isobar map and the thickness - porosity - gas saturate map of the gasfield. It is presented results of suggested method verification on real Yamal gas field. It is shown, that suggested algorithm rises isobar map accuracy for low-permeable layers due to compensation of error in reservoir pressure determination. This, in turn, allows essentially (~ 20%) make more exact gas field reserves.

1. Введение

При проектировании разработки месторождений нефти и газа для определения начальных запасов широко используется объемный метод [1, 2]. Но если проследить динамику уточнения величин начальных запасов газа по месторождениям севера Западной Сибири, то можно отметить, что последующие оценки запасов объемным методом нередко отличались от предыдущих в два и более раза. За годы разработки газовых месторождений Крайнего Севера накоплен обширный объем фактического материала, на основании которого мы считаем, что для оценки запасов разрабатываемых газовых залежей наиболее приемлемым является метод материального баланса [3, 4]. Его преимущество заключается в использовании при расчетах более точной промыслово-технологической информации, тогда как объемный метод опирается лишь на геолого-геофизические исследования.

Результаты геологоразведочных работ конца 20-го - начала 21-го веков

свидетельствуют о том, что в недрах Северо-Востока России находятся крупнейшие месторождения нефти и газа [5], и для их освоения может оказаться полезным опыт, накопленный при разработке газовых месторождений на севере Западной Сибири.

2. Метод материального баланса

Основой метода материального баланса является уравнение, которое можно записать в виде [4]:

$$(1) \quad \left(\frac{p}{Z}\right) = \left(\frac{p}{Z}\right)_{in} - \frac{p_0 \cdot \Sigma Q_g \cdot T_{St}}{K_g \cdot V \cdot T_0},$$

где p/Z - текущее приведенное пластовое давление, $(p/Z)_{in}$ - начальное значение p/Z , p_0 - атмосферное давление, ΣQ_g - накопленный отбор газа к текущему моменту времени, приведенный к стандартным условиям, T_{St} - пластовая температура, T_0 - температура при стандартных условиях, K_g - коэффициент газонасыщенности (доли единицы); V - поровый объем газового месторождения; Z - коэф. сверхсжимаемости газа.

Из уравнения (1) следует прямолинейная зависимость p/Z от ΣQ_g . На этом основан метод подсчета запасов газа (P/Z - анализ). На график (рисунок 1) наносят точку начального приведенного давления (P/z) в точке $\Sigma Q_g = 0$, а также значения накопленных отборов газа с замеренным значением приведенного давления на соответствующую дату отбора. По этим точкам строят прямую линию до пересечения с осью абсцисс (синяя линия на рисунке 1). Значение ΣQ_g в точке пересечения и будет соответствовать запасам газовой залежи.

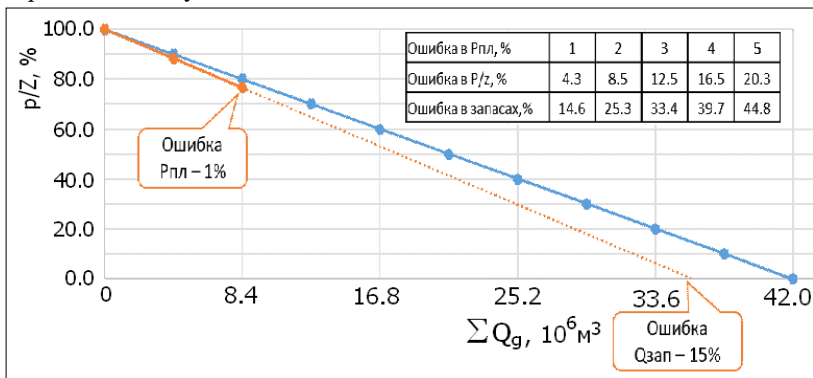


Рисунок 1. Пример P/z анализа

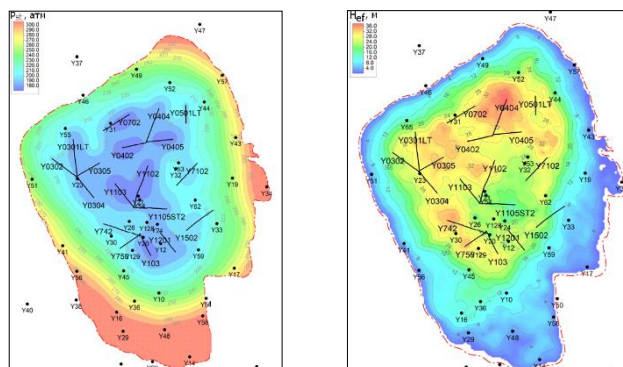
Известно, однако, что с течением времени газовые скважины формируют вокруг себя депрессионные воронки, глубина которых тем больше, чем ниже проницаемость газонасыщенного пласта. Поэтому при замере давления в таких скважинах будет определяться не истинное пластовое давление, а значительно более низкое давление в зоне отбора. В этом случае запасы газа будут определены с существенной ошибкой (желтая линия на рисунке 1). Поэтому для проведения корректной оценки запасов в формуле (1) надо использовать не давление в зоне отбора, а средневзвешенное давление по всему газонасыщенному объему.

3. Метод определения средневзвешенного давления

На рисунке 2 слева изображена карта пластовых давлений некоторого месторождения, а справа - карта "эффективных газонасыщенных толщин" H_{ef} этого же месторождения, полученная умножением локальной толщины пласта на локальные коэффициенты пористости и газонасыщенности. Разделим месторождение на N участков, с площадями ΔS_i . Умножая площадь i -го участка на соответствующую $H_{ef\ i}$, получаем для данного участка "эффективный" объем пор ΔV_i , заполненных газом. Суммируя все ΔV_i , находим объем пор всего месторождения. Умножая пластовое давление p_i данного i -го элемента на соответствующий объем ΔV_i , суммируя их, и деля на суммарный "эффективный" объем пор всего месторождения, находим средневзвешенное пластовое давление:

$$(2) \quad p_{av} = \frac{\sum_{i=1}^N p_i \Delta V_i}{\sum_{i=1}^N \Delta V_i}.$$

Рисунок 2.
Осреднение пластового давления методом взвешивания на газонасыщенный объем



4. Проверка в промысловых условиях

Метод был опробован на одном из месторождений Ямала на газовом пласте с низкой (6.7мД) проницаемостью. По карте изобар на 01.08.2019 средневзвешенное давление составило 207.54 атм (73,7% от начального) при накопленных отборах в 32% от начального запаса. Результаты оценки запасов с помощью описанной выше методики были сравнены с исходной геологической моделью, актуализированной на ту же дату 01.08.2019. Оказалось, что запасы газа превышают исходную геологическую оценку на 18.4%.

5. Результаты и выводы

- Описан алгоритм осреднения пластового давления методом взвешивания давления на газонасыщенный объем.
- Результаты проверки в промысловых условиях показали, что предложенный алгоритм повышает точность построения карты изобар для низкопроницаемых пластов за счет компенсации ошибки в определении пластового давления. Это, в свою очередь, позволяет существенно (~ 20%) уточнить запасы газовых месторождений.

6. Литература:

- [1] Gutman I.S. Calculation methods of oil and gas reserves. - Moscow: Nedra, 1985. - 223 pp. (In Russian).
- [2] Gutman I.S., Saakyan M.N. Optimization of the formula to volumetric calculate the oil and gas reserves // Nedropolzovanie XXI Century, 2013, April. - pp 36-42 (In Russian).
- [3] Zotov G.A. Geo-technological basis of using gas-dynamics methods for evaluation drainable gas reserves. Moscow: [without publishing firm], 2008. - 55 pp. (In Russian).
- [4] Efremov A.A., Laperdin A.N., Maslov V.N. Determination the weighted average layer pressure by the method of material balance to calculations of gas reserves // Science and FEC, 2011, №5, October. - pp 56-58 (In Russian).
- [5] Alekseev N.N., Arjakov N.A., Sitnikov V.S., Slepzova M.I. Geological prospecting for oil and gas in the Yakut Republic (history, status, prospects)//Geology and mineral source of raw materials on N-E of Russia: Proc. of All-Rus. Sc.-Prac. Conf., Ed. L.I. Polufuntikova. - Yakutsk: Publishing House of M.K.Ammosov's N-E Federal University, 2016. pp 304-307. (In Russian).

УДК 551.435+551.8

**ФАЦИАЛЬНО-ГЕНЕТИЧЕСКАЯ
ХАРАКТЕРИСТИКА И ПРОМЫШЛЕННОЕ
ЗНАЧЕНИЕ ЧЕТВЕРТИЧНЫХ ОСАДОЧНЫХ ТОЛЩ
УСТЬ-БАРГУЗИНСКОЙ ВПАДИНЫ
(БАЙКАЛЬСКАЯ РИФТОВАЯ ЗОНА)**

Владимир Коломиец^{1,2}

¹Геологический институт СО РАН,
670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6а, Россия

²Бурятский государственный университет им. Доржи Банзарова,
670000, г. Улан-Удэ, ул. Смолина, 24а, Россия

**FACIES-GENETIC CHARACTERISTICS AND
INDUSTRIAL SIGNIFICANCE OF THE QUATERNARY
SEDIMENTARY STRATA IN THE UST'-BARGUZIN
DEPRESSION (BAIKAL RIFT ZONE)**

Vladimir Kolomiets^{1,2}

¹Geological Institute SB RAS,
Sakhyanova str., 6a, Ulan-Ude, 670047, Russia

²Dorzhii Banzarov Buryat State University,
Smolin str., 24a, Ulan-Ude, 670000, Russia

Annotation. The work is devoted to studying the nature of the Pleistocene sedimentogenesis of the southeastern coast of Lake Baikal using the example of the intermountain Ust'-Barguzin Depression. Similar studies for this region were performed for the first time. The modern bottom of the Ust'-Barguzin Depression is an alluvial-lake plain with swamp lowlands, as well as piedmont inclined terrace-shaped steps. Terrace formations are represented by the following levels – VI (height 80-100 m, age – Q_1^2 - Q_2^1) V (50-80 m, Q_2^{1+2}), IV (25-50 m, Q_2^{3+4}), III (15-25 m, Q_3^1), II (9-12 m, Q_3^2) and I (7-9 m, Q_3^4 - Q_4^1). The sedimentary environment of the terrace complex, starting from the second half of the Lower to the middle of the Middle Pleistocene, in the Ust-Barguzin Depression was the limnic environment. From the second

segment of the Middle Pleistocene, the lacustrine regime of depression is gradually replaced by a river in the deltaic position of its channel. Late Pleistocene is characterized mainly by riverine conditions for the formation of sedimentary strata. The fact that the Ust'-Barguzin Depression Terrace Complex belongs lithologic to sand formations determines its high practical potential as building materials (silicate, building, glass sands and fine aggregates for heavy concrete).

1. Введение

Фундаментальные вопросы изучения Байкальской рифтовой зоны уже многие десятилетия остаются важными направлениями, имеющими большой научный интерес. Особое значение в ряду исследовательских задач ее эволюции приобретает анализ структурно-формационных комплексов межгорных сухоходольных котловин. Большая часть днищ впадин, в частности Усть-Баргузинской, выполнена мощными позднекайнозойскими трансгрессивными, литологически сходными полифациальными аквальными толщами нескольких возрастных генераций. При изучении отложений данной впадины применялся стандартный комплекс литолого-фациальных исследований с получением количественных характеристик процесса седиментации [1].

2. Результаты исследований и их обсуждение

Усть-Баргузинская впадина – отрицательная морфоструктура, которая относится к восточному флангу Байкальской рифтовой зоны и расположена на юго-восточном побережье озера Байкал.

VI надпойменная терраса (НТ) сформирована песками различной крупности зерна. По статистическим параметрам осадки характеризуются изменчивой сортировкой – от совершенной до плохой. Экссесс положителен и устанавливает тектоническую стабильность среды аккумуляции. Коэффициент вариации v принадлежит области как смешанного лимно-флювиального накопления, так и стационарных аквальных турбулентных водотоков с сезонными колебаниями водности. Палеогидрологическая модель диагностирует формирование осадков в неглубоких (2-5 м) озеровидных проточных водоемах. Привнос субстрата происходил за

счет естественных блуждающих потоков равнинного типа (число Фруда, $Fr \leq 0,1$).

Пятая НТ выполнена слоистыми алевритово-мелко-среднезернистыми песками. Сортировка отложений – от очень хорошей до хорошей, что определяет характер седиментогенеза в умеренно-турбулентной среде. Плюсовые значения эксцесса – свидетели стабильного тектонического фона. Такие обстановки свойственны стационарным водным пространствам ($v=0,61-1,45$). Для впадавших в сквозной неглубокий озерный (2-6 м) водоем палеопотокам был характерен равнинный тип русла ($Fr=0,03-0,07$).

Осадки четвертой НТ представлены мелкозернистыми и средне-мелкозернистыми псаммитами. Динамические показатели характеризуют отложения как совершенно, хорошо и умеренно сортированные, эксцесс положителен, что констатирует относительную стабильность протекания неотектонических явлений на данной территории. Коэффициент изменчивости ($v=0,7-1,3$) указывает на возможность накопления осадков в речной среде – блуждающими водотоками равнинного ($Fr=0,04-0,07$) типа с постоянными руслами при впадении в конечный водоем.

Третья НТ сложена горизонтально- и косослоистыми песками переменной сортировки. Значения коэффициента вариации соответствуют флювиальным обстановкам аккумуляции ($v=1,0-1,6$). Верхняя часть разреза террасы формировалась в спокойной гидродинамической среде при образовании подпорого слабопроточного неглубокого (до 5 м) озера. Внедрявшиеся в этот водоем палеореки имели равнинный тип русла ($Fr < 0,1$).

Толща второй НТ сложена разнозернистыми песками. Это наименее сортированные осадки, накапливавшиеся в малоподвижной среде аккумуляции. Значения коэффициента вариации ($v=1,32-1,50$) соотносятся с областью постоянных извилистых водотоков равнинного ($Fr=0,05-0,07$), реже полугорного грядового ($Fr=0,11$) типа средних рек.

Верхняя часть разреза первой НТ выполнена тонкозернистыми и алевритовыми песками, низы толщи образованы крупно-среднезернистыми и гравелистыми песками с наклонными и косыми сериями. Коэффициент вариации определяет генезис данных осадков ($v=1,27-1,42$) как флювиальный – турбулентный речной с

поступательным характером движения воды. Палеогидрологические характеристики для данного отрезка наиболее рельефны – преимущественное развитие получили горные потоки с аллювиальными грядовыми формами ($Fr=0,39$), галечно-валунными ложами русел и беспокойным течением. Динамика имела выраженный турбулентный режим осаждения.

Кроме того, осадочные толщи в своем большинстве соответствуют требованиям, предъявляемыми государственными и отраслевыми стандартами для различных видов стройматериалов: 1) песков для выпуска силикатных изделий автоклавного твердения; б) строительных песков; в) песков в качестве заполнителей в тяжелые бетоны; г) природных песков для стекольной промышленности.

Таковым является месторождение комплексного сырья Гусиха-2. Оно занимает междуречное пространство рр. Большой и Малой Гусих (левые притоки р. Баргузин). Полезная залежь сформирована кварц-полевошпатовым разнозернистым песчаным материалом плейстоценового возраста (VI-I террасы). Площадь – 10 км^2 , вскрытая глубина отработки – 5 м, объем – 50 млн. м³.

3. Выводы

Таким образом, террасовый комплекс имеет аквальный генезис. Он формировался в лимнической среде (нижний – вторая половина среднего плейстоцена) с постепенным замещением озерных условий на речные во второй половине среднего плейстоцена и преимущественным их существованием в позднем плейстоцене. Кроме того, его строение характеризуется фракционным постоянством в пределах стандартных требований на отдельные виды стройсырья и крупными запасами в десятки млн. м³.

4. Литература:

[1] 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: Candidate geol.-miner. sci. syn. diss. Irkutsk, 2010, 18 p. (in Russian).

УДК 553.623.7:666.1

СЫРЬЕ ДЛЯ СТЕКОЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ БАЙКАЛЬСКОГО РЕГИОНА: ОТЛОЖЕНИЯ, КРИТЕРИИ ПОИСКОВ И ПОТЕНЦИАЛ

Владимир Коломиец

Геологический институт СО РАН,

670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6а, Россия

Бурятский государственный университет им. Доржи Банзарова,

670000, г. Улан-Удэ, ул. Смолина, 24а, Россия

RAW MATERIALS FOR THE GLASS INDUSTRY IN THE BAIKAL REGION: DEPOSITS, SEARCH CRITERIA AND POTENTIAL

Vladimir Kolomiets

Geological Institute SB RAS,

Sakhyanova str., 6a, Ulan-Ude, 670047, Russia

Dorzhi Banzarov Buryat State University,

Smolin str., 24a, Ulan-Ude, 670000, Russia

Annotation. The most promising sources of estimated and predicted resources of glass sands by grain composition are alluvial, alluvial-lacustrine and limnoglacial deposits of the intermountain depressions in the Baikal region (Muya-Kuanda, Parama, Verkhneangarsk, Barguzin, Kotokel', Ust'-Selenga, Tunka). Secondary objects are sediments of proluvial and aeolian genesis. Unfortunately, the high natural content of iron (III) oxide in the deposits precludes the possibility of obtaining high-quality grades of glass.

1. Введение

Качество сырья для стекольной промышленности определяется техническими требованиями ГОСТа 13451-77 к естественным полевошпатовым и кварц-полевошпатовым материалам. С этой целью проводятся лабораторные испытания, и устанавливается в итоге зерновой (фракционный) и химический состав натурального компонента (в %): 1) фракция 1.25-0.63 мм – ≤ 5 ; 2) SiO_2 – ≤ 80 ; 3)

$\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O} - \geq 7$; 4) $\text{Al}_2\text{O}_3 - \geq 11.5$; 5) Fe_2O_3 – массовая доля варьирует от 0.2 до ненормированности для различных марок стекольных материалов [1].

2. Результаты исследований и их обсуждение

Заявка госстандарта по фракционному набору ограничивается осадками в виде естественной смеси из песчано-алевритово-глинистых частиц и исключает присутствие каких-либо примесей крупностью >1.25 мм. Это обстоятельство в литолого-генетическом и фациальном отношении значительно суживает распространение искоемых объектов. Поэтому, при выработке прогнозных рекомендаций годности стекольного сырья следует использовать поисковый ряд критериев «литология» – «генотип» – «группа фаций (макрофация)» – «фация (микрофация)».

По микрофациальному анализу запросы качества удовлетворяют фации, которые образовывались в условиях малого энергетизма в среде осадконакопления – слаботурбулентных, субламинарных русловых и донных потоках, глубоководных, приглубых и прибрежных частях озер, на периферии конусов выноса и зоне эоловых перемещенных песков зрелой стадии перевевания. Отложения гляциального генезиса (g, f, af), кроме озерно-ледникового типа (lg), не пригодны из-за их формирования в бассейнах седиментации с высоким динамизмом. В гранулометрическом отношении самыми перспективными являются лимнический, аллювиальный, лимногляциальный, эоловый и пролювиальный генотипы.

Аллювиальные и озерные отложения (a, la, al) характеризуются довольно устойчивым процентом пригодности проб (ППП), лучшие показатели имеют место в Верхнеангарской и Тункинской впадинах, где ППП выше 50 процентов. Полезными свойствами обладают фация внутренней зоны поймы, группа старичных фаций и отложений вторичных водоемов пойм, группа лимнических фаций (прибрежные и приглубые фации, а также фация внутренних частей озер). Кроме того, пригодными могут быть отдельные горизонты из фаций пойменной и русловой групп. Последнее обстоятельство прямо зависит от характера изменения водности потоков в связи как с климатическими и сезонными особенностями, так и чисто гидрологическими факторами – протяженностью, уклоном и типом речного русла.

Озерно-ледниковые каменные отложения (lg) опробованы в Хойтогорской котловине (Тункинская впадина), где ППП достаточно высок – 60.5%. Это комплексное месторождение песка Нилова Пустынь, расположенное на левом берегу р. Ихэ-Ухгунь в ее нижнем течении. Полезная залежь занимает площадь 2.3 км² (вскрытая мощность 3.5 м) и сложена среднеплейстоценовыми мелкозернистыми полевошпатово-кварцевыми песками (запасы 4.8 млн. м³).

ППП пролювиальных отложений (р, ар) <10%, так как обнаружить осадки, не имеющие грубообломочных включений в предгорных частях впадин, весьма затруднительно. Тем не менее, отдельные пробы из фаций полого-покатой периферии крупных конусов выноса дают положительный результат, хотя значение их для развертывания какого-либо производства не велико.

Оловяные отложения (v). ППП высокий, годность понижается за счет малых примесей (1-2%) фракции 2.5-1.25 мм. При ее отсеивании может быть достигнут хороший результат – основная масса по гранулометрическим спектрам заключена в песчано-алевритовой области (70-80%) и представляет собой перемещенные пески зрелой стадии перевевания, поэтому данные отложения можно рекомендовать в качестве стекольного сырья.

Имеющиеся сведения по полному химическому составу песков вносят свои коррективы в выявленные закономерности. В первую очередь, повышенные содержания окиси железа (Fe₂O₃) до 2-5%, что на порядок выше требований ГОСТа, исключают возможность применения осадков в естественном виде для изготовления технического, листового и оконного стекла. Они могут использоваться лишь как сырье для производства изделий из темно-зеленого и тарного стекла (марка КПШС-Н-11.5 с ненормированной массовой долей Fe₂O₃).

Таким является месторождение стекольных песков Котокель в одноименной котловине на юго-восточном побережье оз. Байкал. Оно представлено озерно-речными плейстоценовыми отложениями, по химическому составу соответствует вышеуказанной марке стекла и характеризуется как крупное (площадь – 18 км², вскрытая мощность – 2.1 м, запасы – 38 млн. м³). В случае проведения магнитной сепарации пески данного месторождения могут соответствовать более высоким требованиям к сырью для стекольной промышленности – маркам

КПТС-0,70-11,5 и КПТС-0,50-11,5 (листовое оконное стекло). Подобная ситуация присуща также Муйско-Куандинской и Тункинской впадинам.

Количество SiO_2 по всей Байкальской рифтовой зоне находится в пределах требований госстандарта.

Содержания окиси алюминия по отдельным котловинам колеблются в незначительных пределах, для Муйско-Куандинской депрессии и юго-восточного побережья оз. Байкал ППП по Al_2O_3 96.3, что позволит получать качественное стекло. Для Тункинской впадины присущи некоторые изменения содержания окиси с переходом нормативной границы 11.5% в меньшую сторону (ППП 69.8), при этом левобережье р. Иркут и подножья Тункинских гольцов имеют почти 100% показатель годности.

Содержания суммы щелочей ниже нормы характерны для всей Тункинской котловины, причем каких-либо закономерностей в распределении $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ по литолого-фациальным и геоморфологическим элементам выявить не удалось, поэтому эта впадина, как источник стекольных песков, оценивается отрицательно.

3. Выводы

Несмотря на принадлежность исследуемой площади Байкальскому региону, отработка месторождений при соответственном выборе объектов, в первую очередь террасового комплекса впадин, не повлечет за собой значительных ландшафтных изменений. Добыча может вестись круглогодично механизированным карьерным способом, что всецело удовлетворит запросы стекольной промышленности для Восточной Сибири. Имеющиеся практически неограниченные запасы, наличие разветвленной сети железных и автомобильных дорог позволит также производить вывоз сырья за пределы региона.

4. Литература:

[1] GOST 13451-77. Feldspar and quartzfeldspar raw material for glass industry. Specifications. Moscow: Publishing House of Standards, 1999.

УДК 549:553.41

ЗОЛОТО-ТЕЛЛУРИДНАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ НИМГЕРКАНСКОГО РУДНОГО УЗЛА (АЛДАНСКИЙ ЩИТ)

Лариса Кондратьева¹, Алексей Минаков², Александр Кравченко¹

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

² АО «Якутскгеология», филиал «Алданский»,
678900, Россия, г. Алдан, ул. Ленина, 8

GOLD-TELLURIDE MINERALIZATION OF THE NIMGERCAN ORE FIELD (ALDAN SHIELD)

Larisa Kondratieva¹, Aleksey Minakov², Aleksandr Kravchenko¹

¹ Diamond and Precious Metals Geology Institute, Siberian Branch, Russian
Academy of Sciences, 39 Lenina ave., Yakutsk, 677000, Russia

² АО «Yakutskgeologiya», 8 Lenina ave., Aldan, 678900, Russia

Annotation. In the gold-argillite mineralization of the Nimgercan ore field, Au-Te epithermal mineralization was revealed. It is represented by tellurides of Ag, Au, and Bi — hessite, petzite, calaverite, volynskite, tellurium bismuthite, and Cu,Te sulfarsenites — goldfieldite. In paragenesis with telluride mineralization, micron (<5 µm) native gold (776-809 ‰) is developed.

1. Введение

Нимгерканский рудный узел расположен в центральной части Алданского щита на юго-западе Центрально-Алданского рудного района. Проведенные минералого-геохимические исследования позволили значительно расширить минеральный состав руд. Исследование руд проведено с помощью поляризационного микроскопа Аxioskop 40 фирмы Zeiss и микрозондового сканирующего электронного микроскопа JEOL JSM-6480LV.

Метасоматические формации Нимгерканского узла

На площади Нимгерканского узла развиты 2 золотопродуктивные метасоматические формации: серицит-микроклиновая и

аргиллизитовая [1, 2]. С серицит-микроклиновыми метасоматитами связан золото-медно-порфировый рябиновский тип оруденения, проявленный в щелочных породах Томмотского вулканоплутона в северной части рудного узла. С метасоматитами аргиллизитовой формации связано оруденение нимгерканского типа, развитое в южном обрамлении Томмотского вулканоплутона на месторождении Обман и рудопроявлении Гранитное.

Золотое оруденение нимгерканского типа представлено сульфидно-кварцевой минерализацией, приуроченной к штокам и дайкам аргиллизированных роговообманковых сиенит-порфиров мелового возраста и сопряжено с хрусталеносной и амелистозной минерализацией. Для рудоносных метасоматитов характерна высокая концентрация Au, Ag, Bi, Pb и Mo. Основной жильный минерал – друзовидный кварц ассоциирует с каолинитом, серицитом, адуляром, кальцитом. Главным рудным минералом является пирит, менее развиты галенит и халькопирит. Au/Ag отношение в рудах колеблется от 0,02 до 0,7. Самородное золото характеризуется мелкой размерностью (классы: -0,25 мм – 94%; -1,0 - +0,25 мм – 6%). Пробность варьирует в широких пределах от 417 до 991%. По разнообразию форм и большой доле уплощенных и игольчатых индивидов предполагаются малоглубинные условия образования.

2. Новые данные по минералогии золото-аргиллизитового оруденения

Проведенные минералого-геохимические исследования позволили значительно расширить минеральный состав руд нимгерканского типа. Относительным разнообразием на месторождении Обман пользуются минералы меди (таблица 1), представленные сульфидами (ковеллином CuS , халькозином Cu_2S , борнитом Cu_5FeS_4 , идаитом Cu_3FeS_4) и сульфосолями (теннантитом $\text{Cu}_{10}(\text{Fe,Zn})_2\text{As}_4\text{S}_{13}$ и голдфилдитом $\text{Cu}_{12}(\text{Te,Sb,As})_4\text{S}_{13}$). Борнит и идаит встречаются в тесном парагенезисе в кварце, образуя гипидиоморфные выделения, а также прожилки в пирите. Идаит часто содержит примесь Ag. Блеклые руды находятся в ассоциации с борнитом в виде включений или каемок. Теннантит характеризуется нестехиометричным составом, содержит примесь Sb. Голдфилдит – редкий минерал теллура, типоморфный для

эпитермальных месторождений, отличается повышенной концентрацией As при отсутствии Sb. Спорадически в рудах отмечается акантит с примесью Cu (Ag-79.01, S-15.17, Cu-5.79).

Таблица 1

**Химический состав минералов меди, масс.%.
Халькозин (2)**

S	Fe	Cu	Zn	As	Sb	Ag	Te
Халькозин (2)							
<u>21,76-</u> <u>22,11</u> 21,94	<u>1,48-</u> <u>1,56</u> 1,52	<u>75,98-</u> <u>77,87</u> 76,93					
Ковеллин (2)							
<u>30,94-</u> <u>31,69</u> 31,32	<u>0-1,20</u> 0,60	<u>67,01-</u> <u>67,07</u> 67,04					
Борнит (10)							
<u>23,72-</u> <u>27,36</u> 25,57	<u>6,89-</u> <u>11,72</u> 10,52	<u>62,01-</u> <u>68,81</u> 63,66					
Идаит (2)							
<u>31,98-</u> <u>32,49</u> 32,24	<u>13,83-</u> <u>14,19</u> 14,01	<u>48,54-</u> <u>49,33</u> 48,94				<u>2,32-</u> <u>3,66</u> 2,99	
Теннантит (6)							
<u>26,9-28,79</u> 27,53	<u>1,39-</u> <u>2,38</u> 1,80	<u>42,14-</u> <u>44,02</u> 43,02	<u>5,53-</u> <u>7,36</u> 6,81	<u>16,27-</u> <u>19,11</u> 17,69	<u>0-3,52</u> 1,49		
Голдфилдит (2)							
<u>26,14-</u> <u>26,58</u> 26,36	<u>0-1,08</u> 0,54	<u>49,66-</u> <u>50,70</u> 50,18		<u>8,92-</u> <u>9,53</u> 9,23			<u>14,43-</u> <u>15,07</u> 14,75

Примечание. В числителе пределы колебаний, в знаменателе среднее содержание, n – количество анализов

Проведенные минералого-геохимические исследования позволили значительно расширить минеральный состав руд нимгерканского типа. Относительным разнообразием на месторождении Обман пользуются минералы меди (таблица 1), представленные сульфидами (ковеллином

CuS, халькозином Cu_2S , борнитом Cu_5FeS_4 , идаитом Cu_3FeS_4) и сульфосолями (теннантитом $Cu_{10}(Fe,Zn)_2As_4S_{13}$ и голдфилдитом $Cu_{12}(Te,Sb,As)_4S_{13}$). Борнит и идаит встречаются в тесном парагенезисе в кварце, образуя гипидиоморфные выделения, а также прожилки в пирите. Идаит часто содержит примесь Ag. Блеклые руды находятся в ассоциации с борнитом в виде включений или каемок. Теннантит характеризуется нестехиометричным составом, содержит примесь Sb. Голдфилдит – редкий минерал теллура, типоморфный для эпитермальных месторождений, отличается повышенной концентрацией As при отсутствии Sb. Спорадически в рудах отмечается акантит с примесью Cu (Ag-79.01, S-15.17, Cu-5.79).

Таблица 2

Химический состав теллуридов, масс. %.

Fe	Cu	Ag	Te	Au	Bi
<u>Гессит (14)</u>					
	<u>0-2,92</u> 1,77	<u>59,27-63,44</u> 61,32	<u>33,99-38,99</u> 36,32		
<u>Петцит (3)</u>					
<u>0-2,41</u> 0,80	<u>0-3,85</u> 2,46	<u>40,96-41,53</u> 41,24	<u>31,73-32,95</u> 32,20	<u>23,68-24,79</u> 24,40	
<u>Калаверит (1)</u>					
1,79			47,98	46,85	
<u>Теллуровисмутит (6)</u>					
<u>0-2</u> 0,66	<u>0-5,81</u> 2,44		<u>43,97-46,38</u> 45,24		<u>49,42-</u> <u>55,36</u> 52,17
<u>Вольнскит (3)</u>					
<u>0-1,48</u> 0,49	<u>4,31-4,94</u> 4,58	<u>18,02-20,58</u> 19,63	<u>40,24-42,35</u> 41,04		<u>32,11-</u> <u>34,50</u> 33,27

Теллуриды Ag, Au, Bi образуют полиминеральные ансамбли в виде микровключений в минералах меди на месторождении Обман и в пирите на рудопроявлении Гранитное (таблица 2, рисунок 1). Теллуриды Ag и/или Au представлены гесситом (Ag_2Te), петцитом (Ag_3AuTe_2) и калаверитом ($AuTe_2$), теллуриды Bi – вольнскитом

(AgBiTe_2) и теллуrowисмутитом (Bi_2Te_3). Размер индивидов обычно не более 10-12 мкм. Форма минералов овальная, овально-вытянутая, неправильная.

В составе теллуридов часто присутствует, по-видимому, механическая примесь Cu или Fe, в зависимости от минерала-хозяина.

Самородное золото находится в парагенезисе с теллуридами, а также с голдфилдитом. Форма округлая каплевидная. Размер не более 5 мкм. Пробность изученного золота 776-809 ‰.

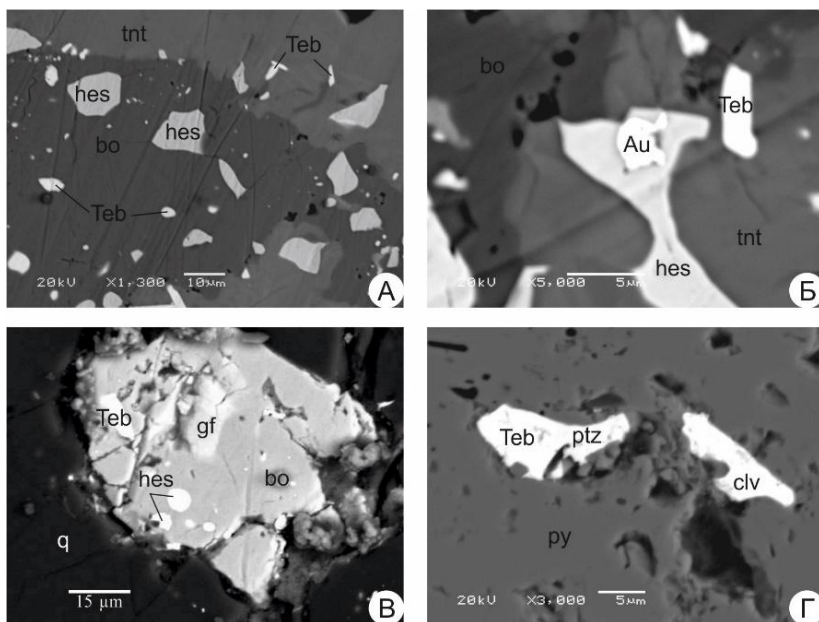


Рисунок 1. Теллуриды и ассоциирующие минералы Нимгерканского рудного узла. А-В – месторождение Обман, Г – рудопроявление Гранитное. q – кварц, py – пирит, bo – борнит, tnt – теннантит, gf – голдфилдит, hes – гессит, Teb – теллуrowисмутит, ptz – петцит, clv – калаверит, Au – самородное золото.

3. Выводы

Судя по взаимоотношениям минералов можно предположить следующую последовательность рудообразования. Наиболее ранним минералом является пирит, часто являющийся матрицей для всех

более поздних минералов. Далее выделялись медистые минералы, образующие прожилки, либо каемки в пирите. Позже образовывались блеклые руды, замещающие медистые минералы. Теллуриды Ag, Вi и Au отлагались на завершающем этапе рудообразования. Широкий разброс пробности и разнообразие морфологии самородного золота отражают его образование в нестабильных малоглубинных условиях рудоотложения. Проведенные исследования позволяют обосновать развитие в Нимгерканском рудном узле эпитермального золото-теллуридного минерального типа золото-аргиллизитовой формации.

4. Благодарности

Исследования проведены по плану НИР ИГАБМ СО РАН, проект № 0381-2019-00045 при поддержке хоздоговорной темы №10-507 и гранта РФФИ №18-45-140045 р_а.

5. Литература:

- [1] Dvornik, G.P. Gold ore metasomatic formations of the Central Aldan region // Lithosphere, 2012, No. 2, pp. 90-105 (in Russian).
- [2] Ugryumov A.N., Dvornik G.P., Balakhonov V.S. Late Mesozoic metasomatites and gold mineralization of the Nimgerkan ore field (Aldan shield) // Izv. UGGGA. Ser. Geology and geophysics. Vol. 8, Ekaterinburg, 1998, pp. 99-104 (in Russian).

УДК 553.98.04

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ГЕНЕРАЦИОННОГО ПОТЕНЦИАЛА НЕФТЕГАЗОПРОИЗВОДЯЩИХ ТОЛЩ ХАПЧАГАЙСКОГО МЕГАВАЛА (БАССЕЙНОВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ)

Алина Космачева, Марина Федорович

ФГБУН Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А.
Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. академика
Коптюга, 3

COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF SOURCE ROCK GENERATION POWER IN KHAPCHAGAI

MEGALITHIC BANK (BASIN AND PETROLEUM SYSTEM MODELING)

Alina Kosmacheva, Marina Fedorovich

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics, Siberian Branch
of Russian Academy of Sciences, 3 ave. Akademika Koptyuqa,
Novosibirsk, 630090, Russia

Annotation. The present research is aimed at the one-dimensional petroleum system modeling in a well section of the Tolon gas condensate field. According to the tectonic zoning, it is confined to the Khapchagai megalithic bank. The modeling primarily identifies burial and thermal history of sediments in the Paleozoic, Mesozoic and Cenozoic, oil-window- and gas-window-entry time and generation power of the source rocks. The reported study was funded by RFBR, project number 19-35-90039.

1. Введение

Толонское газоконденсатное месторождение в административном отношении расположено на территории Республики Саха (Якутия). В тектоническом плане месторождение приурочено к Хапчгайскому мегавалу, который осложняет центральную часть Вилюйской гемисинеклизы. Согласно нефтегазогеологическому районированию Сибирской платформы территория исследования принадлежит к Лено-Вилюйской нефтегазоносной провинции. Флюидоупорами для залежей верхней перми и нижнего триаса являются глинистые породы неджелинской и мономской свит. Нефтегазопроизводящие толщи приурочены к ниже- и среднекембрийским отложениям куонамской формации глинисто-карбонатного и кремнисто-карбонатно-глинистого состава и угленосным отложениям перми [1, 2, 3].

2. Основной раздел

Современные технологии бассейнового моделирования позволяют осуществлять реконструкцию ключевых геологических процессов, протекающих в осадочном бассейне. Моделирование нефтегазоносных систем в разрезе скважины Толонского месторождения, выполненное в программном комплексе PetroMod, направлено на восстановление

истории погружения и прогрева осадочных комплексов в палеозойское, мезозойское и кайнозойское время, на количественную оценку генерационного потенциала нефтегазопроизводящих толщ и определение времени их вхождения в главную зону нефтеобразования и главную зону интенсивного газообразования.

В модель были заложены такие входные параметры, как возраст, структурные характеристики и литологический состав стратиграфических комплексов, отражательная способность витринита, содержание органического вещества, тип керогена и углеводородный потенциал пород.

3. Выводы

В настоящее время верхняя и центральная части нефтегазопроизводящих отложений перми находятся в главной зоне нефтеобразования и главной зоне интенсивного газообразования, соответственно. Отложения куонамской формации уже полностью исчерпали свой нефтегазогенерационный потенциал.

Количество аккумулированных углеводородов в ловушках соответствует начальным запасам углеводородов промышленных категорий в пределах Толонского месторождения.

4. Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-35-90039. Funding: The reported study was funded by RFBR, project number 19-35-90039.

5. Литература:

- [1] Oil and gas geology of the Siberian platform / A.S. Antsiferov [et al.]. – Moscow: Nedra, 1981. – 552 p.
- [2] Petroleum-geological regionalization of the Siberian platform / A.E. Kontorovich [et al.] // Subsurface management. Mining engineering. Directions and technologies for the search, exploration and development of mineral deposits. Geoecology: International scientific congress Interexpo GEO-Siberia-2017 (Novosibirsk, April 17-21, 2017). – Novosibirsk: SSUGT, 2017. – Vol. 1. – P. 57-64.
- [3] Oil and gas basins and regions of Siberia. Vol. 4. Leno-Vilyui basin / A.E. Kontorovich [et al.]. – Novosibirsk: SB RAS, 1994. – 107 p.

УДК 553.4

FE-ОКСИДНЫЕ-AU-CU ПРОЯВЛЕНИЯ ВОСТОЧНОЙ ЯКУТИИ

Алексей Костин

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

IRON OXIDE COPPER GOLD DEPOSITS OF EAST YAKUTIA

Aleksey Kostin

Diamond and Precious Metals Geology Institute, Siberian Branch, Russian
Academy of Sciences, 39 Lenina ave., Yakutsk, 677000, Russia

Annotation. Iron-Oxide-Copper-Gold (IOCG) are the world wide economically attractive deposits with significant amount of iron oxides, copper minerals, gold and \pm silver and REE. In order to obtain more gold resources in Eastern Yakutia (Russia) we provide a descriptive model for IOCG style mineralization for several new prospective sites, which were first discovered on satellite images and subsequently certified by prospecting. We allocate three basic Fe-oxide-Cu-Au deposit styles, related to hypabyssal intrusions of granodiorites (Kis-Kuel, Kysiltas), subvolcanic intrusions of granite-porphyrries (Rep-Yure), and flows of the basaltic and andesitic lavas of the upper Devonian – lower Carboniferous (Khurat, Rosomakha and Jalkan) and upper Jurassic (Kildyam). Ore bodies are irregular shaped breccias with arrays of variably mineralized veins and veinlets inside intrusives and lava flows, and veins in the host rocks. As follows from the REE behavior in magmatic rocks, the fractionation of the magmatic melt during cooling was extremely insignificant. Due to this, a significant part of the iron did not fractionated into high-iron melts, and separated into hydrothermal solutions with rich iron oxide mineralization. The gold grade in IOCG ore varies from less than 1 to more than 50 g/t, other metals are optional.

1. Введение

Для того, чтобы увеличить ресурсный потенциал золота Восточной Якутии, в период с 2011 по 2020 годы ИГАБМ СО РАН были выявлены и изучены ранее не известные проявления с железо-оксидной медно-золотой минерализацией. Это позволило объединить проявления в три группы: 1. связанные с гипабиссальными интрузиями гранодиоритов (Кис-Кюельское и Кысылтасское), 2. в субвулканических интрузиях гранит-порфиров (Реп-Юреинское), 3. В лавовых потоках базальтов (Хуратское, Россомахинское и Джалканское) и андезито-дацитов (Кильдямское). Для обнаружения полей железо-оксидной минерализации использовались ГИС технологии.

2. Проявления с ИОСГ минерализацией

Кис-Кюельское. С интрузией гранодиорита связаны объемные залежи брекчий с гематитовым цементом, пропитанные прожилково-вкрапленной и рассеянной сульфидной минерализацией. Рудная минерализация представлена гематитом, халькопиритом, арсенопиритом, тетраэдритом, ксенотимом, монацитом, самородными Au и Bi. Содержания: Fe_{оx} – 13,58-63,24%; Cu – 0-3,57%; Au – 12,93-64,48 г/т; Ag – 2,7-830 г/т. Проба золота 719-760‰. [1, 2].

Кысылтасское. В золотосеребряных жилах установлена в виде самостоятельной стадии минерализации и представлена значительными скоплениями гематита и гетита, в которых отмечаются вкрапления и гнезда блеклой руды. Содержания золота варьируют от 0,7 до 18,2 г/т, серебра – от 24,2 до 1891 г/т. Золото в основном тонкое, дезинтегрированное. Проба золота 658-673‰.

Реп-Юреинское. С субвулканическими интрузиями гранит-порфиров связаны плащеобразные залежи брекчий с Fe-оксидным и арсенопиритовым цементом, локализованные в кровлях интрузий. Рудная минерализация представлена гематитом, гетитом, халькопиритом, арсенопиритом, самородные Au, Bi и Cu. Содержания: Fe – 7,75-56,43%; Cu – 0,01-4,2%; Au – 0-7,55 г/т; Ag – 5,02-859 г/т. Проба золота 800-844‰. [3].

Хуратское. В подошве покровов базальтов присутствуют пластовые залежи гематитовых брекчий с сульфидной минерализацией. Рудная

минерализация представлена гематитом, халькопиритом, ковеллином и пиритом. Содержания: Fe – 15,11-43,29%; Cu – 0,023-0,083%; Au – 0,1-17,5 г/т. Проба золота 878-936‰. [4].

Джалканское. В разных участках многостадийных покровов базальтов развиты эпидотизация, карбонатизация и хлоритизация с относительно равномерной вкрапленностью самородной меди. Рудные минералы представлены гематитом, гетитом, самородной Cu, халькопиритом, ковеллином, халькозином, борнитом. Содержания: Fe – 9,95-20,16%; Cu – 0,011-3,98%. Проба золота 862‰. [4].

Росомахинское. В базальтах, на удалении от зон развития богатой Fe-оксидной минерализации, встречаются участки с крупными (1 и более м) уплощенными миндалинами и трубами, выполненными яшмой, самородной медью и купритом. Из вторичных минералов широко проявлены малахит и азурит. Содержания: Fe – 8,37-11,09%; Cu – 8,09-18,24%. Проба золота 865-895‰. [4].

Кильдямское. В коренных обнажениях и карьерах Кангаласской террасы установлены проявления вулканизма, представленные лавами и лавобрекчиями андезитов и дацитов и их туфами [5]. В андезитовых вариолитовых лавах методом ICP-MS установлено содержание Pt – 0,11 г/т. В шпинелиде состава $Fe_2TiO_4 - MgAl_2O_4$ диагностирована фаза, обогащенная Au (6,85%) и Hg (2,94%). Лавы насыщены самородным железом, троилитом и пиритом, обычно сферического облика. В самородном железе установлены примеси: Co – 0,04-2,89%; Ni – 0,01-1,09%; Pt – до 1,45%; Ir – до 2,97%. В пирите примеси Au – 0,11-2,25%; Pt – 0,57-2,88%; Ag – 0-1,18%. В троилите примеси Au – 0-3,15%; Pt – 0-2,02%; Ag – 0-1,68%. В некоторых участках содержание магнитной фракции в лавах составляет 25-37% от общего объема. На флангах вулканического поля известны находки золота в ручье Золотинка (Кангаласский мыс) и в палеогеновых отложениях, вскрытых карьером Хатынг-Юрях в 8 км от центра г. Якутска. Проба золота 900-998‰. [6].

3. Выводы

Железо-оксидный медно-золотой тип рудной минерализации на территории Восточной Якутии является новым, с которым ранее не рассматривались перспективы прироста ресурсов золота. Тем не

менее, интерес к подобным объектам у недропользователей имеется. На площадь с выявленным ИОСГ-проявлением Хурат (участок руч. Непроходимый), в 2018 г. компанией ООО «СИБ Индустрия» была получена лицензия для геологического изучения, поисков и оценки месторождений рудного и россыпного золота (лицензия ЯКУ05699БП).

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 A.V. 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 // Vestnik of Saint Petersburg University. Earth Sciences, 2019, vol. 64(4). DOI: 10.21638/spbu07.2019.401
- [2] Kostin A.V. The Kis-Kuel iron oxide copper-gold deposit in eastern Yakutia (Russia) // International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM, 2019, vol. 19, Iss. 1.1, pp. 617–624. DOI: 10.5593/sgem2019/1.1/S01.076
- [3] Kostin A.V., Vedyayev A.Y., Rafat G. Iron oxide Cu-Au (IOCG) mineralizing systems: an example from northeastern Russia // The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy. 2014. V 114. pp 645–650.
- [4] Kostin A.V. Mineralogical characteristics of Iron-Oxide-Copper-Gold (IOCG) ores in the basalts of the Sette-Daban ridge (Eastern Yakutia) // Advances in Current Natural Science. 2017. №4. pp. 90-96. DOI: 10.18411/a-2017-118
- [5] Kostin A.V., Trunilina V.A. Volcanogenic creations of Kangalassky terrace (left bank of the Lena River, Central Yakutia) // Advances in Current Natural Science. 2018. № 5. pp. 92-100. DOI: 10.17513/use.36761
- [6] Smelov A.P., Surnin A.A. Gold of the city of Yakutsk // Science First Hand. 2010. №4(34).

**МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКАЯ СПЕЦИАЛИЗАЦИЯ
ПАЛЕОПРОТЕРОЗОЙСКИХ ГРАНИТОИДОВ И
КРИСТАЛЛОСЛАНЦЕВ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ
АЛДАНО-СТАНОВОГО ЩИТА**

Александр Кравченко¹, Василий Березкин¹, Анатолий Журавлев¹,
Александр Округин¹, Владимир Тимофеев¹, Николай Попов²,
Евгений Кардаш³, Андрей Рожков³, Евгений Лоскутов¹

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

² ФГБУН Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева,
630090, Россия, г. Новосибирск, пр. ак. Коптюга, 3,

³ ФЛ ГУГПП "Якутскгеология", Россия, г. Алдан, ул. Ленина 8

**TYPES OF MINERALIZATION IN
PALEOPROTEROZOIC GRANITOIDS AND
CRYSTALLINE SCHISTS AT THE CENTRE OF THE
ALDAN-STANOVOY SHIELD**

Aleksandr Kravchenko¹, Vasily Beryozkin¹, Anatoliy Zhuravlev¹,
Aleksandr Okrugin¹, Vladimir Timofeev¹, Nikolay Popov²,
Evgeniy Kardash³, Andrey Rozhkov³, Evgeniy Loskutov¹

¹ Diamond and Precious Metals Geology Institute, Siberian Branch, Russian
Academy of Sciences, 39 Lenina ave., Yakutsk, 677000, Russia

² Sobolev Institute of geology and mineralogy SB RAS. 3 Acad. Koptyuga
pr., Novosibirsk, 630090, Russia

³ "Yakutskgeologiya" company "Aldansky", 8 Lenin str., Aldan, Russia

Annotation. Granulite metamorphism in the Central part of the Aldan shield was manifested in the period 2000-1900 million years ago during the collision between cratons and microcontinents that made the North Asian craton. During this period, the Sino-Korean craton was joined and the Sharyzhalgay-Nechersky, Stanovoy, Daldyn-Aldan, and Napchano-Uchur orogenic belts were formed. Metallogenic zones with Paleoproterozoic deposits of precious metals and single diamond occurrences were formed parallel to the

borders of orogenic belts with a small time difference. Studies of types of mineralization in the complexes of Tyrkanda-Stanovoy and Dyos-Leglier metallogenic zones were carried out. It is necessary for determining analogs and forecasting the deposits.

1. Введение

Исследования метаморфизма и тектоническое районирование Алдано-Станового щита были проведены ранее [1]. Для этой работы при помощи микрозонда изучены минералы, сопровождающие находки золота и платины в палеопротерозойских магматических комплексах и окружающих россыпях. Минералы классифицированы, проведено сопоставление минералов из коренных источников: 1) с минералами из россыпей; 2) с месторождениями палеопротерозойского возраста Балтийского щита.

2. Результаты исследований

В результате исследований в гранитоидах Тыркандино-Становой металлогенической зоны Хапчано-Учурского орогенного пояса обнаружены золото, пирит, халькопирит, калиевый полевой шпат и хлорит. В самородном золоте из окружающих россыпей обнаружены те же минералы. В кристаллических сланцах Дёс-Леглиерской металлогенической зоны Далдыно-Алданского орогенного пояса обнаружены высокие содержания золота (единицы г/т) и платины (до 0,3 г/т) связанные с метаморфизованными пирротин-пентландит-халькопиритовыми рудами. В окружающих золотых россыпях обнаружен сперрилит с включением биотита гранулитовой фации и платина с включениями пирротина и сперрилита. Сопоставление минерализации с мафитами-ультрамафитами и гранитоидами близкого возраста на территории Швеции и Финляндии [2; 3; 4; 5] позволяет предположить возможность наличия в центральной части Алданского щита Cu-Mo-W порфировой и Ni-Cu-Pt-Pd минерализации с попутным золотом. Приуроченность находок алмаза к металлогеническим зонам с комплексной минерализацией характерна для докембрийских комплексов [6] и может быть связана с эволюцией континентальных окраин в докембрии [7]. Механизмы формирования и генетические

связи минерализации различных типов требуют тщательного исследования. Схожие с гранитоидами центральной части Алданского щита минералого-геохимические особенности распределения золота были обнаружены также в гранитоидах Анабарского щита [8].

3. Выводы

Металлогеническая специализация докембрийских комплексов центральной части Алданского щита носит черты характерные для мантийных источников. Металлогению этих комплексов необходимо рассматривать, совмещая исследования по различным видам минерального сырья.

4. Благодарности

Авторы признательны Кристеру Сандбладу за помощь в поиске материалов по металлогении Финляндии.

Исследования выполнены по проекту НИР ИГАБМ СО РАН № 0381-2019-0003, договору с АО «Золото Селигдара» и проекту РФФИ № 18-45-140018 р_а.

5. Литература:

- [1] Smelov A.P., Timofeev V.F. Terrane analysis and the geodynamic model of the formation of the North Asian craton in the Early Precambrian // *Tikhookeanskaya Geologiya* 22 (6), 42–55 (in Russian)
- [2] Gaal G., Sundblad K. Metallogeny of gold in the Fennoscandian Shield // *Mineral. Deposita* 25. Springer-Verlag 1990. P. 104-114.
- [3] Hanski E. Synthesis of the geological evolution and metallogeny of Finland // *Mineral Deposits of Finland*. Edited by: Wolfgang D. Maier, Raimo Lahtinen and Hugh O'Brien. Elsevier. 2015. P. 39-71.
- [4] Eklund Olav, Jurvanen Terhi and Väisänen Markku Tonalites and similar rocks formed in pre-to syn-collisional stages of the Svecofennian orogeny // *Lithosphere 2004 Third symposium on the structure, composition and evolution of the lithosphere in Finland*. Helsinki 2004. PP. 3-6.
- [5] Saalman, K., Mänttari, I., Peltonen, P., et al., 2010. Geochronology and structural relationships of mesothermal gold

mineralization in the Palaeoproterozoic Jokisivu prospect, southern Finland. *Geological Magazine* 147, 551–569.

[6] Kuzmin M.I., Goryachev N.A. Evolution of the Earth and the processes responsible for its geodynamics, magmatism and metallogeny // *Geosphere research*. 2017 № 4 pp. 36–50 (in Russian)

[7] Lehtonen M., O'Brien H. Mantle transect of the Karelian Craton from margin to core based on P-T data from garnet and clinopyroxene xenocrysts in kimberlites // *Bulletin of the Geological Society of Finland*, Vol. 81, 2009, pp. 79–102.

[8] Kravchenko A.A., Gerasimov B.B., Beryozkin V.I., Sharina A.K., Zhelonkin R.Y. Distribution of gold and silver in the rocks of the Khaptasynnakh ore zone (Anabar shield) // *Vestnik of North-Eastern Federal University. Earth Sciences* № 4 (16) 2019. pp. 31-40 (in Russian).

УДК 553.411

РУДОКОНТРОЛИРУЮЩИЕ СТРУКТУРЫ ГРАНУЛИТОВЫХ КОМПЛЕКСОВ АЛДАНО- СТАНОВОГО ЩИТА

Александр Кравченко¹, Владимир Тимофеев¹, Александр Мельников²,
Василий Березкин¹, Николай Попов³, Евгений Кардаш⁴,
Андрей Рожков⁴, Евгений Лоскутов¹, Егор Иванов¹

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

² ФГБУ Институт земной коры СО РАН, 644033, Россия, г. Иркутск,
ул. Лермонтова, 128,

³ ФГБУН Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева,
630090, Россия, г. Новосибирск, пр. ак. Коптюга, 3,

⁴ ФЛ ГУГГП "Якутскгеология", Россия, г. Алдан, ул. Ленина 8

ORE-CONTROLLING STRUCTURES OF GRANULITE COMPLEXES OF THE ALDAN-STANOVOI SHIELD

Aleksandr Kravchenko¹, Vladimir Timofeev¹, Aleksandr Melnikov²,
Vasily Beryozkin¹, Nikolay Popov³, Evgeniy Kardash⁴, Andrey Rozhkov⁴,
Evgeniy Loskutov¹, Egor Ivanov¹

¹ Diamond and Precious Metals Geology Institute, SB RAS,
39 Lenina ave., Yakutsk, 677000, Russia

² Institute of the Earth's Crust of the SB RAS,
Lermontova St. 128, Irkutsk, 644033, Russia

³ Sobolev Institute of geology and mineralogy SB RAS.
3 Acad. Koptuyuga pr., Novosibirsk, 630090, Russia

⁴ "Yakutskgeologiya" company "Aldansky", 8 Lenin str., Aldan, Russia

Annotation. Granulite metamorphism in the Central part of the Aldan shield was manifested in the period 2000-1900 million years ago during the collision between cratons and microcontinents that made the North Asian craton. During this period, the Sino-Korean craton was joined and the Sharyzhalgay-Nechersky, Stanovoy, Daldyn-Aldan, and Napchano-Uchur orogenic belts were formed. Metallogenic zones with Paleoproterozoic deposits of precious metals and single diamond occurrences were formed parallel to the borders of orogenic belts with a small time difference. Studies of ore-controlling structures in the complexes of Tyrkanda-Stanovoy and Dyos-Leglier metallogenic zones were carried out. This is done to find analogs and forecast the deposits.

1. Введение

Месторождения различных руд в гранулитовых комплексах Алдано-Станового щита, как и во многих палеопротерозойских гранитно-купольных поясах, приурочены к оболочкам (мантиям) окаймленных куполов [1]. Согласно исследованиям [2] наиболее благоприятными условиями для проявления минерализации на территории щита являлась длительная многоэтапная и многоплановая геодинамическая эволюция. Для этой работы были проведены геолого-структурные исследования и картирование рудоносных комплексов. Проведено сопоставление полученных результатов с результатами предшествовавших исследований, геофизическими данными и структурами докембрийских рудных провинций.

2. Результаты исследований

В результате исследований обнаружено, что рудная минерализация в межкупольных синформных структурах приурочена к складкам волочения правого сдвига, отчетливо проявленным в геологических структурах и геофизических аномалиях на горизонтальной плоскости. Правосдвиговые деформации налагаются на более ранние изоклинальные складки. С ними сопряжено развитие мелких, хаотично ориентированных shear зон с надвиговой и взбросовой кинематикой. Наблюдается наложение на правосдвиговые складки shear зон с бластомилонитами и милонитами с левосдвиговой кинематикой смещений, в том числе и по Тыркандинскому разлому [3]. Предполагается что в палеопротерозое в результате формирования осадочно-вулканогенного пояса чешуйчато-надвигового строения [4] произошел разогрев и всплывание слабо подплавленных субстратов в виде мигматитовых (гранито-гнейсовых) куполов [5]. На фоне этих вертикальных движений произошло формирование правосдвиговых складок волочения и синтетектонических интрузий несущих благородные металлы. Предполагаемая последовательность формирования структур схожа с месторождением Nemlo кратона Superior в Канаде [6]. Глубинное строение земной коры и спектр полезных ископаемых схожи с зоной сочленения архейских и палеопротерозойских комплексов на территории Балтийского щита [7; 8]. Преобладающим процессом переработки ранних структур явилось вязкое и пластическое, сдвиговое течение горных пород, описанное ранее для Присяянского и Анабарского щитов [9].

3. Выводы

Межкупольные синформные структуры с правосдвиговыми складками волочения играют большую роль в размещении полезных ископаемых гранулитовых комплексов Алданского щита.

4. Благодарности

Исследования выполнены по проекту НИР ИГАБМ СО РАН №0381-2019-0003, договорным работам с АО «Золото Селигдара» и проекту РФФИ № 18-45-140018 p_a.

5. Литература:

- [1] Rundqvist D.V., Mints M.V., Larin A.M., Nenakhov V.M., Rytsk E.Ju., Turchenko S.I., Chernyshov N.M. Metallogeny of the series geodynamic situations at Early Precambrian. M. MNR RF, RAS, Geomap, RusGeS. 1999, 399 p. (in Russian).
- [2] Popov N.V., Shaporina M.N., Amuzinsky V.A., Smelov A.P. and Zedgenizov A.N., 1999 -Gold metallogeny of the Aldan province; Russian Geology and Geophysics, v.40, № 5, pp. 716-728. (in Russian).
- [3] Mel'nikov A.I., Smelov A.P., Imaev V.S., Timofeev V.F., Kravchenko A.A. Internal structure Tyrkandinskoy Shear Zone (Yakutia) // Conference: Geological and geophysical environment and the various manifestations of seismicity. Neryungri: NEFU, 2015, pp. 48-55. (in Russian)
- [4] Kotov A.B., Kovach V.P., Salnikova E.B., Glebovitskii V.A., Yakovleva S.Z., Berezhnaya N.G., Myskova T.A. Continental crust age and formation stages in the Central Aldan granulite-gneiss terrain – U-Pb and Sm-Nd isotopic data for granitoids // Petrology. 1995, V 3, N 1, Jan-Feb, pp. 87-97.
- [5] Shkodzinskiy V.S., Fazovaya evolyutsiya magm i petrogenezis (Phase Evolution of Magmas and Petrogenesis), Moscow: Nauka, 1985. 232 p. (In Russian).
- [6] Lin S., Beakhouse G. Synchronous vertical and horizontal tectonism at late stages of Archean cratonization and genesis of Hemlo gold deposit, Superior craton, Ontario, Canada // Geology, March 2013; v. 41; no. 3; p. 359–362.
- [7] Hanski E. Synthesis of the geological evolution and metallogeny of Finland // Mineral Deposits of Finland. Edited by: Wolfgang D. Maier, Raimo Lahtinen and Hugh O'Brien. Elsevier. 2015. P. 39-71.
- [8] Lehtonen M., O'Brien H. Mantle transect of the Karelian Craton from margin to core based on P-T data from garnet and clinopyroxene xenocrysts in kimberlites // Bulletin of the Geological Society of Finland, Vol. 81, 2009, pp. 79–102
- [11] Mel'nikov A.I. Structural Evolution of Metamorphic Complexes of Ancient Shields. Academic Publishing House. "Geo", Novosibirsk, 2011. 288 p. (in Russian).

УДК 553.411:553.086

**РЕНТГЕНОВСКАЯ КОМПЬЮТЕРНАЯ
МИКРОТОМОГРАФИЯ СУЛЬФИДОВ С
«НЕВИДИМЫМ» ЗОЛОТОМ МЕСТОРОЖДЕНИЯ
ХАНГАЛАС (ВОСТОЧНАЯ ЯКУТИЯ)**

Максим Кудрин¹, Валерий Фридовский¹, Лена Полуфунтикова²

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

² ФГАОУ ВО Северо-Восточный федеральный университет им. М.К.
Аммосова, 677000, Россия, г.Якутск, ул. Белинского, 58

**X-RAY COMPUTER MICROTOMOGRAPHY OF
SULFIDES WITH "INVISIBLE" GOLD OF THE
KHANGALAS DEPOSIT (EASTERN YAKUTIA)**

Maksim Kudrin¹, Valery Fridovsky¹, Lena Polufuntikova²

¹ Diamond and Precious Metals Geology Institute, Siberian Branch, Russian
Academy of Sciences, 39 Lenina ave., Yakutsk, 677000, Russia

² M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, 58 Belinsky st.,
Yakutsk, 677000, Russia

Annotation. The grains of arsenopyrite-I and pyrite-III from metasomatites of the Khangalas deposit were studied using X-ray computer microtomography. X-ray contrast phases are confined with defects and sulfide growth zones. Native gold there is superimposed; it was formed simultaneously with the gold-polysulfide vein association. The native gold occurrence in sulfides is extremely low, which suggests the presence of structurally bound gold and finely-dispersed nanogold.

1. Введение

Выполнено изучение золотоносных пирита и арсенопирита из серицит-хлорит-кварцевых метасоматитов месторождения Хангалас, Восточная Якутия [1, 2]. Для минералогических исследований изучены аншлифы (30 шт.) и препараты эпоксидных шашек (75 зерен сульфидов в 7 шашках). В сочетании с традиционными методами исследования вещественного состава пород и минералов использовался метод

рентгеновской компьютерной микротомографии [3, 4, 5 и другие]. Рентгеновская микротомография, как неразрушающий метод, дает возможность 3D-визуализации распределения разных по плотности фаз в объеме образца. Аналитические исследования проведены на микротомографе Bruker SkyScan-1172 (Bruker micro-CT, Belgium) в ресурсном центре «Рентгенодифракционные методы исследования» Научного парка Санкт-Петербургского государственного университета (аналитик Крючкова Л.Ю.). Детальное геологическое описание месторождения приведено в работах [1, 2].

2. Результаты работ

В серицит-хлорит-кварцевых метасоматитах месторождения Хангалас выделяется несколько генераций сульфидов, содержание которых в породе достигает до 3-3,5%. Околорудные метасоматиты имеют вкрапленную и микролинзовидную текстуру и гипидиоморфнометазернистую структуру с образованием взаимовключений и ровных границ сростания. Ранний фрамбоидальный пирит (PyI) размером от 10 до 100 мкм сформировался в период осадконакопления и диагенеза, вследствие бактериальной сульфатредукции (рисунок 1, В). Метаморфогенный тонкозернистый и кубический пирит (PyII) размером от 5 до 50 мкм наблюдается в виде мелкой вкрапленности и часто заполняет микротрещины в осадочных породах (рисунок 1, Г). Около рудных тел проявлена пирит-арсенипиритовая ассоциация (PyIII+ApyI) (рисунок 1). ApyI характеризуется короткопризматическими до псевдопирамидальной формами кристаллов, PyIII – усложненными кубическими формами до пентагондодекаэдра. Размер кристаллов от долей до 3-4 мм. В ранних сульфидах отмечаются наложенные микровключения минералов полисульфидной и сульфосольно-карбонатной ассоциации (рисунок 1, Д, Л-Н).

Результаты атомно-абсорбционного анализа (ИГАБМ СО РАН, аналитики Санникова А.Е., Нарышкина Е.Л., Михайлов Е.И.) сульфидов из метасоматитов месторождения Хангалас показали наличие золота. В пирите-III в среднем 12,53 г/т Au, в арсенипирите-I в среднем 17,51 г/т Au. Содержание Au на массу горной породы составляет от 0,001 до 5,29 г/т, в среднем 0,73 г/т, $v>33\%$.

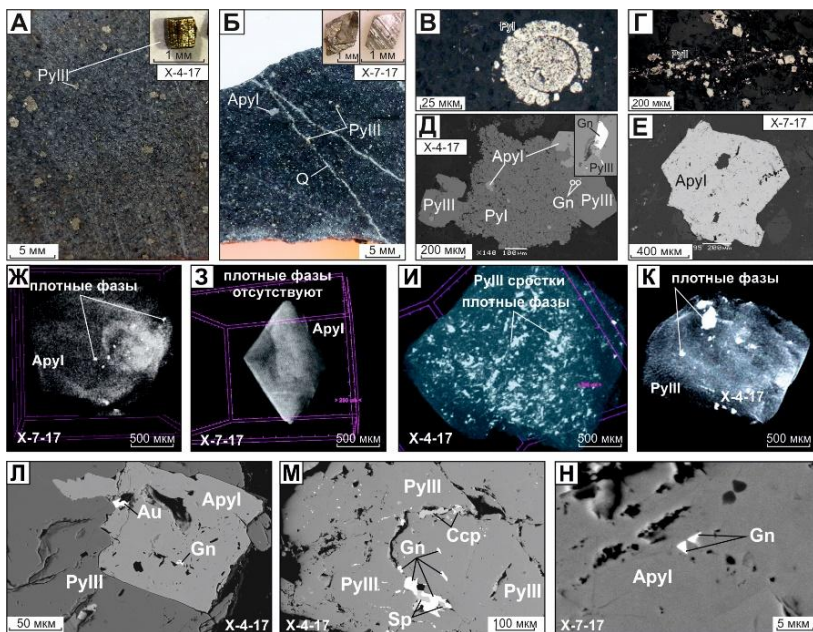


Рисунок 1. Макро-(А-Б), микрофотографии (В, Г) и трехмерная визуализация зерен арсенопирита-I (Ж, З, проба X-7-17) и пирита-III (И, К, проба X-4-17) и SEM-изображения (Д, Е, Н-П) из кварц-арсенорпит-пирит-серицит-карбонатных метасоматитов месторождения Хангалас. Пириты-III (А) и арсенопириты-I (Б) в песчаниках, фрамбоидальный пирит-I (В); метаморфогенный пирит-II (Г); пириты-I в сростании с АруI и РуIII с включениями галенита (Д), агрегат арсенопирита-I (Е); арсенопирит-I с включениями плотных фаз (Ж); арсенопирит-I без видимых включений рентгеноконтрастных фаз (З); пирит-III с плотными минералами (И, К); арсенопирит-I в сростании с пиритом-III с включениями золота и галенита (Л); пирит-III с включениями галенита, сфалерита и халькопирита (М); арсенопирит-I с включениями галенита (Н).

С целью изучения внутреннего строения арсенопирита-I и пирита-III была использована рентгеновская компьютерная микротомография. Анализ полученных 3D-изображений показал, что зерна сульфидов состоят из рентгеноконтрастных фаз (рисунок 1, Ж, И, К). Плотные минералы (фазы) имеют светлые тона до белого, изометричную, субизометричную и уплощенную форму размерами до 10-15 мкм в

АруI (рисунок 1, Ж) и от первых мкм до 30-40 мкм в РуIII (рисунок 1, И, К). Они образуют вкрапленную текстуру разной степени сгущения от редкой до густой. Отмечается линейно-плоскостное распределение плотных минералов (или агрегатов), вероятно, приуроченное к дефектам и зонам роста кристаллов. Вместе с тем присутствуют и наиболее однородные зерна арсенопирита без явных выделений плотных фаз (рисунок 1, З). По результатам микронзондового анализа в ~20% зернах пирита и в ~12% арсенопирита установлены включения галенита, реже сфалерита и халькопирита (рисунок 1, Л-Н), в единичных образцах фиксируются микровключения тетраэдрита и фрейбергита. Только в одном образце X-4-14 вместе срастания АруI с РуIII обнаружено самородное золото неправильной формы размером около 15 мкм пробностью 827 ‰ (рисунок 1, Н). Эти минералы являются наложенными на метапирит и метаарсенопирит и формировались синхронно с жильной золото-полисульфидной ассоциацией.

3. Выводы

Изучение методом рентгеновской микротомографии показало приуроченность рентгеноконтрастных фаз к дефектам и зонам роста в арсенопирите-I и пирите-III месторождения Хангалас. Самородное золото в них является наложенным и формировалось синхронно с золото-полисульфидной жильной ассоциацией. Встречаемость самородного золота в сульфидах крайне невелика, что позволяет предполагать наличие в них структурно связанного золота и тонкодисперсного нанозолота.

4. Благодарности

Авторы благодарят аналитиков ИГАБМ СО РАН и СПбГУ за своевременную и оперативную работу. Исследование выполнено по государственному заданию ИГАБМ СО РАН и при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-35-00336.

5. Литература:

[1] Fridovsky V.Y., 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 and Practical Conference, 2015, pp. 537-540.

[2] Fridovsky V.Yu., Kudrin M.V. and 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.

[3] Korost D.V., Ariskin A.A., Pshenicyn I.V., Homyak F.N. X-ray computer tomography as a method for reconstructing 3D characteristics of scattered sulfides and spinels in plagioclones from the Yoko-Dovyrensky intrusion // Petrologiya, 2019, vol. 27, no. 4, pp. 401–419.

[4] Mayorova T.P. Statsenko E.O., Trifonov A.A., Nesterenko G.V. X-ray microtomography and field-emission electron microscopy are the new opportunities for finely-dispersed gold ores study // Bulletin of the Institute of Geology, Komi Scientific Center, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 2013, no. 11 (227), pp. 34–38.

[5] Naumov E.A., Kovalev K.R., Kalinin Y.A., Palyanova G.A., Voitenko V.N. The use of high-resolution X-ray tomography methods in mineralogy studies // Scientific and methodological foundations of forecasting, searches, assessment of deposits of diamonds, precious and non-ferrous metals, 2019, pp. 126–127.

УДК 551.24:553.98

«ЦВЕТКОВЫЕ СТРУКТУРЫ» И СВЯЗАННЫЕ С НИМИ НЕФТЕГАЗОПРОЯВЛЕНИЯ

Яков Лемешев, Алексей Сивцев

ФГАОУ ВО Северо-Восточный федеральный университет им. М.К.
Аммосова, 677000, Россия, г.Якутск, ул. Белинского, 58

"FLOWER STRUCTURES" AND RELATED OIL AND GAS OCCURRENCES

Yakov Lemeshev, Aleksei Sivtsev

M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, 58 Belinsky st.,
Yakutsk, 677000, Russia

Annotation. An analytical review of single industrial oil and gas inflows in a number of areas of Yakutia is made. It has

been suggested that the resulting industrial tributaries are confined to zones of explosive violations of the so-called “flowering” structures, which are formed as a result of tectonic movements of horizontal compression and shear. An example is a transverse seismological section through the western dome of the South Tigan structure.

Taking into account the proposed ideas, it is concluded that it is advisable to emphasize geological exploration in “flowering” structures for the search for supplying lower deposits.

1. Введение

На территории Республики Саха (Якутия) известны площади, где из ряда поисково-разведочных скважин промышленные притоки нефти и газа получены только в единичных скважинах (Буягинская, Кэдэргинская, Русскореченская, Южно-Тиганская). Рассмотрение условий получения промышленных притоков и возможных причин отсутствия в соседних скважинах позволит приблизиться к пониманию особенностей нефтегазоносности перспективных территорий.

2. Основной раздел

Первый на территории Якутии промышленный приток газа был получен на северо-западном склоне Алданской антеклизы из скважины №1 на Русскореченской площади в 1953 г. Аварийный выброс природного газа с ориентировочным дебитом до 100 тыс. м³/сут был получен предположительно из рифейских отложений. После обсадки и цементации скважины повторное испытание не дало результатов. Исчезновение притока газа из скважины объясняли следующими возможными причинами: образованием гидратов призабойной зоне пласта, выработкой небольшой линзы газа, дегазацией залежи тяжелой нефти и глубоким проникновением цемента призабойную зону пласта. Бурение и испытание скважин дублеров (Русскореченские 2 и 3) также не дало результатов.

В 2019 году ПАО «НК «Роснефть» пробурила в непосредственной близости от Русскореченской скважины №1 поисковую скважину Среднеленская №1-П. Скважина по всем 5 испытанным объектам оказалась «сухой».

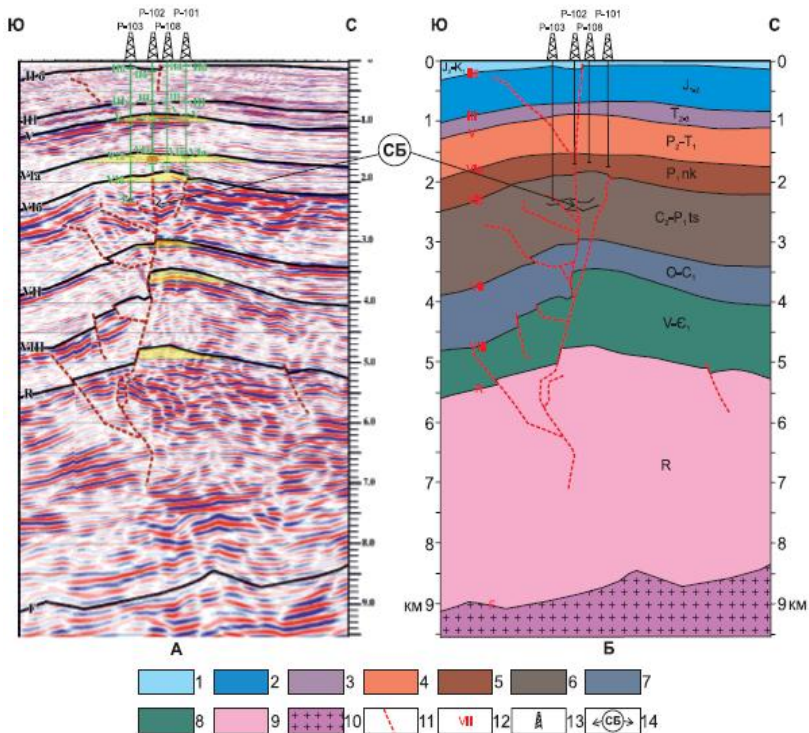


Рисунок. Сейсмогеологический разрез по участку профиля 050311 на западном куполе Южно-Тигянской структуры [1].

Условные обозначения: отложения: 1 – верхнеюрско-нижнемеловые, 2 – нижне- среднеюрские, 3 – средне-верхнетриасовые, 4 – верхнепермско-нижнетриасовые, 5 – нижнекембрийская свита нижней перми, 6 – верхнекаменноугольно-нижнепермские (тустахская свита), 7 – ордовикско-нижнекаменноугольные, 8 – венд-нижнекембрийские, 9 – рифейские; 10 – фундамент; 11 – разрывные нарушения; 12 – индексы отражающих горизонтов; 13 – скважины; 14 – зона перехода взброса на сброс.

В работе [1] был сделан вывод, что в повышенном дебите скважины Р-102 решающую роль играет глубинная подпитка залежи по установленному разрывному нарушению из подсоловых среднепалеозойских отложений.

Похожая ситуация наблюдается и в Кэдэргинской структуре, которая расположена на северо-восточном борту Березовского прогиба. Из 6 поисково-разведочных скважин только в одной был получен аварийный дебит газа в 2047,4 тыс. м³/сут из ичерского горизонта И-1. Скважина как аварийная была ликвидирована. В остальных продуктивных скважинах дебиты из ичерского горизонта незначительны: 432 (дублер 431) – 37,75 тыс.м³/сут, 438 – 80 тыс.м³/сут, 435 – 5,27 тыс.м³/сут.

Весьма вероятно, получение в скважине №431 высокого дебита (2047 тыс.м³/сут) из метегеро-ичерского комплекса отложений с небольшой эффективной толщиной (3,2-8,4 м) и не выдающимися ФЕС (Кп - 8÷14%) было обусловлено подключением другого большого дренируемого объема через разрывные нарушения. Аналогичная ситуация устанавливается и в пределах Южно-Тигянского месторождения тяжелой нефти, где из нескольких скважин, только в одной Р-102 получен промышленный приток нефти [1].

Южно-Тигянское месторождение находится в пределах Анабаро-Хатангской седловины. Месторождение приурочено к одноименной брахинантиклинальной складке субширотного простирания. Ее размеры по нижнемеловым отложениям составляют 19×6 км, амплитуда – 700 м.

Промышленная нефтегазоносность связана с отложениями кровельной части нижнекожевниковской свиты нижней перми. Продуктивный горизонт XI с суммарной толщиной 70-90 м залегает в интервале глубин 1580-1720 м.

Максимальный приток в 15,3 м³/сут нефти был получен в скважине Р-102, заложенной на западном куполе. Из этой же скважины был получен приток газа до 1445 м³/сут. В других скважинах на западном куполе дебиты варьируют от 0,1 до 2 м³/сут. На восточном куполе притоки нефти не превышают 0,3 м³/сут. Плотность нефти высокая – от 0,930 до 0,970 г/см³, в среднем 0,950 г/см³.

3. Выводы

По всей видимости, во всех рассмотренных площадях имеет место быть глубинная подпитка вскрытых продуктивных интервалов. Как известно, Кэдэргинская и Русскореченская площади находятся в зоне влияния активных тектонических движений. В настоящее время

тектоническая активность фиксируется в Байкальской рифовой зоне (БРЗ) по повышенной сейсмичности. При этом, на основе анализа фокальных механизмов землетрясений было установлено, что от среднего течения р. Олекма на восток превалируют усилия сжатия в БРЗ [2]. В условиях сжатия могут образовываться так называемые «цветковые структуры» пронизывающие разрез разрывными нарушениями похожими на цветок (рисунок). Нужно заметить, что территория сочленения северо-западного склона Алданской антеклизы и Березовского прогиба пронизана роем даек среднепалеозойского возраста северо-восточного простирания. Напряжения сжатия нормальные направлению даек могли способствовать образованию цветковых структур. В таких условиях геологоразведочные работы должны быть направлены и акцентированы на поиск питающих нижних залежей.

4. Литература:

- [1] Sivtsev A.I., Chalaya O.N., Zueva I.N. Model of the South Tigan heavy oil field // Georesources. 2017.V. 20. No. 4. Part 2. S. 279-283.
- [2] Kozmin B.M., Golonetsky S.I., Nikolaev V.V. and other. Aftershocks of the South Yakutsk earthquake on April 20, 1989. Yuzhno-Sakhalinsk: IMGIG FEB RAS, 1993. 66 p.

УДК 553.41

СТРУКТУРНЫЙ КОНТРОЛЬ МЕЗОЗОЙСКИХ ЩЕЛОЧНЫХ ИНТРУЗИЙ И ВЕРОЯТНЫЙ ВОЗРАСТ ЗОЛОТОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ НА ЮЖНОМ ПРОДОЛЖЕНИИ ЯКОКУТСКОЙ ЗОНЫ РАЗЛОМОВ АЛДАНСКОГО ЩИТА

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

STRUCTURAL CONTROL OF THE MESOZOIC ALKALINE INTRUSIONS AND THE PROBABLE AGE

OF GOLD MINERALIZATION AT THE SOUTHERN CONTINUATION OF THE YAKOKUT BELT OF FAULTS OF THE ALDAN SHIELD

Evgeniy Loskutov, Aleksandr Kravchenko, Artem Terehov, Alexsey Ivanov, Anatoliy Zhuravlev, Michil Ivanov, Maria Zhelonkina
Diamond and Precious Metals Geology Institute, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, 39 Lenina ave., Yakutsk, 677000, Russia

Annotation. In the article, the researchers show a structural control of alkaline intrusions of the Mesozoic tectono-magmatic activation on the northern wing of the Evotin uranium-gold ore district and the possible age of gold mineralization. According to the authors the location of alkaline intrusions is associated with a submeridional belt of the Main fault (The Yakokut belt of faults), which is identified by deciphering gravitational anomalies. Around the alkaline Medvedev massif in 2019, the authors found points with a gold concentration of up to 0,7 ppm. These points are spatially connected to pyrite impregnation and other sulfides or oxidation zones of ore minerals. SHRIMP method yielded concordant age values of 106.5 ± 2.1 mln.

1. Введение

Месторождения золота, урана и молибдена на территории Алдано-Станового щита связаны с формированием щелочных комплексов, становление которых произошло при тектономагматической активизации на границе Монголо-Охотского орогенного пояса. Исследуемая площадь расположена на северном фланге Эвотинского уран-золоторудного района и, несмотря на длительную историю геологического изучения данной площади, до настоящего времени месторождений золота, пространственно и генетически связанных со щелочными интрузиями здесь открыто не было.

2. Структурная позиция и возраст минерализации

Медведевский массив (г. Голая) залегает среди архейских кристаллических сланцев и гнейсов нимырской свиты, а также контактирует с вендскими известняками юдомской свиты. Массив Малый Медведь залегает среди гранитизированных архейских пород.

Оба массива имеют сложное многофазовое строение, изометричную форму и дислоцированы разломами юго-западной ориентировки с небольшим смещением. В приконтактных частях интрузивов наблюдается обилие кварцевых жил и кварц-полевошпатовых метасоматитов. Кварц представлен различными разновидностями от молочно белого до черного цвета. Нередко в кварц-полевошпатовых метасоматитах и кварцевых жилах наблюдаются вкрапленность сульфидов, в основном пирита и халькопирита, реже галенита.

По результатам дешифрирования геофизических данных, главным образом по гравитационным аномалиям, авторами выделена субмеридиональная зона Главного разлома (Якутская зона разломов), по сути, которая является продолжением Верхне-Якутской грабен-впадины, пространственно совпадающей с Якутским гравитационным минимумом – региональной аномалии пониженных значений поля силы тяжести. Локальными же аномалиями отчетливо выделяются диагональные и меридиональные системы разломов. Массивы сиенитов приурочены к зонам пересечения разломов выделяемых по результатам дешифрирования геофизических полей.

В 2019 г. при проведении полевых исследований, авторами работы были изучены щелочные интрузивные массивы Медведевский и Малый Медведь, где по результатам лабораторных исследований обнаружены точки с концентрациями золота до 0,7 г/т. Породы массивов относятся к монзонит-сиенитовой формации сиенитовой серии умеренно-щелочного ряда верхнеселидарского гипабиссального комплекса. По минеральному составу это авгит-роговообманковые и роговообманковые сиенит-порфиры [1, 2]. Помимо самих массивов, на площади проявлены дайки сиенит-порфиров.

В пределах Медведевского массива повышенные содержания золота пространственно совпадают с вкрапленностью пирита, реже других сульфидов в приконтактных частях (зонах окварцевания по сиенитам). Рудные минералы часто окислены, из-за чего сами породы сильно ожелезненны. По результатам исследований коренных обнажений и замеров элементов залегания вблизи Медведевского массива, установлено, что строение площади описывается моделями левого сдвига, а минерализация чаще приурочена к взбросовым, надвиговым и сколовым структурам. О возрасте рудной минерализации на данный момент можно судить только относительно.

Так в измененных анортозитах керакского комплекса в изотопном центре ВСЕГЕИ (Терехов А.В. и др.) методом SHRIMP получены конкордантные значения возраста 106.5 ± 2.1 млн.л., что свидетельствует о проявлении мезозойской эпохи тектоно-магматической активизации на рудопроявлении [3].

3. Выводы

В итоге установлено, что изучаемые узлы магматизма и оруденения расположены на продолжении Якокутской зоны разломов в южном направлении, которая выделена по результатам дешифрирования геофизических полей. Рудная минерализация чаще приурочена к взбросовым, надвиговым и сколовым структурам. Из-за сильного окисления рудных минералов, породы содержащие золото сильно ожелезненны. А данные по результатам изотопных исследований методом SHRIMP указывают на мезозойский возраст рудной минерализации.

4. Благодарности

Работа выполнена по государственному заданию ИГАБМ СО РАН при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, проект НИР №0381-2019-0003.

5. Литература:

- [1] Ivanov A.I., Zhuravlev A.I., Loskutov E.E., Kravchenko A.A., Okrugin A.V., Ermakov N.N. Typomorphism of zircons from Medvedev, Yukhtin and Dzheltulin Mesozoic alkali massifs (Southern Yakutia) // Otechestvennaya geologiya / Chief editors: S.A. Aksenov, A.I. Ivanov. – М.: FSBI TsNIGRI, №5 – 2017 – 45-56 P.
- [2] Ivanov A., Zhuravlev A., Loskutov E., Molotkov A., Gerasimov B. Physical and chemical features of zircons and apatites from Medvedev, Yukhta, Dzheltula mesozoic alkaline massifs (North-Asian craton, Southern Yakutia) // 18th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2018. Albena, Bulgaria. P. 433-441
- [3] Loskutov E.E., Kravchenko A.A., Berezkin V.I., Terehov A.V., Zaitsev A.I. Structural-tectonic position of the ore occurrence of gold and radioactive metals Kerak (Aldan-Stanovoi shield) and geophysical mineralization prediction criteria // Geology and Mineral resources of the North-east Russia 2017. P. 111-115.

УДК 550.4:553.41

**ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ Au-Ag (Sn)
МЕСТОРОЖДЕНИЯ НЕВЕНРЕКАН (ОЧВП,
МАГАДАНСКАЯ ОБЛАСТЬ)**

Татьяна Михалицына, Антон Глухов, Влфдимир Прийменко,
Марина Фомина

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

**GEOCHEMICAL SPECIFICS OF THE NEVENRECAN
Au-Ag (Sn) DEPOSIT (OCVB, MAGADAN REGION)**

Tatyana Mikhailitsyna, Anton Gluhov, Vladimir. Priymenko,
Marina Fomina

North-East Interdisciplinary Scientific and Research Institute, Far Eastern
Branch, Russian Academy of Sciences, 16 Portovaya st., Magadan, 685000,
Russia

Annotation. The geochemistry data are presented of ores and host rocks in Au-Ag the Nevenrekan deposit. The geochemical field zoning of the volcanogenic deposits is violated by a later event, an intrusive stage. The features of the ore formation conditions in the Nevenrekan deposit are shown.

1. Введение

На эпитермальном Au-Ag месторождении Невенрекан Эвенского рудного района выявлены три рудные зоны, в размещении которых с северо-запада на юго-восток наблюдается закономерность, зональность рудного поля, выраженная в индикаторных геохимических ассоциациях (снизу вверх и с юго-востока на северо-запад), As-Bi-Te-Sn (зона 3) → Sn-As-Zn-Pb (зона 2) → Pb-Zn-Sn-Sb-Hg (зона 1). Геохимические ассоциации указывают на нарушение зональности геохимического поля месторождения [1] более поздним событием связанным, по мнению авторов, с интрузивным, орогенным этапом. Вулканические породы рудного поля карбонатизированы,

хлоритизированы, каолинитизированы в вулканогенный этап и подверглись пострудному надынтрузивному окварцеванию, руды претерпели метаморфизм. Редкометалльные интрузии продуцируют штокверковое сульфидно-кварцевое оруденение золото-редкометалльной формации месторождения Перекатное. Перекатное расположенное в 1,5 км от третьей рудной зоны месторождения Невенрекан. О парагенетической связи этих месторождений указывали в разные годы исследователи А. Г. Чернявский и В. С. Стрешневский (из материалов поисково-съёмочных и геохимических работ 1976 г, 1988 г). Прямые пересечения гидротермалитов различных формаций в пределах рудного поля месторождения Невенрекан не обнаружены, но влияние зон рассеянной минерализации [2], по мнению авторов, является очевидным. На продуктивность месторождения это событие не повлияло, но обогатило минеральным разнообразием. Это событие отразилось на геохимии руд месторождения и вмещающих их пород. Выявление закономерностей отражающих события метаморфизма является актуальной задачей для понимания эволюции процессов рудно-магматических систем, и может быть применено на практике. Аналогами месторождения Невенрекан в Охотско-Чукотском вулканогенном поясе (ВП) является месторождение Карамкен, в пределах Удско-Мургаляского ВП – Нявленга, Мутновкое месторождение Центрально-Камчатского ВП и многие другие.

2. Основной раздел статьи

По значениям Y/No отношений, позволяющим оценивать происхождение рудообразующих флюидов [3] руды месторождения Невенрекан характеризуются широким диапазоном вариаций Y/No - от 13,2 до 50,0; в среднем величина Y/No составляет 27,7 г/т. По данным А. В. Волкова с соавторами [4] значения Y/No - 27,4-38,8 эпитермальных Au-Ag руд месторождений в пределах Кедонского (D_2 - z) вулcano-плутонического пояса, соответствуют интервалу отношений, характерных для современных гидротермальных флюидов задуговых бассейнов [5; 6].

Исходя из того, что состав руд в гидротермальной системе предположительно соответствует составу рудоносных флюидов, с целью определения глубинности формирования рудообразующей системы, была использована нормированная величина отношения

Eu/Sm, где по С.Ф. Винокурову [7] $Eu/Sm < 1$, соответствует верхнекоровому уровню, $Eu/Sm > 1$ – нижней континентальной коре. В нашем случае, отношение EuN/SmN колеблется: в рудной зоне № 3 от 0,77 до 0,90; в рудной зоне № 2 отмечается более широкий диапазон вариаций от 0,77 до 10,62; в рудной зоне № 1 – 0,55–0,63. Следовательно, можно предположить, что на Au-Ag месторождении Невенрекан существовали разноглубинные в разной степени, дифференцированные рудоносные магматические очаги, функционировавшие на верхнекоровом уровне при участии глубинного (нижнекорового) источника рудообразующего флюида. Выявлены особенности руд месторождения Невенрекан: руды обогащены легкими лантаноидами цериевой группы и обеднены тяжелыми (1); отмечается высокая вариативность Eu/Eu^* аномалии – околожильные метасоматиты обладают преимущественно отрицательными аномалиями европия (от 0,75-0,76 до 0,99), жильные зоны характеризуются положительными европиевыми аномалиями (от 1,24 до 12,25); рудообразующие флюиды месторождения Невенрекан принадлежали NaCl – H₂O гидротермальной системе, обогащенной Cl относительно F [8; 9].

3. Выводы

Анализ индикаторных элементов показал, что околожильные метасоматиты и рудовмещающие породы Au-Ag месторождения Невенрекан формировались из растворов, возникших в результате разномасштабного смешения коровых и глубинных флюидов, а отложение жильной минерализации происходило из растворов со значительной долей глубинных, нижнекоровых флюидов.

4. Благодарности

Авторы выражают благодарность В. В. Акинину (СВКНИИ ДВО РАН), С.Ф. Петрову, О. Л. Галанкиной (ИГГД РАН), А.П. Бороздину (ООО «ЛИМС»), за содействие при выполнении данной работы.

5. Литература:

[1] Corbett G.J., Leach T.M. Southwest Pacific Rim Gold-Copper Systems: Structure, Alteration, and Mineralization. Special Publications of the Society of Economic Geologists. 1998. V.6. P. 258.

- [2] 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 p.
- [3] Bau M., 1996, Controls on the Fractionation of Isovalent Trace Elements in Magmatic and Aqueous Systems: Evidence from Y/Ho, Zr/Hf and Lanthanide Tetrad Effect, Contributions to Mineralogy and Petrology, 123, 323-333.
- [4] Volkov A.V., Sidorov A.A., Savva N.E., Kolova E.E., Murashov K.Yu. Geochemical features of Paleozoic Au-Ag epithermal deposits (North-East of Russia). // DAN. 2017.V. 472, No. 4. P. 443-448.
- [5] Bau M., 1991, Rare earth element mobility during hydrothermal and metamorphic fluid rock interaction and the significance of the europium, Chemical Geology, 93, 219–230.
- [6] Monecke T., Kempe U., Gotze J., 2002, Genetic significance of the trace element in metamorphic and hydrothermal quartz: a reconnaissance study, Earth and Planetary Science Letters, 202, 709–724.
- [7] Vinokurov S.F., Kovalenker V.A., Safonov Yu.G., Kerzin A.L. Lanthanides in quartz of epithermal gold deposits: distribution and genetic significance // Geochemistry. 1999. No. 2. S. 171-180.
- [8] Oreskes N. and Einaudi M.T., 1990, Origin of rare-earth element enriched hematite breccias at the Olympic Dam Cu-U-Au-Ag deposit, Roxby Downs, South Australia. Economic Geology 85(1), 1-28.
- [9] Kun L., Ruidong Y., Wenyong Ch. et al., 2014, Trace element and REE geochemistry of the Zhewang gold deposit, southeastern Guizhou Province, China. Chin. J. Geochem, 33, 109-118.

УДК 553.41

ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫЕ МЕТАЛЛЫ ЗОЛОТО-ИЛЬМЕНИТОВЫХ РОССЫПЕЙ СИХОТЭ-АЛИНЯ

Владимир Молчанов¹, Дмитрий Ан드로sov¹, Александр Юдаков²,
Сергей Иванников²

¹ Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, Россия, 690022, г. Владивосток, Проспект 100-летия Владивостоку, 159

² ФГБУН Институт химии ДВО РАН, Россия, 690022, г. Владивосток, Проспект 100-летия Владивостоку, 159

HIGH-TECH METALS OF GOLD-ILMENITE PLACERS OF SIKHOTE-ALIN

Vladimir Molchanov¹, Dmitriy Androsov¹, Aleksandr Yudakov²,
Sergey Ivannikov²

¹ Far East Geological Institute FEB RAS, 159 Prospekt 100-letiya
Vladivostoka, Vladivostok, 690022, Russia

² Institute of Chemistry FEB RAS, 159 Prospekt 100-letiya Vladivostoka,
Vladivostok, 690022, Russia

Annotation. The main features of mineralogy and geochemistry, as well as the resource potential of high-tech metals of gold-ilmenite placers, spatially and genetically associated with the Ariadnensky intrusion of ultrabasites (Primorye), are determined. The material composition of magnetic and non-magnetic concentrates of the initial metal-bearing Sands was studied, and their innovative attractiveness was revealed. The possibility of using industrial methods for extracting not only titanium, gold and platinum, but also a wide range of associated strategic metals has been established.

1. Введение

Национальная безопасность любого развитого современного государства в значительной мере определяется состоянием минерально-сырьевой базы стратегически важных металлов для высокотехнологичных отраслей промышленности. В конце XX века в зарубежной литературе появились понятия «критические металлы» и «критическое минеральное сырье». Они включают в себя твердые полезные ископаемые, практически незаменимые для наукоемких технологий, но крайне рискованных в своем получении потребителем. Многие из этих критических металлов (титан, цирконий, металлы платиновой группы, ниобий, тантал, гафний, ванадий, кобальт, сурма и т.д.) присутствуют в россыпях юга Дальнего Востока, пространственно и генетически тяготеющие к интрузиям ультрабазитов. К настоящему времени созрела серьезная необходимость уточнение условий локализации, состава и масштабов проявления экзогенной минерализации. Решение данной проблемы должно основываться,

прежде всего, на изучении минеральных форм концентрирования и особенностей распределения высокотехнологичных металлов, а также определении наиболее значимых из них. Примером такого подхода могут послужить Ариадненский массив ультрабазитов и сопровождающие его россыпепроявления.

Для решения поставленных задач потребовалось выполнить комплекс минералогических и технологических исследований. Анализ микроэлементного состава проб был выполнен на масс-спектрометре с индуктивно связанной плазмой (ИСП-МС) Agilent 7500c (Agilent Technologies, Япония). Минералогические исследования осуществлялись с применением электронно-зондового микроанализатора Jeol Superprobe JXA 8100 с системой INCA Energy 350 Oxford Instruments и электронного сканирующего микроскопа EVO-500XVP с системой INCA Energy 350 Oxford Instruments. Технологические исследования были выполнены по традиционной для обогащения ильменитсодержащих песков схеме с предварительным гравитационным обогащением и последующей электромагнитной сепарацией.

2. Результаты исследований

Ариадненский массив, расположенный в центральной части Приморья - среднем течении р. Малиновка (бассейн водосбора р. Б. Уссурка), относится к группе дифференцированных интрузий Сихотэ-Алинского орогенного пояса, приуроченных к Самаркинскому террейну юрской аккреционной призмы. В геологическом строении Ариадненского рудно-россыпного узла, совпадающего с контурами одноименного массива, принимают участие позднеюрско-раннемеловые туфо-терригенные образования, позднепермская толща алевролитов и песчаников, а также средне-позднеюрские вулканогенно-кремнисто-терригенные породы с олистостромами. Вулканогенно-осадочные толщи прорваны Ариадненским массивом. Его южная часть сложена перидотитами и оливиновыми пироксенитами, в средней – преобладают ильменитовые и роговообманковые габбро, переходящие к северу в диориты, монцедиориты и сиениты [1].

Ариадненский массив продуцирует ряд крупных титаноносных россыпей, в том числе россыпи р. Тодохова и ее правого притока руч. Потапова. Протяженность этих аллювиальных россыпей долинного

типа составляет соответственно 4,8 км и 1,2 км при ширине до 520 м и 280 м, средней мощности продуктивного пласта 7,4 м и содержанием ильменита до 375,5 кг/м³. Балансовые запасы TiO₂ категории C₁+ C₂ по состоянию на 01.01.2019 г. составляют 702 тыс.т, а прогнозные ресурсы достигают 500 тыс.т.

Вещественный состав (мас.%) гравитационных концентратов характеризуется высоким выходом магнитной фракции (93-95) и низким - немагнитной (5-7). Основу магнитной фракции составляет ильменит (до 95%). Изредка фиксируются зерна титаномагнетита. Химический состав (мас.%) магнитной фракции характеризуются высокими концентрациями TiO₂ (39,79), Fe₂O₃ (34,47), MgO (1,8), MnO (0,42). Нельзя не отметить повышенных содержаний SiO₂, Al₂O₃, CaO, вероятно, связанных с наличием во фракции сростков ильменита с амфиболами, пироксеном и плагиоклазом. Отличительной особенностью материала магнитной фракции является высокий уровень присутствия следующих элементов (г/т): V – 800, Nb - 210, Nd-100, Co - 290, Cu - 490 и Zr - 280.

Немагнитная фракция в сущности представляет собой смесь (мас.%) анортита (36,9), кварца (24,3), роговой обманки (17,6), сфена (15,4) и циркона (3,8). Кроме того, в незначительных количествах присутствуют монацит, рутил и апатит. Из рудных минералов преобладают сульфиды (единичные зерна пирита, арсенопирита, антимонита и галенита) и самородные металлы (золото, платина, цинк и никель). Немагнитный концентрат характеризуется следующим химическим составом (мас. %): SiO₂ - 49,6; CaO -13,2; Al₂O₃ - 11,0; TiO₂ – 9,4; ZrO₂ - 4,23; P₂O₅ – 4,15; Fe₂O₃ – 3,23; MgO – 1,84; Na₂O – 1,67; K₂O – 1,18; V₂O₅ – 0,096. Микроэлементы концентрата можно подразделить на две группы. Первая из них включает редкие и редкоземельные элементы (г/т): Hf - 830, Ce - 320, Y - 220. Во вторую входят благородные металлы - Au, Ag и Pt, концентрации которых меняются в пределах 0,5-3,0 г/т.

3. Выводы

Таким образом, всестороннее изучение ильменитовых россыпей Ариадненского массива ультрабазитов позволило установить, что, помимо титана, золота и платины, в них присутствует широкий круг стратегических металлов. Основу магнитного концентрата исходного

шлихового материала составляет ильменит (до 95-97 мас. %), который после несложных технологических операций легко доводится до промышленных кондиций. Его отличительной чертой является присутствие повышенных концентраций V, Nb, Nd, Co. Немагнитный концентрат примечателен, кроме промышленных концентраций Au, Ag, Pt и Pd, присутствием таких дефицитных для промышленности металлов, как Hf, Ce, Y, а применение современных технологий обогащения [2] позволит комплексно извлечь из них весь спектр полезных компонентов с соблюдением ресурсосберегающих принципов и без нанесения существенного урона экологической обстановке.

4. Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 20-05-00525.

5. Литература:

- [1] Geodynamics, magmatism and metallogeny of the East of Russia / ed. A.I. Khanchuk. T.1. Vladivostok: Dal'nauka. 2006, 572 pp.
- [2] Molchanov, V.P. Potentials of resource-saving technologies of useful components extraction from technogenic and coastal-sea placers of the southern region of Russia Far East. // Ecology and industry of Russia, 2008, no 5, pp. 41-45.

УДК 553.411

ЗОЛОТОНОСНОСТЬ ГИДРОТЕРМАЛЬНО- МЕТАСОМАТИЧЕСКИХ ОБРАЗОВАНИЙ В ТЕРРИГЕННО-КАРБОНАТНЫХ ТОЛЩАХ (ВОСТОК СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ)

Зинаида Никифорова

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

GOLD CONTENT OF HYDROTHERMAL- METASOMATIC FORMATIONS IN TERRIGENOUS- CARBONATE STRATA (EAST OF THE SIBERIAN PLATFORM)

Zinaida Nikifirova

Diamond and Precious Metals Geology Institute, Siberian Branch, Russian
Academy of Sciences, 39 Lenina ave., Yakutsk, 677000, Russia

Annotation. Comparison of gold ore metasomatites of the East of the Siberian platform with metasomatites of the Central Aldan gives the reason to predict for the first time the formation of gold deposits of the Kuranakh and Tabornoye types on the studied territory, which were formed due to the influence of hydrothermal-metasomatic processes in terrigenous-carbonate strata, spatially confined to the zones of deep faults, which are widespread both in the north-east and south-east of the Siberian platform. The identified territories of gold-bearing hydrothermal-metasomatic formations represent a huge metallogenic potential.

1. Введение

Особенностью золотоносных гидротермальных метасоматитов является их пространственная и генетическая связь с глубинными разломами платформ и их формирование в поле развития терригенно-карбонатных толщ PZ-MZ возраста. Образование метасоматитов происходило по зонам древних глубинных разломов в эпоху проявления мезозойской тектоно-магматической активизации [1, 2]. Доказательством не магматогенного происхождения метасоматитов является их простой и однообразный минеральный состав, который не зависит от состава магматических образований PZ-MZ возраста, широко проявленных на исследуемой территории. Основными минералами метасоматитов являются КПШ, кварц и слюдястые минералы. В них отмечаются повышенные концентрации Mo, As, Ag, Pb, Zn, Bi, Nb, V и др. В метасоматитах обнаружены выделения золота, серебра, пирита; в подчиненном количестве отмечаются антимонит, молибденит, сфалерит, аргентит, арсенипирит и другие [3, 4, 5]. В метасоматитах установлено содержание золота от 0,4 г/т до 2 г/т, а в

единичных случаях до 24-32 г/т [Наварнов, Шаталов, 1964 ф; Дукарт, 1966 ф и др.]. Золото представлено тонкодисперсным и видимым мелким размером от 0,01 до 0,05 мм и более. Выявление таких минералов, как серебро и барит, свидетельствует о низкотемпературном условии формирования гидротермально-метасоматических образований. Метасоматиты гидротермального происхождения образуют протяженные узкие зоны по древним разломам, активизированным в мезозое, а также согласные залежи в карбонатных толщах венда, кембрия и в песчаниках юры.

2. Основной раздел

Примером образования россыпей с содержанием золота от 100 мг/м³ до 2 г/м³ и более за счет золоторудных гидротермально-метасоматических образований, пространственно приуроченных к глубинным разломам, являются объекты бассейна Средней Лены. К ним относятся устья рек Витим, Быстрая, Илейка, Романовский, Пилка, Мал. Крестовая, а также Халаманда, Харса, Контайка, Нюя, Турукта и Джерба. Данная территория приурочена к Байкало-Патомскому надвиговому поясу и заложена в поле развития трещиноватых карбонатных пород, где выявлены гидротермально-метасоматические образования с формированием золотоносных карстовых россыпей. Золото представлено в основном фракцией 0,1-0,25 мм, на некоторых объектах отмечается более крупное золото 2-3 мм (устья р. Витим, Каменка, Романовский и др.) и тонкодисперсное - менее 0,1 мм (Халаманда, Харса). Оно имеет в основном пластинчатую, комковидную, иногда губчатую форму. Средняя пробность золота составляет 930‰ и колеблется от 865 до 990‰, на отдельных участках (Батамай) выявлена низкая пробность 500-638‰. В золоте отмечается высокое содержание Ag (10,07 – 33,39 %), Hg (0,12 – 2,34 %) и практическое отсутствие примеси Cu, установлены повышенные содержания As, Te, Se, Co и Ni, микровключения сульфидов (пирит, халькопирит, арсенопирит), селенидов, редкоземельных фосфатов (флоренсит) и теллуридов. Кроме этого наблюдаются сростки россыпного золота с жильными минералами - халцедоновидным кварцем (адуляром) и кальцитом.

Выявленные типоморфные особенности россыпного золота свойственны золоту эпитермальных близповерхностных

месторождений Куранаха и Таборное [4, 5], где первичными рудами также являются метасоматиты, главными минералами которых являются кварц, адуляр, пирит, в небольшом количестве установлены теллуриды, селениды, редкие земли и др. Среднее содержание Au в рудах составляет 1,8 г/т, при диапазоне значений от 0,05 до 16 г/т. Золото в рудах находится в виде микронных частиц размером 1–10 мкм, иногда более крупными размерами до 0,3-0,4 мм, находящихся в сростании с зернами пирита или кварца. В золоте установлена примесь лишь Ag и Hg, пробность 810-840%.

На северо-востоке Сибирской платформы в Жиганском разломе, Молодо-Попигайской и Анабаро-Экитской системе разломов потенциальными коренными источниками могут служить приразломные гидротермально-метасоматические образования [5]. Изученные гидротермально-метасоматические образования развиты в основном по доломитам кембрийского возраста и локализованы в зонах разлома. В них выявлено вкрапленное золотосульфидное оруденение, которое представлено мелкими кристаллами самородного золота, сульфидами, отмечается барит. Золото и серебро встречается в кварцевых прожилках от первых микрон до 15 мкм, с примесью от 0,5 до 2, 6% ртути иногда в сростании с пиритом. Формирование гидротермально-метасоматических образований произошло в период проявления мезозойской тектоно-магматической активизации. Предполагается, что наиболее продуктивные гидротермально-метасоматические образования могут быть обнаружены в Жиганском разломе (Бол. Куонамка), Молодо-Попигайской (среднее течение р. Анабар – реки Биллях, Эбелях, Моргогор, Маят) и Анабаро-Экитской (нижнее течение р. Анабар – р. Половинная) зонах, где известны россыпные проявления с достаточно крупным золотом.

3. Выводы

Сопоставление золоторудных метасоматитов востока Сибирской платформы с метасоматитами Центрального Алдана, широко развитых в терригенно-карбонатных толщах, пространственно приуроченных к зонам региональных разломов и не связанных с магматическими образованиями, дает основание впервые прогнозировать на исследуемой территории формирование золоторудных месторождений

типа Куранах и Таборное, как на северо-востоке, так и на юго-востоке Сибирской платформы.

4. Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта НИР № 0381-2019-0004 ИГАБМ СО РАН.

5. Литература:

- [1] Уютов В.И. Калиевые метасоматиты регионального типа – их роль и место в происхождении мезозойских рудоносных систем Алдано-Станового щита // Материалы Всероссийской конференции (с международным участием): Рудообразующие процессы: от генетических концепций к прогнозу и открытию новых рудных провинций и месторождений. Москва: ИГЕМ РАН, 2013. С. 111
- [2] Дворник Г.П. Золоторудные метасоматические формации Центрально-Алданского района. *Литосфера*, 2012, № 2. С. 90-05.
- [3] Глушкова Е.Г., Никифорова З.С. Коренные источники россыпной золотоносности верховьев р.Усу (юго-западная часть Угуйского грабена) // Отечественная геология. 2013, №5. С. 28-33.
- [4] Глушкова Е.Г., Никифорова З.С. О коренных источниках россыпного золота Уринского антиклинория (юго-восток Сибирской платформы) // Тихоокеанская геология. 2013. Т.32, №3. С. 118-123.
- [5] Герасимов Б.Б., Желонкин Р.Ю. Минералогические особенности золотосульфидных вкрапленных рудных проявлений Лено-Анабарского междуречья (северо-восток Сибирской платформы). Отечественная геология. 2017. № 5. С. 23-30.

УДК 550.42:551.2

ГЕОДИНАМИЧЕСКАЯ ОБСТАНОВКА ФОРМИРОВАНИЯ МЕЗОЗОЙСКИХ АУ-РТ МЕСТОРОЖДЕНИЙ АЛДАНСКОГО ЩИТА

Александр Округин¹, Анатолий Журавлев¹, Ольга Якубович²

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

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

GEODINAMIC SETTING FOR FORMATION OF THE MESOZOIC AU-PT DEPOSITS OF THE ALDAN SHIELD

Alexandr Okrugin¹, Anatolii Zhuravlev¹, Olga Yakubovich²

¹ Diamond and Precious Metals Geology Institute, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, 39 Lenina ave., Yakutsk, 677000, Russia

² Institute of Precambrian Geology and Geochronology, Russian Academy of Sciences, 2 Makarova st, St. Petersburg, 199034, Russia

Annotation. In the Aldan Shield mesozoic gold deposits with placer-forming metals are widespread. In these placers native gold are often associated with platinum-group minerals (PGM), and in the Inagli and Kondyor Pt-bearing placers, connected to circular massif with dunite core, PGM occurs with a subordinate amount of native gold. However, paragenetic relationship of the apparent Au-Pt association with certain ore-magmatic formations and geodynamical setting of their occurrence still remains unresolved. In this article, we present geological and mineralogical data and age patterns that indicate the subduction origin of Mesozoic ore-magmatic systems with Au-Pt mineralization.

1. Введение

Южная Якутия известна, как один из главных золотодобывающих регионов России, своими различными геолого-промышленными типами крупных Au-рудных месторождений [1]. Алданская золотоносная металлогеническая провинция относится к высокоактивизированным древним щитам с мощной MZ и менее интенсивной PZ (в Становом домене) переработкой. Проявления тектоно-магматической активизации, в виде межблоковых подвижек и внутриплитного рифтогенеза и связанных с ними магматических образований обусловлены глубинными процессами, что отразилось в особенностях металлогенического развития региона [2]. Для понимания генезиса сложных ассоциаций рудно-магматических систем необходимо установление геодинамических режимов их формирования в свете взаимодействия Алданского щита с примыкающими к нему террейнами (рисунок 1).

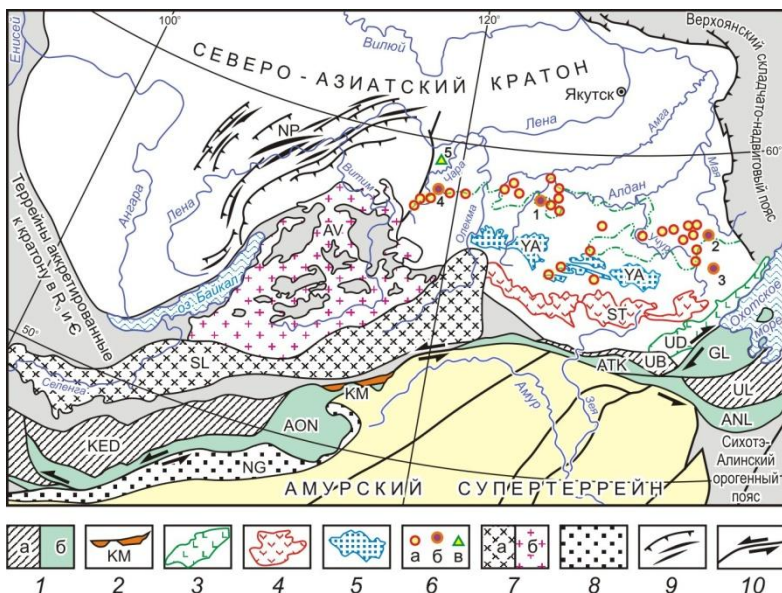


Рисунок 1. Тектоническая схема юга Северо-Азиатского кратона [3]
 1-2 – террейны Монголо-Охотского орогенного пояса: 1а – аккреционный клин (KED - Хэнтэй-Даурский, UB - Унья-Бомский); 1б – океанические образования (AON - Ононский, ATK -Тукурингский, ANL - Ниланский, GL - Галамский); 2 – активная континентальная окраина (KM - Каменский); 3-8 – магматические дуги, связанные с субдукцией T_3-K_1 (3-6) и $PZ-T_1$ (7-8) возрастов: 3 – Удской (UD) вулcano-плутонический пояс; 4 – Становой (ST) плутонический пояс; 5 – Южно-Алданские (YA) впадины; 6 – щелочные магматиты: (а) - штоки и дайки, (б) - зонально-кольцевые интрузивы Инагли (1), Кондер (2), Чад (3) и Мурунский комплекс (4), (в) - дайка р. Молбо [4]; 7а – Селенгинский (SL) вулcano-плутонический пояс; 7б – Ангаро-Витимский (AV) гигантский гранитоидный батолит; 8 – Северо-Гобийский (NG) преддуговой прогиб; 9 – Непская (NP) зона складок и надвигов; 10 – сдвиги и разломы. Штрих-пунктирная линия – северная граница Алданского щита с платформенным чехлом.

Вдоль южной окраины Северо-Азиатского кратона протягивается Монголо-Охотский орогенный пояс (МООП), становление которого, по мнению Л.М. Парфенова [3], обусловлено косым сближением с

левосторонним сдвиговым перемещением Амурского супертеррейна с Сибирским кратоном, начиная с позднего PZ на юго-западе до раннего MZ на северо-востоке. Е.П. Максимовым [5] устанавливается зональность, выраженная в повышении калиевой щелочности магматических пород Алдано-Станового геоблока с южной и Ю-В границ с МООП на С-З к Алдано-Ленской плите, и такого рода зональность объясняется окраинно-континентальными и островодужными обстановками, т.е. связано с зоной Бенъофа. Для подтверждения данной модели формирования МООП и масштабного MZ Au-Pt оруденения Алданского щита с субдукционными процессами необходимо получение датировок и геохимических индикаторных характеристик как материнских магматических пород, так и дочерних рудоносных образований.

2. Обсуждение полученных данных

В Центрально-Алданском районе (ЦАР) одним из эталонных объектов, несущих Au-Pt оруденение, является Инаглинский массив, на примере которого мы попытаемся обосновать свои представления. Проведенные нами исследования показали, что исходным расплавом формировавшим Инаглинский массив являются высококалиевые пикритойды, которые по мере подъема подвергались постепенному декомпрессионному затвердеванию и на приповерхностном уровне образовали цилиндрическое диапироподобное тело в раннемеловое время [6]. Это подтверждается прямым датированием изоферроплатины (125-135 млн лет) и спериллита (131-137 млн лет) из россыпи Инагли (рисунок 2) новым изотопным ^{190}Pt - ^4He методом с использованием спериллита как геохронометра [7].

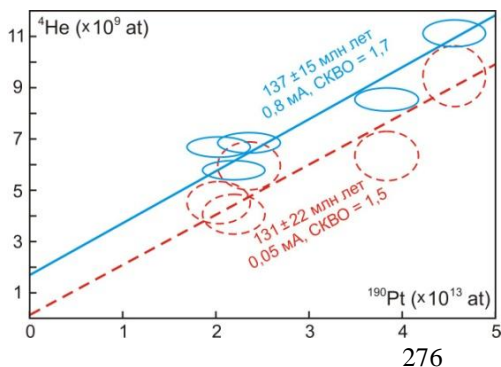


Рисунок 2. ^{190}Pt - ^4He -изохрона образцов спериллита из россыпи массива Инагли.

Зональные массивы урало-алаянского типа, по мнению многих авторов, образуются в надсубдукционно-островодужной обстановке мобильных областей и поэтому характеризуются вытянутыми вдоль простирания орогенных поясов формами, часто приобретая деформированные очертания и наклонные тектонические контакты. В отличие от них становление массивов Алданского щита характеризовалось более стабильными условиями тыловой зоны активной континентальной окраины, что предопределило сохранение первичного зонально-кольцевого и вертикального диапироидного строения массивов [6].

В россыпи платины, связанной с массивом Инагли постоянно встречается попутное самородное золото в виде слабоокатанных комковатых и субрудных зерен размером до 1-2 мм. Пробность золота колеблется в пределах 380-980‰, среди примесей отмечаются Cu (до 2%) и Hg (до 3,4%), а также обнаружены редкие зерна высокопробного золота с примесью Pd до 1-3%. Золото Инаглинской россыпи отличается от золота известных типов (куранахский, лебединский и др.) крупных Au-рудных месторождений ЦАР (см. статью Журавлева и др. в этом сборнике) и представляет собой самостоятельный "инаглинский" тип. Все это показывает, что Инаглинский массив является одним из многих мезозойских Au-Pt рудогенных магматических систем, характеризующимся своим более тугоплавким составляющим, в виде дунитового ядра с существенно платиновой минерализацией. По рудной минерализации Инаглинский массив наиболее близок к Cu-Au-порфировому оруденению Рябиновского массива, в котором в ассоциации с золотом присутствуют и МПГ. По мнению А.Я. Кочеткова [8] все четыре главных типа Au-рудных месторождений ЦАР – Куранахский, Лебединский, Рябиновский и Эльконский тяготеют к полям MZ интрузий и при разных формах связи с ними образуют единую региональную рудно-магматическую систему. Определенные различия между типами рудных тел обусловлены разными глубинами их формирования.

Обширный ареал MZ магматических щелочных пород, расположенный севернее Южно-Алданского задугового прогиба, выполненного мощными (до 5 км) толщами юры и низов мела (см. рисунок 1), входит в состав тыловой зоны активной континентальной окраины [3]. С такими рудогенными магматитами, видимо, парагенетически связаны месторождения различного типа. Например, золото-малосульфидный

тип стратоидных вкрапленных залежей, включающих месторождения Куранахского рудного узла [1], образуются в субгоризонтальной зоне контакта нижнекембрийских доломитов и известняков с вышележащими нижнеюрскими песчаниками. Оруденение прожилково-вкрапленного типа золото-сульфидных жил и залежей Лебединского рудного узла формируется в низах венд-кембрийских доломитов, залегающих на AR кристаллическом фундаменте.

Мезозойские щелочные породы простираются далеко на север почти до правого борта р. Лены, где нами по р. Молбо (в низовьях р. Чара) была описана дайка оливиновых лейцититов с К-Ag возрастом 122 млн лет [4]. Это может указывать на связь косовых россыпей мелкого золота р. Чара, периодически вызывающих интерес у мелких старательских артелей, с возможными коренными рудами куранахского типа. Это подкрепляется фактом сходства пробности золота (от низко- до высокопробного) р. Чары с золотом россыпей ЦАР, нежели с высоко- и весьма высокопробным золотом вилуйского типа. В бассейне нижнего течения р. Чара на водораздельных участках на кембрийских доломитовых толщах залегают юрские терригенные отложения, т.е. мы наблюдаем здесь весьма благоприятную картину для возникновения стратоидных залежей золото-малосульфидного (куранахского) типа.

3. Выводы

С мезозойскими щелочными магматитами на Алданском щите, кроме общеизвестных Au-рудных месторождений куранахского, лебединского, эльконского и рябиновского типов, парагенетически связано также комплексное Au-Pt оруденение инаглинского типа, формирование которых связано с субдукционными процессами на юге Северо-Азиатского кратона. Проявления MZ щелочного магматизма распространяются далеко на север до правого борта р. Лены, что создает благоприятные условия для формирования здесь на контакте кембрийских доломитов и нижнеюрских отложений стратоидных Au-рудных залежей куранахского типа.

4. Благодарности

Работа выполнена в рамках НИР ИГАБМ СО РАН (№ 0381-2019-0004) и поддержке РФФИ (проект № 17-05-00390).

5. Литература:

- [1] Vetluzhikh V.G., Kim A.A. Gold-bearing deposits geology-minable types of the Southern Yakutiya // *Otechestvennaya Geologiya*. 1997, no 1, pp. 16-24. (in Russian).
- [2] Popov N.V., Shaporina M.N., Amuzinskii V.A., Smelov A.P., and Zedgenizov A.N. Gold metallogeny in the Aldan province // *Geology and Geophysics*, 1999, v. 40, no 5, pp. 716–728.
- [3] Parfenov L.M., Popeko L.I., and Tomurtoogo O. Problems of the tectonics of the Mongol–Okhotsk orogenic belt // *Tikhookeanskaya Geologiya*, 1999, no 5, pp. 24–43. (in Russian).
- [4] Tomshin M.D., Okrugin A.V., Oleinikov B.V. et al. Lamproite dyke at northern slope of the Aldan Shield // *Geology and geochemistry of ore formations in the Mal'yi BAM zone*. Yakutsk. 1986. pp.64-74.
- [5] Maximov Ye.P., Uyutov V.I., Nikitin V.M. The Central Aldan gold-uranium ore magmatogenic system (Aldan-Stanovoy shield, Russia) // *Geology and Geophysics*, 2010, v. 29, no 2, pp. 3–26.
- [6] Okrugin A.V., Borisenko A.S., Prokopyev I.R., Zhuravlev A.I. Mineralogical, geochemical, and age characteristics of the rocks of the Inaglidunite–clinopyroxenite–shonkinite massif with platinum–chromite and Cr-diopside mineralization (Aldan Shield) // *Geology and Geophysics*, 2018, v. 59, no 10, pp. 1623–1642.
- [7] Yakubovich O.V., Mochalov A.G., Sluzhenikin, S.F. Sperrylite (PtAs₂) as a ¹⁹⁰Pt-⁴He geochronometer // *Dokl. Earth Sci.*, 2015, v. 462, pp. 472-474.
- [8] Kochetkov A.Ya. Mesozoic gold-bearing ore magmatic systems of Central Aldan // *Geology and Geophysics*, 2006, no 7, p. 850-864.

УДК 550.8:553.81:553.04

ЛЕНО-АНАБАРСКАЯ БЛАГОРОДНО- РЕДКОМЕТАЛЛЬНО-АЛМАЗОНОСНАЯ МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКАЯ ПРОВИНЦИЯ

Александр Округин¹, Александр Толстов^{2,3}, Леонид Баранов^{2,3},
Алексей Земнухов⁴

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

- ² Научно-исследовательское геологическое предприятие АК «АЛРОСА» (ПАО), 678170, Россия, г. Мирный, Чернышевское ш., 16
- ³ Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. ак. Коптюга, 3
- ⁴ АО «Алмазы Анабара», 677000, Россия, г. Якутск, ул. Кирова, 18

THE LENA-ANABAR NOBLE AND RARE METALS-DIAMOND-BEARING METALLOGENIC PROVINCE

Alexandr Okrugin¹, Alexandr Tolstov^{2,3}, Leonid Baranov^{2,3}, Alexsey Zemnukhov⁴

- ¹ Diamond and Precious Metals Geology Institute, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, 39 Lenina ave., Yakutsk, 677000, Russia
- ² Scientific-Investigation Geology Enterprise AC «ALROSA», 16 Chernyshevskoye Highway, Mirny, 678170, Russia
- ³ Sobolev Institute of geology and mineralogy SB RAS. 3 Acad. Koptyuga pr., Novosibirsk, 630090, Russia
- ⁴ JSC Almazy Anabara, 18 Kirova, Yakutsk, 677000, Russia

Annotation. Areal placers of diamonds and rare and noble metals of unclear genesis are widespread on the territory of the Lena-Anabar interfluvium. The source rocks of such valuable placer components are usually associated with a wide range of mantle mafic and ultramafic rocks typical for large igneous provinces. Heterochronous bodies of kimberlites, picrite and carbonatite rocks as well as alkaline basic rocks, both exposed on the surface and buried under the MZ-KZ cover, are widely developed in the basin of the Anabar and Olenek rivers. Certain mineral and geochemical indicators of the magmatites and placer minerals genetic relationship have been established, which allows us to consider this territory as an independent Lena-Anabar noble and rare metals and diamond-bearing metallogenic province that requires special study.

1. Введение

С освоением уникального месторождения редких металлов Томтор назрела необходимость комплексного изучения всей потенциальной

рудноности территории Лено-Анабарской благородно-редкометалльно-алмазонасной металлогенической провинции, включая прогнозирование коренных источников алмаза, редких и благородных металлов, образующих площадные россыпепроявления (рисунок 1). Здесь широко распространены алмазонасные россыпи [1-3], в которых постоянно отмечается попутное мелкое золото и платина [4, 5]. Для обнаружения коренных источников алмазов, благородных металлов и минералов редких элементов, имеющих вероятно различные, но парагенетически близкие типы коренных источников, требуются комплексные методы поисков, включающих исследование типоморфизма минералов индикаторов [3, 5, 6].

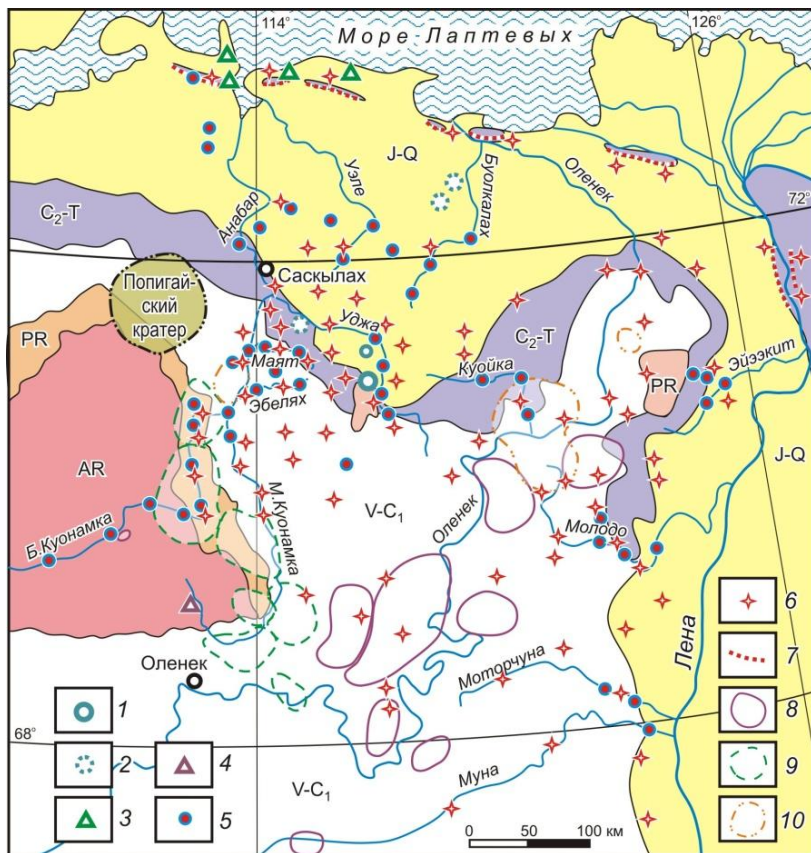


Рисунок 1. Схема распространения алмаза, золота и платины в россыпях Лено-Анабарской провинции. 1 – массивы ЩУК Томтор и Богдо; 2 – массивы предполагаемые по геофизическим данным [10]; 3 – пикритобазальты, устье р. Анабар; 4 – дайка меймечито-подобных пород; 5 – золото и платина в россыпях [4, 5]; 6 – алмазы в россыпях [11]; 7 – алмазы в туффитах карнийского яруса [3]; 8-10 – поля кимберлитов и карбонатитов по [11]: среднепалеозойские (8), раннемезозойские (9) и позднемезозойские (10).

2. Результаты

По петрохимическим характеристикам магматических пород [7-9] и типоморфным особенностям благородных металлов из россыпей Лено-Анабарская провинция аналогична уникальной Маймеча-Котуйской провинции, с которой также связаны золото-платиноносные россыпи. Имеющиеся геофизические данные [10] свидетельствуют о существовании аномалий соответствующих комплексам щелочно-ультраосновных пород и карбонатитов (ЩУК), погребенных под мезозойским чехлом в пределах Лено-Анабарского прогиба. В самородной железистой платине из россыпи Маят установлены силикатные включения, по составу соответствующие щелочным породам мельтейгитам. Среди зерен самородного золота обнаружены индивиды с высокими содержаниями Pd, Pt и Cu, характерные для золота из платиноносных мафит-ультрамафитовых интрузивов. В россыпях северо-востока Сибирской платформы резко возрастает доля высоко-Ti хромшпинелидов – типоморфных минералов ЩУК.

Нами также были изучены выборки цирконов из алмазоносных россыпей и гравелитов базального горизонта карнийского яруса верхнего триаса, участка Булкур в низовьях р. Лены. Полученные данные по U-Pb датированию позволяют воссоздать историю и характер кимберлитового магматизма, тектонических процессов и путей миграции кимберлитового материала и алмазов.

В изученных россыпях в ассоциации с благородными металлами и алмазом встречаются минералы редких и радиоактивных элементов – циркон, бадделлит, Nb-содержащий рутил, монацит и торианит. Кроме этого, из хвостовых отвалов алмазоносной россыпи р.Хара-Мас нами проводилось экспериментально-опытное извлечение самоцветных

камней ювелирного качества: ярко окрашенных рубина, сапфира, синей шпинели, циркона, а также граната, оливина и хромдиопсида. Они могут достигать в поперечнике до 5 мм и массы до 10-17 карат, что может представлять даже реальную практическую ценность при попутном извлечении.

Формирование разновозрастных магматитов щелочного ультрабазит-базитового составов является индикатором рифтогенного режима развития краевых структур на северо-востоке Сибирской платформы в рифейское, девонское и пермо-триасовое время. Таким образом, Анабарский район можно рассматривать как перспективную территорию на обнаружение кроме Nb-TR месторождений и Au-Pt минерализаций, связанных с комплексами щелочных ультраосновных пород. По-видимому, многие богатые коренные источники благородных металлов погребены под мезозойскими толщами Лено-Анабарского прогиба, проявляя себя в виде обширных площадных Au-Pt россыпей проявлений

3. Выводы

Формирование комплексов ЩУК, кимберлитов, пикритов, карбонатитов и щелочных базитов на территории бассейнов рек Анабар, Оленек и нижнего течения Лены происходило в течение нескольких тектоно-магматических циклов на фанерозойском этапе существования Сибирской платформы. Все эти магматиты имеют мантийную природу и в разной степени характеризуются алмазной, редкоземельной и благородно-металльной специализацией. Это позволяет нам выделить данную рудоносную площадь в качестве самостоятельной Лено-Анабарской благородно-редкометалльно-алмазоносной металлогенической провинции, относящейся к полициклическому платформенному типу и требующей особого комплексного подхода при проведении поисковых работ и прогнозировании в пределах данной обширной территории.

4. Благодарности

Работа выполнена в рамках НИР ИГАБМ СО РАН (№ 0381-2019-0003) и поддержке РФФИ (проект № 17-05-00390).

5. Литература:

- [1] Rozhkov I.S., Mikhalev G.P., Prokopchuk B.I., Shamshina E.A. Diamond-bearing placers of the western Siberian platform. Moscow. Nauka. 1967. 280 p. (in Russian).
- [2] Tolstov A.V. The main ore formations of the North of the Siberian platform. M., IMGRE, 2006, 212 p. (in Russian).
- [3] Grakhanov S.A., Smelov A.P. Age of predicted primary sources of diamonds in northern Yakutia // *Otechestvennaya Geologiya*, 2011, No. 5. p. 56–63. (in Russian).
- [4] Shpunt, B. R., Platinum minerals in Quaternary deposits of the Anabar-Olenek Uplift // *Geologiya rudnykh mestorozhdenii*. 1970, no. 2, p. 123-126. (in Russian).
- [5] Okrugin A.V. Platinum-bearing placers of the Siberian platform. Yakutsk. YaF SO RAN. 2000. 184 p. (in Russian).
- [6] Malkovets V.G., Tolstov A.V., Gibsher A.A. Integration mineralogical and isotope-geochemical methods for the purposes of forecasting and prospecting diamond-bearing kimberlites // *Science and innovative development - for the North*. Mirny. SVFU. 2019. p. 223-224. (in Russian).
- [7] Koval'skii V.V., Nikishov K.N., Egorov O.S. The kimberlite and carbonatite formation in the Anabar antecline. Moscow. Nauka. 1969. 288 p. (in Russian).
- [8] Okrugin A.V., Tolstov A.V. Petrogeochemical characteristics of the syenite – alkali-ultrabasic silicate rock complex of the Tomtor massif (northeastern Siberian platform) // *Otechestvennaya Geologiya*, 2017, No. 5. p. 56–66. (in Russian).
- [9] Belov S.V., Lapin A.V., Tolstov A.V., Frolov A.A. Minerageny of platform magmatism (trapps, carbonatites, kimberlites). Novosibirsk. SB RAS. 2008. 537 p. (in Russian).
- [10] Porshnev G.I. and Stepanov L.L. Geology and mineralogy of the Udzha province (northwestern Yakutiya). *Sovetskaya Geologiya*. 1981. No. 12. p. 103–106. (in Russian).
- [11] Afanas'ev V.P., Lobanov S.S., Pokhilenko N.P. et al. Polygenesis of diamonds in the Siberian platform // *Russian Geology and Geophysics*. 2011. V. 52. No. 3. p. 259-274.

УДК 553.98

ТАСТАХСКИЙ ПРОГИБ – ПЕРВООЧЕРЕДНОЙ ОБЪЕКТ НЕФТЕГАЗОПОИСКОВЫХ РАБОТ НА СЕВЕРО-ВОСТОКЕ ЯКУТИИ

Капитолина Павлова

ФИЦ «ЯНЦ СО РАН» ФГБУН Институт проблем нефти и газа СО
РАН, 677980, Россия, г. Якутск, ул. Петровского, 2

TASTAKHISKY DEFLECTION – A PRIMARY OBJECT OF OIL AND GAS PROSPECTING IN THE NORTH- EAST OF YAKUTIA

Капитолина Павлова

Institute of Oil and Gas Problems Siberian Branch of the Russian Academy
of Sciences, 2 Petrovsky st., Yakutsk, 677980, Russia

Annotation. On the basis of generalization of geological and geophysical materials, the features of the structure of the Yano-Indigirskaya lowland are analyzed. Based on seismic data, a schematic section of the Tastakhisky deflection was constructed. The boundaries of sedimentary deposits formed in the paleoplatform conditions are pre-established. The presence of preserved Paleozoic formations in the structure of the territory under consideration makes it possible to increase the hydrocarbon potential of the area and recommend it as a priority object for oil and gas exploration in the North- East of Yakutia.

1. Введение

Углеводородный потенциал восточной части Российской Арктики до сих пор остается недостаточно изученным. Несмотря на это, его значительные размеры и высокая перспективность не вызывают сомнения. В пределах Восточной Якутии на континентальном обрамлении шельфа моря Лаптевых в качестве приоритетного района при поисковых работах на нефть и газ рассматривается Тастахский прогиб. Геологоразведочные работы на этой территории сопряжены с определенными трудностями, однако актуальность освоения ее

углеводородного потенциала вполне очевидна в рамках программы экономического развития российского Крайнего Севера.

2. Геологическое строение

Рассматриваемая территория, входящая в состав Яно-Индигорской низменности, перекрыта мощной толщей четвертичных отложений, что усложняет изучение ее геологического строения. Здесь тесно совмещены складчатые структуры мезозой и более древние срединные массивы.

Разрез Тастахского прогиба сейсморазведочными исследованиями изучен до глубины 2,5-4,5 км (рисунок 1). Здесь осадочный чехол представлен тремя крупными комплексами. К границам между ними приурочены отражающие горизонты N, M-Ю и Ю, стратификация которых без данных глубокого бурения является довольно условной. По гравиметрическим данным фундамент под прогибом опущен до глубины 6 км и более.

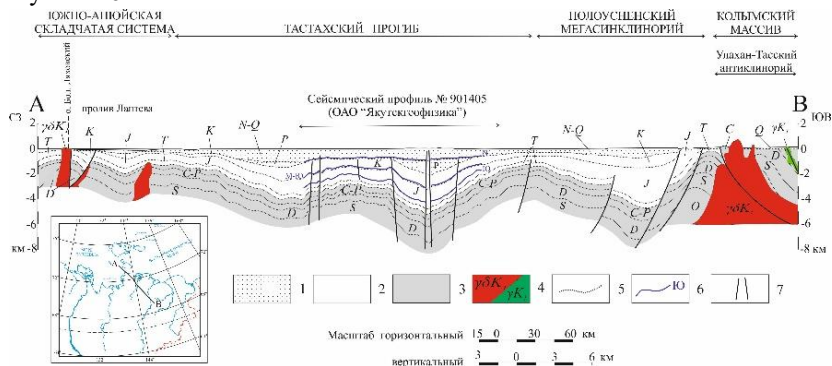


Рисунок 1. Схематический геолого-геофизический разрез по линии А-В.

Условные обозначения: 1–3 – осадочные отложения: 1 – кайнозоя, 2 – мезозоя, 3 – палеозоя; 4 – интрузивные образования; 5 – геологические границы; 6 – отражающие горизонты; 7 – разрывные нарушения.

Верхняя часть разреза сложена в основном терригенными неоген-четвертичными породами, в подошве которых трассируется горизонт N. Эти отложения, максимальная мощность которых достигает 1200 м, плащеобразно перекрывают подстилающие толщи. Средняя часть

разреза представлена мезокайнозойскими породами, ограниченными между горизонтами N и Ю. По электроразведочным исследованиям подошва комплекса в районе Тастахского прогиба залегает на глубине 2-3,0 км [1]. Нижняя часть разреза располагается ниже отражающего горизонта Ю, который представлен, вероятнее всего, отложениями, сформировавшимися в палеоплатформенных условиях. Карбонатно-терригенные образования палеозоя выходят на дневную поверхность южнее исследуемого района в пределах Улахан-Тасского горст-антиклинория и Селенняхского блока.

Тастахский прогиб по данным геофизических исследований представляет собой грабен шириной 60×100 км и длиной 200×250 км. В пределах структуры выделяются две крупные мульды, разделенные седловиной. Следует подчеркнуть, что непосредственно в районе Тастахской депрессии процессы прогибания почти унаследованно проявились в неогене и возможно продолжают на современном этапе.

3. Перспективы нефтегазоносности

При нефтегазогеологическом районировании Тастахский прогиб выделяется в виде одноименного вполне самостоятельного потенциально нефтегазоносного района (СПНГР). В пределах рассматриваемого района перспективы на нефть и газ связаны с осадочными образованиями верхнего мезозоя (J_3-K_1), состоящими преимущественно из терригенных вулканогенно-осадочных образований. О возможном наличии залежей углеводородов (УВ) в мезокайнозойских толщах Тастахского прогиба косвенно свидетельствуют притоки газа, полученные в колонковых скважинах в дельте р. Яна [2].

Наиболее благоприятные свойства имеют карбонатные и терригенно-карбонатные отложения ордовика, силура и частично девона, карбона на бортах прогиба. Нефтегазовые залежи в пределах рассматриваемой территории могли формироваться как за счет собственной органики, так и за счет миграции УВ [2]. По данным комплексного геохимического опробования в пределах Тастахского прогиба зафиксировано наличие практически во всех анализируемых пробах гомологов метана (от этана до пентана и выше), что свидетельствует о

достаточно активных современных процессах миграции УВ. Учитывая особенности пространственного распределения выявленных геохимических аномалий, можно предположить, что скопления УВ могут быть сконцентрированы здесь, в основном, на северо-восточном борту Тастахского прогиба [3].

4. Выводы

Оценивая условия возможной нефтегазоносности Тастахского прогиба следует учитывать сложное геологическое строение, историю его развития и геохимическую обстановку. Особую роль в формировании нефтегазовых залежей здесь могут играть положительные структуры над сводами горстовых поднятий и неантиклинальные ловушки.

5. Литература:

[1] Marutyán, V.G., Popov, G.I., Poltoratskaya, O.G etc. New data on the structure and petroleum potential of the coastal lowlands // Geological and economic aspects of developing oil and gas resources of Yakutia. Yakutsk: YSC SB AS, 1988, pp. 80-84.

[2] Kosolapov, A.I., Mokshantsev, K.B., Chersky, N.V. Prospects of the Kolyma massif, the Momo-Zyryanskaya depression and the Primorye trough for oil and gas // Geological structure and oil and gas potential of the Eastern part of the Siberian platform and adjacent areas. Moscow: Nedra, 1968, pp. 361-367.

[3] Sitnikov, V.S., Protopopov, Yu.Kh., Bondarenko, T.A. etc. Structure and prospects of oil and gas potential of the Tastakhsky trough (Eastern Yakutia) // Problems of search, exploration and development of oil and gas fields in Yakutia. Yakutsk: YSC SB RASRAS, 1993, pp. 93-101.

УДК 553.411

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ Au и Ag В ПОРОДАХ ТОМТОРСКОГО КОМПЛЕКСА (АРКТИЧЕСКАЯ СИБИРЬ)

Багай-Оол Сарыг-оол¹, Елена Лазарева¹, Сергей Жмодик¹,
Ирина Мягкая¹, Леонид Баранов^{1,2}, Александр Толстов^{1,2}

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

² Научно-исследовательское геологическое предприятие АК «АЛРОСА» (ПАО), 678170, Россия, г. Мирный, Чернышевское ш., 16

DISTRIBUTION OF Au AND Ag IN THE ROCKS OF THE TOMTOR COMPLEX (ARCTIC SIBERIA)

Bagay-Ool Saryg-ool¹, Elena Lazareva¹, Sergey Zhmodik¹,
Irina Myagkaya¹, Leonid Baranov^{1,2}, Aleksandr Tolstov^{1,2}

¹ V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy Siberian Branch
Russian Academy of Sciences, 3 ave. Akademika Koptyuga, Novosibirsk,
630090, Russia

² Scientific-Investigation Geology Enterprise AC «ALROSA», 16
Chernyshevskoye Highway, Mirny, 678170, Russia

Annotation. The Au and Ag contents were determined in the rocks of the Tomtor complex exposed by a borehole in the center of the Nb-REE rich ore section Burannyi.

1. Введение

На востоке Сибирской платформы рассыпное золото установлено в водотоках повсеместно [1]. Не потеряли на данный момент актуальность и поиски коренных источников не взирая на хорошую изученность россыпного золота [1, 2]. Еще в 70-е годы XX столетия было установлено, что частично россыпная золотоносность аллювия рек вокруг Уджинского поднятия связана с щелочными и щелочно-ультраосновными породами Томторского комплекса щелочных пород и карбонатитов (ТК) [3]. Обособления состава $Au_{90,5}Ag_{6,7}Cu_{2,8}$ были обнаружены в кальците камафоритов ТК, сформировавшихся во второй магматический этап, зафиксированный в истории интрузии (~400 млн лет [4]) и $Au_{62}Ag_{38}$ - в пирите сиенитов [5].

Томторская кольцевая интрузия прорывает известняки, доломиты, терригенные метаморфизованные породы NP_1 - NP_3 возраста и перекрывается континентальными (P), морскими (J) и рыхлыми (Q) отложениями. В региональном отношении ТК располагается на пересечении двух крупных геологических структур – древнего Уджинского авлакогена и Молодо-попигайского вулканоплутонического пояса триасового возраста. Внешнее кольцо ТК сложено щелочными породами. Карбонатитовое ядро представлено

породами двух групп, которые на основании содержания Nb и REE подразделяются на безрудные и рудные. В данном исследовании содержания Au и Ag определялись в различных породах и рудах ТК, вскрытых скважиной №6151, методами ПААС и ЭТААС после кислотного разложения проб и экстракции аналитов в органическую фазу. В рудах формы нахождения Au выявлялись методом ступенчатого выщелачивания (схема Tessier).

2. Результаты

Породы карбонатитового комплекса отделены от щелочных пород реакционной каймой калишпат-слюдистых (\pm апатит, кальцит) пород (фенитов). Последовательность пород, залегающих на карбонатитах описана исследователями Томторского комплекса как латеритная кора выветривания [6], однако при описании последовательности не упоминается, что выше карбонатитов, как правило залегают породы по геохимическим и минералогическим характеристикам подобные фенитам, окружающим карбонатитовое ядро. Выше этих пород, содержание апатита постепенно увеличивается по разрезу, доходя до 40 и более % (рисунок 1). Эти породы определяются как франколитовый горизонт [6]. Его сменяют породы с преобладанием гетита, затем - сидерита. Над сидеритовыми породами залегают тонкослоистые Nb-REE руды (РНР-1, рисунок 1) [7]. Все перечисленные типы пород наблюдаются в разрезах участков распространения богатых руд (Северный, Южный и Буранный) и представлены в разрезе скв. №6151 (рисунок 1). Помимо описанных ранее горизонтов авторами в результате дополнительных исследований выделен второй рудный горизонт (РНР-2), залегающий под сидеритовым. Горизонт РНР-2 также характеризуется крайне высокими содержаниями REE, но несколько отличается минеральным составом. Генезис обоих рудных горизонтов и разделяющего их сидеритового, по-прежнему, остается дискуссионным, хотя эта часть разреза и описываются большинством исследователей как кора выветривания.

Наиболее высокие содержания Au в карбонатитах достигают 60 ppb, причем выделяется отдельный интервал с повышенными содержаниями, на фоне большей части разреза с содержаниями Au

<0.5 ppb. В большинстве пород профиля выветривания и богатых рудах содержания на 1 порядок ниже: сидеритовые - до 2.5 ppb, гетитовые - до 3.8 ppb, РНР-1 - до 4.5 ppb, РНР-2 – до 8.1 ppb. На большом интервале в породах подобных фенитам и в породах с преобладанием апатита (франколита) содержания Au высокие и достигают 100 ppb. Методом ступенчатого выщелачивания исследованы формы нахождения золота в РНР-1, РНР-2 и образце из сидеритового горизонта. Au в образцах частично растворяется в восстанавливаемую фракцию (5-15 %) и преимущественно - в окисляемую (60-90%). На остаточную приходится 5-25% Au. Следовательно, можно предполагать, что Au связано с сульфидами. Относительно повышенные содержания Ag установлены в богатых рудах (1.8-2.5 ppm), сидеритовых и гетитовых породах профиля выветривания (0.5-1.0 ppm). В остальных породах содержания < 0.5 ppm. Вероятнее всего полученные данные указывают на связь Ag с минералами группы крандаллита, в которые элемент может входить в виде изоморфной примеси.

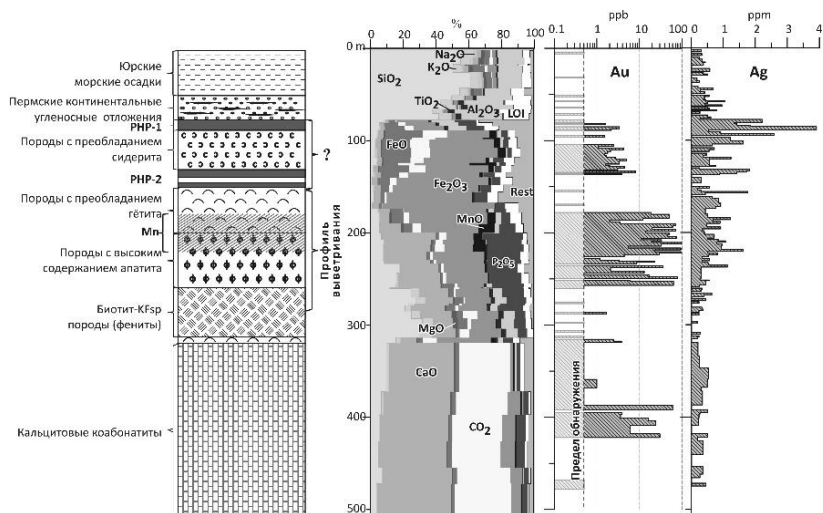


Рисунок 1. Распределение Au и Ag и породообразующих компонентов в породах и рудах массива Томтор, вскрытых скважиной № 6151.

3. Выводы

Из полученных данных можно сделать вывод, что, если бы пачка «РНР-1-сидеритовый горизонт-РНР-2» являлась верхней частью профиля выветривания, следовало бы ожидать обогащение золотом этой части разреза в результате гипергенного обогащения в процессе формирования профиля, но этого не наблюдается.

4. Благодарности

Работа выполнена в рамках гранта № 18-17-00120 РФФИ. Аналитические работы выполнены в ЦКП Многоэлементных и изотопных исследований СО РАН.

5. Литература:

- [1] Nikiforova Z.S., Gerasimov B.B., Tulaeva E.G. Genesis of gold-bearing placers and their possible sources (Eastern Siberian Platform) // *Lithology and Mineral Resources*, 2011, vol. 46, no. 1, pp. 17-29.
- [2] Gerasimov B.B., Nikiforova Z.S. The alleged formation types of indigenous sources of gold in the Anabar region (northeast of the Siberian platform) // *Science and Education*, 2017, no. 2, pp. 11-16. (translated from English)
- [3] Shpunt B.R. Genetic types of manifestations of gold in the north-eastern part of the Siberian platform // *Uch. notes of NIIGA. Regional geology*, 1970, pp. 5-15. (translated from English)
- [4] Skublov S.G., et al. 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*. – 2019 (in press).
- [5] Baranov L.N. et al. New in the mineralogy and geochemistry of apatite-magnetite ores of the Tomtor massif, northeast of the Siberian platform // *Ores and Metals*, 2018, pp. 42-54. (translated from English)
- [6] Lapin, A.V. (Ed.), *Minerageny of Carbonatite Eluvium: A Handbook*. GEOKART, GEOS, Moscow, 2011, 308 pp. (translated from English).
- [7] Lazareva E.V., et al. Main minerals of abnormally high-grade ores of the Tomtor deposit (Arctic Siberia) // *Russian Geology and Geophysics*, 2015, vol. 56, no.6. pp. 844–873.

УДК 553.411

**ПЛАТИНОИДЫ ЗОЛОТО-СЕРЕБРЯНЫХ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ И РУДОПРОЯВЛЕНИЙ
ОХОТСКО-ЧУКОТСКОГО И ВОСТОЧНО-СИХОТЭ-
АЛИНСКОГО ВУЛКАНО-ПЛУТОНИЧЕСКИХ
ПОЯСОВ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА (РОССИЯ)**

Владимир Сахно¹, Юрий Кузнецов²

¹Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, 690022, Россия,
г.Владивосток, пр-т 100 летия Владивостока, 159

²АО «Приморзолото» г. Москва

**PLATINUM GROUP METALS OF GOLD-SILVER
DEPOSITS AND OCCURRENCES OF THE OKHOTSK-
CHUKCHI AND THE EAST SIKHOTE-ALIN
VOLCANOPLUTONIC BELTS ON THE RUSSIA FAR
EAST**

Vladimir Sakhno¹, Yuriy Kuznetsov²

¹Far East Geological Institute FEB RAS, 159, Prospekt 100-letiya,
Vladivostok, 690022, Russia,

²JSC “Primorzoloto”, Moscow

Annotation. For the first time, for a number of gold ore objects from Chukotka to Primorye, in addition to gold ore and silver mineralization, nanoscale mineral forms of all types of noble metals, including platinum group minerals, were systematized and studied. Their mineral forms were recorded using the method of x-ray diffractometry. The data obtained suggest that, in addition to forms traditionally considered basic (native forms), all types of noble metals are also represented by a number of other mineral forms. For Au - in the form of intermetallic alloys with tin, aluminum, gallium, occasionally in the form of oxide forms; for platinumoids - in the form of sulfide (arsenide, selenide), and oxide forms, occasionally - intermetallic alloys with bismuth

and tin. Their number is quite comparable with the number of mineral forms of gold recorded by x-ray diffractometry.

1. Введение

В настоящее время основным источником платиновых металлов являются сульфидные медно-никелевые месторождения (Норильск). Вторым по значимости источником элементов платиновой группы (ЭПГ) являются коренные и россыпные месторождения иридиево-платинового минералого-геохимического типа, связанные с зональными щелочно-ультраосновными интрузивами центрального типа на платформах и дунит-клинопироксенит-габбровыми массивами складчатых областей (Урала, Дальнего Востока и Сибири). Кроме этих типов, в которых установлена генетическая связь платиноидов с золотом и серебром, связанная с золоторудными месторождениями различного возраста, существуют: золото-сульфидные и черносланцевые.

На северо-востоке РФ, к золото-сульфидному и золото-серебряному типу, где установлены ЭПГ, относятся месторождения: Сентябрьское, Купол, Двойное, Валунистое (Чукотка); Многовершинное, Милоградское, Кумирное, Белозерное (Приморский край). К золоторудным в черносланцевых толщах относятся: Наталка, Павлик, Дегдекан (Чукотка); Глухое и др. (Приморский край).

2. Методы исследования и результаты

Исследование минерального состава руд проводилось на рентгенофазовых дифрактометрах ARL X'tra (Швейцария). В одном из которых для фазового анализа используется файл карточек порошковой дифракции ICDD PDF-2 (более 157 000, 2012 года создания), в другом расширенная его версия - ICDD PDF – 2, 2019 года, содержащая более 453 000 наборов карточек данных по различным кристаллическим веществам. Каждый набор содержит дифракционные, кристаллографические и библиографические сведения, наряду с информацией об инструменте условиях эксперимента и приготовления образца. А также – приводимые в общем стандартизированном формате отдельные физические свойства вещества. PDF-2 является продуктом совместной разработки фирм: ICDD, FIZ и NIST он предназначен для анализа неорганических

материалов (кристаллитов). Время обработки одного образца на дифрактометрах составляло от 60 до 80 минут. То есть повышалось, как минимум, в 3-4 раза по сравнению со стандартным методом исследования порообразующих минералов на дифрактометре. Качественный анализ данных полученных на этом приборе проводили с использованием программного обеспечения Oxford Crystallographica. Количественный рентгенофазовый анализ - проводили с использованием программного обеспечения Siroquant Sietronics Pty Ltd.

Данные по минеральному составу, описанном выше с помощью применяемой нами методики для ряда месторождений и рудопроявлений Востока РФ приведены в Таблице 1. Особенности геологического строения и минерального состава, а также определения возраста рудно-магматических структур даны в работах Сахно В.Г., Савва Н.Е., Николаева Ю.Н. и других авторов [1, 2, 3, 4].

3. Выводы

Исследования руд золоторудных месторождений Востока Российской федерации комплексами методов электронной микроскопии и рентгенофазовой дифракции позволяют предположить следующее:

1. На всех изученных объектах, помимо золоторудной и серебряной минерализации, присутствуют нано - размерные минеральные формы всех видов благородных металлов, в том числе и платиновой группы.
2. Помимо основных традиционных форм, таких как самородные формы, представлены несколько другими минеральными формами: для платиноидов – в виде сульфидной (арсенидной, селенидной), и оксидной формами, изредка – интерметаллическими сплавами с висмутом и оловом.
3. Основными минеральными формами платиноидов, присутствие которых зафиксировано на всех золоторудных объектах, независимо от их возраста, генетического типа, являются их дисульфиды (арсениды, селениды). И их количество вполне сопоставимо с количеством минеральных форм золота зафиксированных методом рентгено-фазовой дифрактометрии.
4. Способ самосборки является одним из эффективных инструментов перевода неопределяемых пробирным методом форм в определяемые этим анализом формы [5].

5. Возможным реальным источником такого процесса представляется процесс дегазации мантии. Который реализуется с помощью геологических каналов - глубинных разломов. И тех гигантских перепадов температур и давлений, которые им сопутствуют, в широком температурном интервале.

Таблица 1

Данные по минеральному составу рудных фаз, исследованных месторождений и рудопоявлений Востока РФ

Месторождения Чукотки		Месторождения Сихотэ-	
Фаза	Вес. (%)	Фаза	Вес. (%)
Купольский рудный узел (золотосеребряный тип, нижний мел)		Месторождение Многовершинное золотосеребряный тип, нижний мел	
Купол (К-3)		О-696	
Silversulphidebeta 186°	1,0±0,14	Pyrite	87±0,65
Rhodiumdiselenide	0,8±0,05	Arsenopyrite	4.2±0.41
Rhodiumdioxide	0,2±0,04	Goldtin	1.9±0.1
Osmiumdisulphide	0,2±0,02	Chalcopyrite	1.3±0.23
Osmiumdiselenide	0,1±0,03	Goldsesquioxide	1.1±0.12
Rhodiumdisulphide	0,1±0,05	Silveroxide	0.5±0.12
Илирнейский рудный узел		Silvermagnesium	0.3±0.12
Сентябрьское (С-5-1)		Goldmagnesium	0.3±0.07
Pyrite	14,1±0,27	Rutheniumdioxide	0.3±0.18
Galena	3,0±0,06	Platinumdisulphide	0.1±0.09
Cubanite	2,3±0,11	Месторождение Милоградово	
Magnetite	1,7±0,15		
Sphalerite	1,6±0,09	Silversulphide beta	0,7±0,18
Magnetite, titanian	1,3±0,16	Silversulphate	0,5±0,08
Rhodiumdiselenide	0,9±0,09	Osmiumdioxide	0,4±0,03
Calcite 2	0,8±0,26	Platinumdiarsenide	0,4±0,05
Platinumdiarsenide	0,7±0,06	Platinumdisulphide	0,3±0,03
Ankerite	0,5±0,26	Silver (I) oxide	0,3±0,03
Rhodiumdioxide	0,5±0,07	Silverchloride	0,3±0,04
Osmiumdiselenide	0,5±0,09	Rhodiumdioxide	0,2±0,06
Silversulphidebeta 186°	0,4±0,25	Rutheniumoxide	0,1±0,06
Platinumdisulphide	0,3±0,04	Rhodiumdiselenide	0,2±0,07
Osmiumdisulphide	0,3±0,07	Rutheniumdioxide	0,1±0,07
Rutheniumdisulphide	0,2±0,16	Osmiumdisulphide	0,1±0,04
Silver oxide	0,1±0,05	Palladiumdiarsenide	0,1±0,08
Месторождение Павлик		Месторождение Конторское	

(черносланцевый тип, нижний мел)		(золото-сульфидный тип, верхний мел)	
Silversulphidebeta 186°	0,4±0,13	Chalcopyrite	28,1±0,43
Rhodiumdioxide	0,4±0,04	Cubanite	5,0±0,18
Chalcopyrite	0,4±0,07	Cubanite, low	3,1±0,29
Goldgallium	0,3±0,02	Albite, low	2,3±0,85
Osmiumdioxide	0,3±0,02	Rhodiumdiselenide	1,6±0,14
Platinumdisulphide	0,1±0,02	Pyrite	1,2±0,27
Rhodiumdiselenide	0,2±0,05	Bornite	0,7±0,26
Osmiumdisulphide	0,1±0,03	Covellite	0,4±0,20
Goldaluminium	0,1±0,02	Silversulphate	0,2±0,15

4. Благодарности

Авторы искренне признательны всем сотрудникам, которые участвовали в совместных работах, а так же в аналитических исследованиях.

5. Литература:

- [1] Sahnо V.G., Kuznetsov Yu.A., Dubkov A.A., Nenakhova E.V. About platinoid findings in primary rocks of gold-silver deposits of norther Chukotka // Bulletin of VSU. Series: geology. 2019. №. 4. p. 111-117. (in Russian).
- [2] Savva N.E., Palyanova G.A., Byankin M.N Towards the problem of genesis of gold and silver sulphides and selenides at the Kupol deposits (Chukotka, Russia) // Geology and Geophysics. 2012. V. 53 (5). p. 597-606. (in Russian).
- [3] Nikolaev Yu.N., Prokofiev V.Yu., Apletanin A.V., et al. Gold-telluride mineralization of West Chukotka: mineralogy, geochemistry and formation conditions // geology of ore deposits. 2013. V. 54. No.2. p. 114-144. (in Russian).
- [4] Rusanov R.V., Yannikova Yu. Yu., Yannikova L. Yu. The platinum content au-ag formations of the valunistoe deposit (Chukotsk autonomous district) // Bulletin of VSU. Series: geology. 2019. №. 4. c. 71-78. (in Russian).
- [5] Nenakhova E.V., Sahnо V.G., Kalashnikov Yu.D., Nenakhov V.M., Kuznetsov Yu. A. Elf-assembling of nanodispersed forms of platinoids as a method of their extraction on the example of gold-silver ores of the milogradovsky mining (PRIMORSKY REGION) // Bulletin of VSU. Series: geology. 2018. №. 4. p. 102-106. (in Russian).

УДК 553.98

ПРОГНОЗ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ НЕФТЕНОСНОСТИ СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ НЕПСКО- БОТУОБИНСКОЙ НГО

Розалия Севостьянова, Вячеслав Ситников

ФИЦ «ЯНЦ СО РАН» ФГБУН Институт проблем нефти и газа СО
РАН, 677980, Россия, г. Якутск, ул. Петровского, 2

FORECAST OF OIL POTENTIAL IN THE NORTH- WESTERN PART OF THE NEPA-BOTUOBA REGION

Rozaliya Sevostyanova, Vyacheslav Sitnikov

Institute of Oil and Gas Problems Siberian Branch of the Russian Academy
of Sciences, 2 Petrovsky st., Yakutsk, 677980, Russia

Annotation. A brief description of the Nepa-Botuoba oil and gas region is presented and a justification for the potential oil content of its North-Western part is given. The analysis of the areal change in the percentage of balance oil and gas reserves is carried out, and a natural increase in the share of oil in this direction is shown.

1. Введение

Непосредственно на территории Республики Саха (Якутия), включающей в себя восточную половину Сибирской платформы, все запасы нефти и две трети запасов газа сосредоточены в месторождениях, расположенных в непосредственной близости от трассы действующего нефтепровода ВСТО. Все запасы нефти в виде самостоятельных залежей либо нефтяных оторочек, обрамляющих крупные залежи УВГ, находятся в Непско-Ботуобинской нефтегазоносной области (НГО). Уникальность рассматриваемой территории связана с высоким углеводородным потенциалом (до 250 тыс. т/км²) и почти повсеместной газонасыщенностью коллекторов в нижней части осадочного чехла, которая обусловлена своеобразным совместным проявлением литологических и тектонических факторов.

2. Основной раздел

Нижняя часть осадочного чехла представлена в виде сложной системы ловушек нефти и газа, граничащих друг с другом и переходящих друг в друга по площади и разрезу. Учитывая всеобщую литологическую, тектоническую и гидродинамическую связь многочисленных залежей УВ, можно вести речь о наличии здесь месторождения, соизмеримого с крупной зоной нефтегазонакопления (ЗНГН) [1].

На территории Непско-Ботуобинской НГО в карбонатных отложениях нижнего кембрия (осинский горизонт) открыто и разведано крупное Талаканское нефтегазоконденсатное месторождение. На этом же стратиграфическом уровне выделена нефтегазовая залежь на Среднеботуобинском нефтегазоконденсатном месторождении (НГКМ). В связи с чрезвычайной сложностью ее строения, обусловленной внедрением в указанный интервал разреза пластовых силлов трапповой формации, залежь УВ здесь до сих пор недоразведана. В обоих случаях карбонатные коллекторы характеризуются исключительно сложным строением пустотного пространства и относятся к смешанному порово-кавернозно-трещинному типу.

На ряде других площадей глубокого бурения в осинском горизонте нижнего кембрия также отмечены существенные нефтегазопроявления. Наличие нефтенасыщенных коллекторов суммарной мощностью до 8 м установлено, в частности, по материалам ГИС в Западно-Талаканской параметрической скв. 360-0, расположенной к северо-западу от Талаканского НГКМ.

На Верхневилучанском НГКМ, приуроченном к крупному поднятию в восточной части Непско-Ботуобинской НГО, в юряхском карбонатном горизонте (пограничные слои кембрия - венда) выявлены и разведаны залежи нефти и газа с общими извлекаемыми запасами более 200 млн.т. УУВ.

Обобщение данных по исследуемой территории позволило уточнить представления о нефтеносности терригенных отложений вендского комплекса. До последнего времени в свете имевшихся фактических данных о результатах испытания скважин считалось, что нефтяные оторочки могут сопровождать залежи газа лишь в ботуобинском

горизонте, занимающем кровельную часть вендского терригенного комплекса. При этом какие-либо закономерности в наличии или отсутствия нефтяных оторочек на тех или иных месторождениях не просматривались.

После начала активной недропользовательской деятельности ОАО «Сургутнефтегаз» на юго-западе республики промышленные притоки нефти получены в отдельных скважинах из ботуобинского, улаханского, хамакинского и талахского горизонтов, т.е. почти из всех выделенных в вендском терригенном комплексе продуктивных горизонтов.

Проведенный анализ площадного изменения процентного соотношения балансовых запасов нефти и газа показывает, что степень нефтенасыщенности терригенных коллекторов венда закономерно увеличивается в северо-западном направлении.

Здесь в зонах выклинивания названных горизонтов можно прогнозировать наличие крупных нефтяных залежей. В условиях регионального выклинивания терригенных коллекторов и их гидрогеологической изолированности нефть была отжата газом в указанные неантиклинальные ловушки в результате многоэтапного, в том числе современного, проявления процессов миграции и аккумуляции УВ. Значительная часть запасов нефти по зонам трещиноватости была перемещена здесь вверх по разрезу и размещалась в карбонатных горизонтах венда-кембрия (см. примеры залежей нефти на соседних площадях в Иркутской области)

3. Выводы

Для ускоренного наращивания запасов нефти на изучаемой территории наряду с новыми объектами, намеченными в различных частях осадочного чехла, существенную роль должны по-прежнему играть работы по детальному опoискованию карбонатных отложений нижнего кембрия и верхнего венда в пределах обширной линейно вытянутой зоны, охватывающей блоки Талаканского месторождения и прилегающие площади к юго-востоку и северо-западу от него.

По предварительным данным аналогичные субширотные зоны нефтенакпления в нижнекембрийском разрезе можно выделить в перспективе и в других более северных районах Непско-Ботуобинской НГО.

Работы по прогнозированию и поиску зон преимущественного нефтенакпления на фоне значительного преобладания газовой составляющей в углеводородном потенциале недр изучаемой территории требуют проведения специальных научных исследований и постоянного научного сопровождения.

4. Литература:

[1] Sitnikov V.S., Safronov A.F., Rudih I.V. et al. A unique area of oil and gas accumulation in the South-West of Yakutia (Siberian platform) / IX international Conf. «New ideas in Earth Sciences»: Abstracts. - Moscow, 2009, pp. 147-148.

УДК 553.98

СЕЛЕННЯХСКИЙ БЛОК: ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ПОЗИЦИЯ И ВОПРОСЫ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ ВОСТОЧНОЙ ЯКУТИИ

Алексей Сивцев¹, Александр Александров², Дмитрий Петров²

¹ ФГАОУ ВО Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, 677000, Россия, г.Якутск, ул. Белинского, 58

² ФИЦ «ЯНЦ СО РАН» ФГБУН Институт проблем нефти и газа СО РАН, 677980, Россия, г. Якутск, ул. Петровского, 2

SELENYAH BLOCK: GEOLOGICAL POSITION AND OIL AND GAS CONFERENCES OF EAST YAKUTIA

Aleksei Sivtsev¹, Aleksander Aleksandrov², Dmitriy Petrov²

¹ M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, 58 Belinsky st., Yakutsk, 677000, Russia

² Institute of Oil and Gas Problems Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 2 Petrovsky st., Yakutsk, 677980, Russia

Annotation. A conclusion is made about the high prospects of oil and gas potential of the Domanikoid Middle Paleozoic deposits. An author's version of the history of the geological development of East Yakutia is proposed and, based on it, thickness diagrams of the main sedimentary complexes are

compiled: Middle Devonian-Lower Carboniferous, Upper Paleozoic-Lower Mesozoic, Upper Jurassic-Lower Cretaceous, and Upper Cretaceous-Cenozoic. Based on the composed diagrams of the thickness of sedimentary complexes and the shown horizontal displacements, the Tastakhsky deflection is identified as the most promising area.

1. Введение

Наибольшее количество нефтидопроявлений исследователями зафиксировано на северо-западном и юго-восточном бортовых обрамлениях Индигино-Зырянского прогиба (ИЗП).

На северо-западном бортовом обрамлении ИЗП наиболее изучен Селенняхский блок Омулевского террейна.

Основные результаты сводятся к следующим выводам [1]:

- битуминологические характеристики свидетельствуют о наложении на сингенетичный фон миграционных битумов различных стадий проявления (до позднеюрская, мел-четвертичная и современная);
- по положению в разрезе, содержанию жидких битумов и наличием доманикоидных отложений наиболее перспективными представляются среднепалеозойские отложения.

2. История геологического развития

Для уточнения перспектив нефтегазоносности рассмотрим историю геологического развития Восточной Якутии со среднепалеозойского времени.

В истории геологического развития Восточной Якутии А.Ф. Сафроновым выделены следующие основные этапы развития [2]: рифейский рифтовый, венд-кембрийский пассивноокраинный, среднепалеозойский рифтовый, верхнепалеозойско-нижнемезозойский пассивноокраинный, верхнемезозойский коллизионный.

Рифейский и венд-кембрийский этапы развития в данной работе не рассматриваются. В течение позднего докембрия-раннего палеозоя восточная окраина Сибирского палеоконтинента, включая Омулевский, Приколымский, Омолонский и Охотский террейны, представляла собой пассивную континентальную окраину, последовавшей, по всей видимости, после позднерифейского

рифтогенеза.

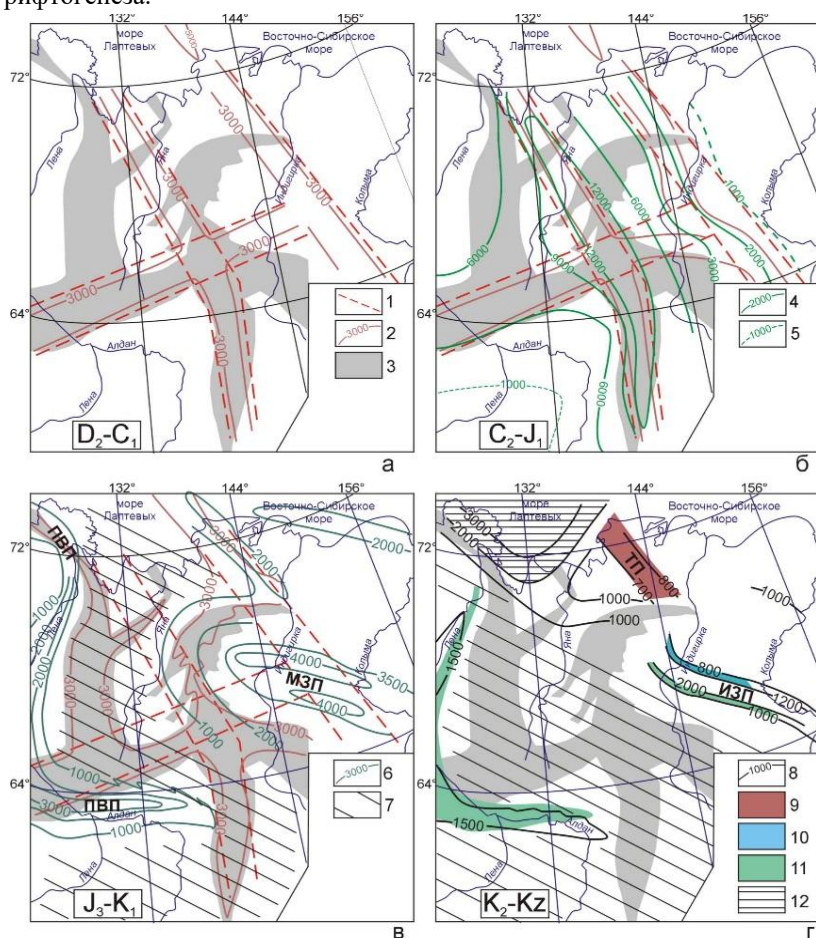


Рисунок 1. Схема толщин комплексов отложений и перспективы нефтегазоносности Восточной Якутии.

Условные обозначения: 1 – границы рифтовых зон позднего рифея возобновленные в среднепалеозойское время, 2 – толщины рифтовых среднепалеозойских отложений, 3 – зоны среднепалеозойских рифтовых грабенов по Третьякову Ф.Ф. [3], 4 – толщины верхнепалеозойско-нижнемезозойских отложений, 5 – предполагаемые толщины верхнепалеозойско-нижнемезозойских отложений, 6 – толщины верхнепермско-нижнепермских отложений, 7 – области

денудации, 8 – толщины верхнемелово-кайнозойских отложений, перспективы нефтегазоносности по комплексам отложений: 9 – среднепалеозойским, 10 – верхне-юрским, 11 – верхнеюрско-нижнемеловым, 12 – кайнозойским.

Среднепалеозойская рифтовая стадия выразилась формированием системы рифтовых линейных структур на востоке Сибирского палеоконтинента с толщиной осадочного выполнения не менее 3000 м (рисунок 1а). Далее в течение верхнего палеозоя-нижнего мезозоя территория Верхоянского складчатого пояса представляла собой обширную **пассивную континентальную окраину** (рисунок 1б). Были накоплены терригенные отложения с толщиной до 12 000 м. Таким образом, преобладающая часть среднепалеозойских отложений претерпела стадию апокатагенеза, кроме отложений восточного рифтового грабена. С верхней юры начинается **коллизийный этап** развития региона (рисунок 1в). В это время Алазейская островная дуга сталкивается с Омuleвским хребтом, формируя Колымо-Омолонский супертеррейн. В результате коллизии Колымо-Омолонский супертеррейн глубоко вклинивается в отложения пассивной континентальной окраины вызывая мезозойскую складчатость. В коллизийном этапе развития региона отложения восточного рифтового грабена были разделены на блоки Омuleвского террейна и подверглись значительным горизонтальным перемещениям.

Из заданных геологических позиций особый интерес вызывает крайняя северная континентальная часть восточного рифтового грабена. Весьма вероятно, к северу – северо-западу от Колымо-Омолонского микроконтинента сохранился слабо затронутый коллизией участок восточного рифтового бассейна. Именно на этом участке геолого-геофизическими исследованиями был установлен Тастахский прогиб (ТП) (рисунок 1г).

3. Выводы

В качестве первоочередного объекта для постановки геологоразведочных работ предлагается территория Тастахского прогиба и его юго-восточное продолжение. Близость предлагаемой территории к трассе северного морского пути является немаловажным благоприятным инфраструктурным и инвестиционным фактором.

Предлагается заложить параметрическую скважину с глубиной до 4000 м. Она позволит получить ценную информацию, которая позволит уточнить геологическое строение района и региона в целом.

4. Благодарности

Работа выполнена по Программе ФНИ государственных академий наук Рег. № НИОКТР АААА-А17-117040710037-1

5. Литература:

- [1] Klubov B.A. Natural bitumens of the North. // Moscow: Nauka, 1983, p. 203(in Russian).
- [2] Safronov A.F. Historical and genetic analysis of oil and gas formation processes (on the example of the East of the Siberian platform). //Yakutsk:YANTS SB RAS, 1992,p.148 (in Russian).
- [3] Tretyakov F.F. Middle Paleozoic rift structures in the base of Verkhoyansk folded belt//Domestic geology, 2004, no.5,pp. 57-60 (in Russian).

УДК 553.98

О НЕТРАДИЦИОННЫХ ПОДХОДАХ К ИЗУЧЕНИЮ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ НЕДР

Вячеслав Ситников

ФИЦ «ЯНЦ СО РАН» ФГБУН Институт проблем нефти и газа СО
РАН, 677980, Россия, г. Якутск, ул. Петровского, 2

ABOUT UNCONVENTIONAL APPROACHES TO THE STUDY OF OIL AND GAS RESOURCES

Vyacheslav Sitnikov

Institute of Oil and Gas Problems Siberian Branch of the Russian Academy
of Sciences, 2 Petrovsky st., Yakutsk, 677980, Russia

Annotation. The article briefly describes some unconventional approaches to the study of oil and gas content of the sedimentary cover. The ways of optimization of methodological approaches to the forecast of oil and gas content of sedimentary strata based on the joint use of

traditional methods and fundamentally new scientific ideas about the oil and gas content of the earth 's crust are outlined.

1. Введение

За неполные два века развития нефтегазовой геологии отечественными и зарубежными учеными разработаны методические основы для научно обоснованного прогноза нефтегазоносности земных недр. Эти критерии способствовали открытию многих тысяч месторождений. Вместе с тем нередки ситуации, когда при наличии необходимых условий и предпосылок залежи нефти и газа на тех или иных территориях не обнаружены.

Проблема повышения достоверности прогноза нефтегазоносности по-прежнему остается актуальной и требует своего решения на основе последовательной оптимизации используемых методических подходов. При этом предполагается, что решению многих вопросов в рамках вышеуказанной проблемы будут содействовать исследования, предусматривающие совместное использование традиционных и новых научных представлений.

2. Основной раздел

Теоретической основой при изучении нефтегазоносных территорий является учение об осадочно-миграционной модели нефтегазообразования в земной коре и представления о формах её реализации в различных геологических условиях.

Нефтегазообразование органически связано с литогенезом, с осадочным процессом. Нефть и углеводородные газы являются обязательными продуктами этого процесса. Углеводороды образуются из органического вещества, которое вместе с вмещающими его осадочными толщами в процессе тектонического прогибания и погружения на значительные глубины попадает в термодинамические условия, необходимые для соответствующих преобразований. При этом главными факторами, предопределяющими процессы нефтегазообразования, являются тип органического вещества и степень его метаморфизма. Тип ОВ зависит от характера исходного материала, условий накопления осадков и вторичных процессов, изменяющих первичный состав органических соединений [1].

Весьма важными моментами в развитии этих процессов, особенно по отношению собственно к нефти, являются представления о миграции

ее в породах, а также о том, что как нефтеобразование, так и нефтегазонакопление в геологическом масштабе времени является длительным и многоэтапным.

Масштабы проявления этих процессов в земной коре контролируются комплексом условий нефтегазоносности (тектонических, литологических, геохимических, гидрогеологических и др.).

Органическое вещество и вмещающие его породы сформировались, в основном, в условиях морских осадочных бассейнов и несомненно является материнской основой для генерации углеводородов. Они (ОВ, породы, бассейны, углеводороды) существуют и функционируют на Земле, начиная с ранних этапов формирования и развития ее геосфер, в том числе земной коры.

В первый ранний период в течение весьма продолжительного времени (более 1 миллиарда лет) образование и накопление ОВ повсеместно происходило в анаэробных условиях при наличии на планете бескислородной атмосферы.

Примерно со второй половины раннего протерозоя в атмосфере Земли накопилось достаточно значительное количество кислорода и она по своим проявлениям при взаимодействии с гидросферой и литосферой в целом стала подобной современной азотно-кислородной атмосфере. При этом накопление ОВ, интенсивно образующегося при жизнедеятельности различных форм организмов в приповерхностном слое морских бассейнов, осуществляется в различных обстановках в значительной мере удаленных и изолированных от воздействия кислорода.

При тектонических процессах, сопровождающихся интенсивными проявлениями складчатости, магматизма и метаморфизма органическое вещество и генетически связанные с ним углеводородные соединения в значительной степени разрушаются либо переходят в иные геохимические формы (метан, битумы). Вместе с тем, благодаря особенностям своего строения и функционирования в условиях открытой планетарной системы, определенная часть органического вещества и производных углеводородных соединений обладает способностью сохранить себя от разрушения в достаточно широком диапазоне температур и давлений, значительно превышающих установленные ранее условные пределы и ограничения.

3. Выводы

1. Более полное привлечение научно-технических достижений и фактических геолого-геофизических данных позволяют выйти за пределы условно установленных ограничений, но тем или иным нефтегазогеологическим процессам. Они более масштабны и разнообразны, чем это принято считать.
2. Указанные подходы дают возможность наметить целый ряд новых нетрадиционных критериев для прогноза нефтегазоносности в районах с различной степенью их геолого-геофизической изученности.
3. Представления о довольно коротких сроках полного истощения оставшихся ресурсов углеводородного сырья можно считать в определенной мере преувеличенными. По всей видимости, в ближайшие десятилетия грядет переход на качественно новый уровень изучения особенностей размещения и освоения углеводородного сырья. Принимаемый в расчетах нефтегазовый потенциал сможет, видимо, существенно пополниться за счет довольно интенсивной подпитки как из современных очагов генерации УВ, так и со стороны многих нетрадиционных видов углеводородного сырья.

4. Литература:

- [1] Sitnikov V.S., Bazhenova T.K., Burova I.A. et al. Geology and oil and gas potential of the South-West of the Republic of Sakha (Yakutia). Realities, prospects, forecasts. – Saint-Petersburg, VNIGRI, 2014, pp 436.

УДК 552.32:550.93:553.411

НОВЫЕ ИЗОТОПНО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ ПО ГРАНИТОИДАМ ЮГО-ВОСТОЧНОГО ФЛАНГА ГЛАВНОГО КОЛЫМСКОГО БАТОЛИТОВОГО ПОЯСА

Андрей Цыганков¹, Николай Горячев^{2,3}, Валентин Хубанов¹,
Галина Бурмакина¹

¹ Геологический институт СО РАН, 670047, Россия, г. Улан-Удэ,
ул. Сахьяновой, 6а

² ФГБУН Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский
институт им. Н.А. Шило ДВО РАН, 685000, Россия, г. Магадан, ул.
Портовая, 16

³ Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, 664043, Россия, г. Иркутск, ул. Фаворского, 1а

NEW ISOTOPE-GEOCHEMICAL DATA ON GRANITOIDS OF THE SOUTH-EAST FLANK OF THE MAIN KOLYMA BATOLITIC BELT

Andrey Tsygankov¹, Nikolay Goryachev^{2,3}, Valentin Khubanov¹, Galina Burmakina¹

¹ Geological Institute SB RAS, 6a Sahyanovoi st., Ulan-Ude, 670047, Russia

² North-East Interdisciplinary Scientific and Research Institute, Far Eastern Branch, RAS, 16 Portovaya st., Magadan, 685000, Russia

³ Vinogradov A.P. Institute of Geochemistry SB RAS, 1a Favorskogo st., Irkutsk, 664043, Russia

Annotation. New data on the age of S-granites of the Bolshoi Porogi pluton (152.9 million years) and I-granodiorites of the Mazur stock (149.5 million years) on the southeastern flank of the Yano-Kolyma orogenic belt are presented. Sm-Nd and Sr characteristics of these and several other massifs of a given age are given.

1. Введение

Главный батолитовый пояс представлен обширным ареалом разных по величине (до 7000 км²) гранитодных плутонов S и I типов ильменитовой серии. Согласно обширному массиву Ar-Ar датировок он формировался в интервале 150-134 млн лет (Layer et al., 2000; Парфенов, Кузьмин, 2001; Nokleberg et al., 2005; Ханчук, 2006). Появившиеся в последующем U-Pb датировки (Акинин и др., 2009) также показали достаточно узкий интервал возраста 158-144 млн лет. Однако, несмотря на активную работу ВСЕГЕИ по составлению листов миллионного масштаба (Кузнецов и др., 2008; Шпикерман и др., 2016) количество датировок и современных геохимических характеристик гранитов данного ареала (суммарно около 80000 км²) еще недостаточно.

2. Основной раздел

Нами получены и в докладе обсуждаются новые изотопно-геохимические данные по ряду известных массивов S гранитов (Больших Порогов, Трубный, Чьорго), а также по трем небольшим плутонам (Делянكير, Мянунджа, Мазур) I типа, с которыми ассоциирует золоторудная минерализация. U-Pb датировки с применением лазерной абляции показали для массива Большие Пороги дату 152.9 ± 3.4 млн лет, близкую, полученной ранее методом SHRIMP (155 ± 2.4 млн лет – Кузнецов и др., 2008). В то же время I-граниты небольшого плутона Мазур, локализованного рядом с Чай-Юрьинским разломом, оказались несколько моложе (149.5 ± 7.2 млн лет), но в пределах ошибки значительно не различаются, и они практически идентичны гранодиоритам, расположенного восточнее Салгынтарского массива, а также ильменитовым гранитоидам басугунынского комплекса I-типа (Кузнецов и др., 2008; Акинин и др., 2009; Шпикерман и др., 2016). Изученные гранитоиды оказались весьма близкими по распределению редких, рассеянных и редкоземельных элементов, а также по параметрам Sm-Nd изотопной системы. Так по ϵ_{Nd} гранитоиды S типа = $-3.06 \div -15.01$ и I типа = $-1.96 \div -9.69$ практически идентичны, а по $Sr_0 - S$ тип $0.70803-0.70974$ и I тип $0.071158-0.71213$ несколько различаются, но относятся к типично коровым образованиям с модельным возрастом протолита T(DM-2) 2.2-1.1 млрд лет, близким к датам (около 1.8 млрд лет) унаследованных доменов в цирконах массивов Чьорго, Малый Анначаг и Труд (Акинин и др., 2009).

3. Выводы

Полученные результаты дополняют наши представления о генетическом единстве разнотипных гранитоидов Главного Колымского батолитового пояса как составных частей крупной изверженной провинции.

4. Благодарности

Работа выполнена в рамках проекта РФФИ 20-05-00344 и, частично, в рамках госбюджетного финансирования ГИН СО РАН, СВКНИИ ДВО РАН, ИГХ СО РАН.

УДК 553.98

**УГЛЕВОДОРОДЫ АЛМАЗОПОДОБНОГО
СТРОЕНИЯ В НЕФТЯХ И КОНДЕНСАТАХ ВЕНД-
КЕМБРИЙСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ ЗАПАДНОЙ
ЯКУТИИ**

Ольга Чалая, Сара Лифшиц, Ираида Зуева, Юлия Глязнецова,
Ольга Карелина

ФИЦ «ЯНЦ СО РАН» ФГБУН Институт проблем нефти и газа СО
РАН, 677980, Россия, г. Якутск, ул. Петровского, 2

**DIAMOND SIMILAR HYDROCARBONS IN OILS AND
CONDENSATES OF THE VENDIAN-CAMBRIAN
DEPOSITS OF THE WESTERN YAKUTIA**

Olga Chalaya, Sara Lifshits, Iraida Zueva, Yuliya Glyaznetsova,
Olga Karelina

Institute of Oil and Gas Problems Siberian Branch of the Russian Academy
of Sciences, 2 Petrovsky st., Yakutsk, 677980, Russia

Annotation. The results of relative study of hydrocarbons of diamond similar structure, their content, composition and distribution in oils and condensates of the Vendian-Cambrian deposits of the Western Yakutia are presented in the work. Hydrocarbons of diamond similar structure of a raw of adamantans of C_{10} - C_{14} composition are identified by chromate-mass spectrometry method. Naphtids have a low content of these hydrocarbons due to the alkane composition of hydrocarbon fluids of the Vendian-Cambrian deposits. In general, the composition and distribution of adamantine hydrocarbons in the studied naphtides is monotypic and is characterized by the prevalence of dimethylsubstituted homologues.

1. Введение

Углеводороды (УВ) алмазоподобного строения - адамантаны не рассматриваются в качестве биомаркеров, т.к. не синтезируются живыми организмами [1, 2], но интересны для генетической типизации

высокозрелых нефтяных систем [3]. Единственным природным источником адамантана и его гомологов являются нефти и конденсаты, но содержание этих УВ в них очень низкое (сотые, тысячные и десятитысячные доли процента).

Целью данной работы явилось сравнительное сопоставление содержания, состава и характера распределения адамантановых УВ в нефтях и конденсатах венд-кембрийских отложений Западной Якутии. Состав адамантановых УВ 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 исследования послужили конденсат из вендских отложений и венд-кембрийские нефти Западной Якутии, генерированные органическим веществом (ОВ) морских фаций и обязанные своим происхождением планктоногенно-водорослевому исходному ОВ.

Адамантановые УВ сконцентрированы во фракции 150-250°C и представлены гомологическим рядом от $C_{10}H_{16}$ до $C_{14}H_{24}$. Содержание этих УВ в венд-кембрийских нефтях и вендском конденсате, относящихся по химическому типу к алкановым флюидам, низкое и не превышает 0,04%. Это согласуется с мнением исследователей, отмечающих, что количество адамантановых УВ в нефтях и конденсатах находится в прямой зависимости от их химической природы. Наиболее высоким содержанием адамантанов характеризуются нефти нафтенового типа, алкановые нефти содержат эти УВ в значительно меньшем количестве [2]. Низкое содержание адамантанов в исследованных нефтях и конденсатах венд-кембрийских отложений связано с их химическим составом, характеризующимся содержанием небольшого количества полициклических углеводородов, при деструкции которых могут

образовываться фрагменты, являющиеся предшественниками адамантанов.

В целом состав и характер распределения адамантанов в изученных углеводородных флюидах однотипен (Рисунок 1). В составе адамантановых УВ, как в нефтях, так и в конденсате венд-кембрийских отложений, преобладают диметилзамещенные адамантаны, ниже доля метил- и триметиладамантанов. Содержание адамантана не превышает 3% в расчете на фракцию адамантанов. Отношение C_{11}/C_{13} ниже, чем соотношение C_{12}/C_{13} (Таблица 1). При однотипном характере распределения адамантановых УВ конденсаты и нефти венд-кембрийских отложений различаются количественным распределением гомологов адамантана внутри фракции.

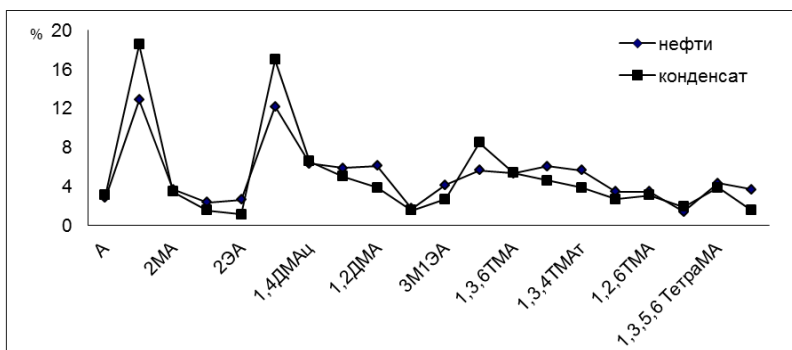


Рисунок 1. Распределение адамантановых УВ в нефти и конденсате венд-кембрийских отложений

Относительные концентрации более устойчивых изомеров метиладамантанов состава $C_{11}-C_{13}$ в изученных флюидах 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) – 38,2-41,63%, 1,3,5-ТМА/(1,3,5+1,3,6+1,3,4-ТМА) – 24,8-25,0%. В вендском конденсате эти отношения выше и составляют соответственно 84,2, 52,4%, 37,9%. Известно, что относительные концентрации более устойчивых изомеров адамантанов $C_{11}-C_{13}$ в равновесии 92,5-98%. Среди диметил- и триметиладамантанов цис-изомеры преобладают над транс-изомерами

или их соотношение близко к единице (Таблица 1), что может зависеть от условий и механизма их образования из протоадамтановых УВ. На основе проведенных исследований установлен однотипный качественный состав и характер распределения адамантановых УВ C₁₀-C₁₄ в нефтях и конденсатах венд-кембрийских отложений Западной Якутии.

Таблица 1

Распределение и соотношения адамантановых УВ в венд-кембрийских нефтях и конденсатах Западной Якутии.

Наименование	Нефти	Конд-т
Возраст	венд, кембрий	венд
Содержание, % на Σ адамтанов:		
Адамтан	2,5-3,1	3,1
Метиладамантаны	15,7-20,5	22,0
Диметиладамантаны	34,4-37,0	36,70
Триметиладамантаны	28,6-32,1	28,2
Тетраметиладамантаны	12,5-13,4	10,0
C ₁₁ /C ₁₃	0,49-0,72	0,78
C ₁₂ /C ₁₃	1,15-1,20	1,30
1MA/(1+2-MA),%	76,90-78,40	84,23
1ЭА/(1Э+2-ЭА),%	41,06-54,49	57,03
1,3ДМА/(1,3+1,2-+1,4ДМА),%	38,24-41,66	52,37
1,3,5-ТМА/(1,3,5-+1,3,6+1,3,4ТМА),%	24,79-25,01	37,90
цис-1,4ДМА/транс-1,4ДМА	1,00-1,16	1,31
цис-1,3,4-ТМА/транс-1,3,4-ТМА	1,07-1,08	1,20

3. Благодарности

Исследования выполнены в рамках комплексной программы фундаментальных научных исследований СО РАН П.И №0377-2018-0010

4. Литература:

- [1] Petrov Al.A. Oil hydrocarbons. Moscow: Nauka, 1984, 263 pp.
- [2] Peters K.E., Walters C.C., Moldowan J.M. The biomarker guide. New York, Cambridge University Press, 2007, v.1, 471 p.; v.2, 684 p.
- [3] Gordadze G.N. Geochemistry of hydrocarbons of the frame structure (review) //Neftehimia , 2008, vol. 48, no.4, pp.243-255.

**ГЕОЛОГИЯ И МИНЕРАЛОГИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ
АЛМАЗА**

УДК 553.81:552.32

**ПЕРЕХОД СОСТАВА СПЕССАТИН-ГРОССУЛЯР-
ПИРОП-АЛЬМАНДИНА В ПИРОП-ГРОССУЛЯР-
АНДРАДИТ В КИМБЕРЛИТАХ РИО-РАНЧ
(ЗИМБАБВЕ)**

Артем Архипенков¹, Александр Иванов¹, Игорь Шмаков²

¹ Научно-исследовательское геологическое предприятие АК
«АЛРОСА» (ПАО), 678170, Россия, г. Мирный, Чернышевское ш., 16

² АК «АЛРОСА», Зимбабве Ltd

**TRANSITION OF SPESSARTIN-GROSSULAR-
PYROPE-ALMANDINE TO PYROPE-GROSSULAR-
ANDRADITE IN THE RIO RANCH KIMBERLITES
(ZIMBABWE)**

Artem Arhipenkov¹, Aleksandr Ivanov¹, Igor Shmakov²

¹ Scientific-Investigation Geology Enterprise AC «ALROSA», 16
Chernyshevskoye Highway, Mirny, 678170, Russia

² AC «ALROSA», Zimbabwe Ltd

Annotation. In our work features of structures pyrops from kimberlitovy tubes of Rio-Ranch (Zimbabwe) were studied. According to the published data (M.G. Kopylov, 1997) the age of these kimberlitovy tubes is defined at level of 530-540 million years. Change of structure of eklogite pyrops from a kimberlite of Rio-Ranch (fig. 1) on the line from the grain center to its edge where it is noted formations of a kelifitovy border is studied. As a result of research process of mixing of pomegranates of a series (Grew, 2013) piralspitolov (pirop-almandin-spessartin) with with series grenades ugranditolov (uvarovit-grossulyar-andradit) is fixed. Such process of mixing of these two branches of pomegranates the almost

early was not fixed, and on our conclusions grows out of boundary division of ultramafitovy magma into kimberlitovy and karbanatitovy components.

Keywords. Kimberlite, pyrop, almandin, andradite, grossular, spessartine.

1. Введение

Работа выполнена на рентгеновском микроанализаторе Суперпроб JXA-8230. Параметры изучения: ускоряющее напряжение тока пучка 20 kV, сила тока 100 nA, время измерения 70 сек., абсолютная погрешность <0.01%. Ниже на (рисунок 1) по линии от центра к краю изучен состав зерна граната.

2. Результаты исследований

На треугольной диаграмме (рисунок 1) область группы гранатов – С по (Taylor and Neal, 1989) включает гранаты из гроспидитов, корундовых и коэсит-корундовых эклогитов.

Последовательно, как показано на диаграмме происходит преобразования граната. По классификации Dawson J.B. and Stephens W.E. [1] происходит изменение составов от G5 – G3 – G4 – G6. Группа G5 - этой группе относятся гранаты с высоким содержанием FeO (в среднем 28,3%) Группа G3. к данной группе можно отнести зерна с наиболее высокими содержаниями FeO и CaO. Группа G4 группа характеризуется повышенными содержаниями FeO и TiO₂. Группа G6 - высокие содержания CaO и FeO и MgO.

На рисунке зафиксирован переход состава спессартин-гроссуляр-пироп-альмандин - $Mn_{0,09}Ca_{0,12}Mg_{0,8}Fe_{1,9}Al_2Si_{2,95}O_{12}$ в пироп-гроссуляр-андрадит - $Mg_{0,8}Ca_{2,9}Fe_{1,5}Si_{2,85}O_{12}$. По линии от центра к краю выполнены количественные определения состава (таблица 1).

3. Выводы

Отмеченные нами преобразование в зерне граната в краевой его зоне характерны для образования карбонатита, которые образуются при малых степенях плавления карбонатсодержащей метасоматизированной мантии.

Результаты изучения кимберлитов [2] показали, что эти породы могут быть получены из метасоматизированных карбонатсодержащих

лерцолитов и эклогитов в основании литосферной мантии. При повышении степени частичного плавления и ассимиляции силикатных минералов литосферной мантии вблизи источника также при движении к поверхности расплав становится кимберлитовым по составу.

Таблица 1

**Составы гранатов выполнены в 15 точках по линии от центра
края зерна граната**

№	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO+Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	Сумма
1	37,0	0,00	21,5	0,0	31,0	1,3	7,1	1,4	0,03	99,3
2	37,3	0,00	21,4	0,1	30,8	1,3	7,1	1,3	0,02	99,3
3	37,0	0,00	21,6	0,0	31,0	1,3	7,3	1,2	0,02	99,3
4	37,4	0,00	22,0	0,1	29,8	1,3	7,5	1,3	0,00	99,2
5	37,6	0,01	22,0	0,1	29,5	1,2	7,5	1,3	0,02	99,3
6	38,1	0,01	21,4	0,0	29,2	1,3	7,6	1,5	0,02	99,3
7	38,4	0,07	19,1	0,1	29,1	1,1	6,5	5,2	0,04	99,5
8	36,8	0,37	13,4	0,0	27,0	0,7	3,9	15,5	0,04	97,7
9	35,1	0,98	8,8	0,1	24,4	0,3	2,3	24,4	0,03	96,3
10	33,9	1,42	6,3	0,2	23,7	0,2	1,5	30,3	0,02	97,5
11	33,4	1,42	5,7	0,1	23,5	0,1	1,4	31,6	0,00	97,3
12	33,5	1,29	5,6	0,2	23,3	0,1	1,5	32,4	0,01	98,0
13	33,3	0,96	5,8	0,1	23,2	0,1	1,7	32,3	0,02	97,6
14	33,9	0,62	6,3	0,2	22,8	0,1	2,2	31,4	0,02	97,7
15	34,4	0,40	6,6	0,1	22,6	0,1	2,2	31,7	0,06	98,1

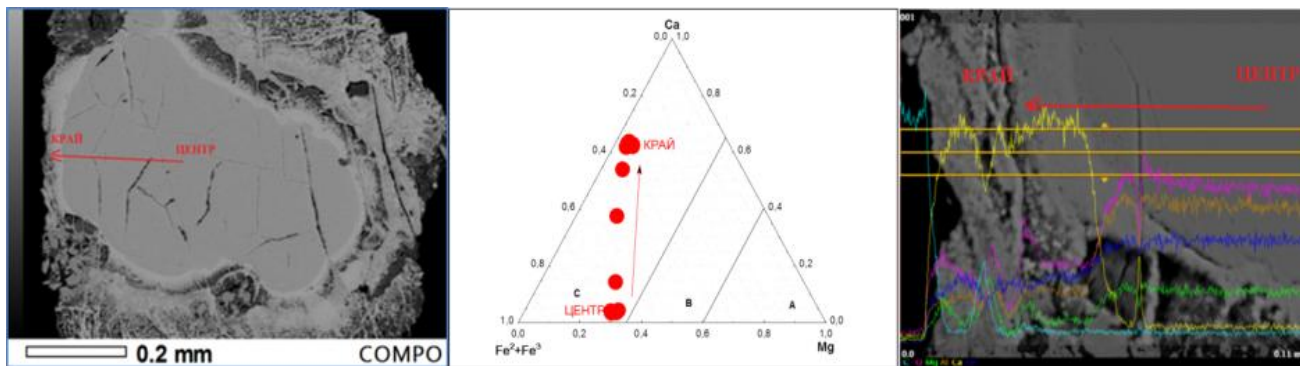


Рисунок 1. Слева – фотография зерна в фазовом контрасте (COMPO). В центре - треугольная диаграмма изменения состава эклогитового граната по трендовой линии зерна от центра к краю и справа – тренды линии характеристических импульсов по основным элементам: С - голубая, О - лиловая, Mg - зеленая, Al - коричневая, Са - желтая, Fe - синяя.

4. Литература:

- [1] Dawson J.B., Stephens W.E. Statistical classification of garnets from kimberlite and associated xenoliths // J. Geol., 1975, V. 83. P. 589-607.
- [2] Pohilenko N.P., Agashev A.M., Litasov K.D., Pohilenko L.N. Relationship of carbonatite metasomatism of depleted peridotites of the lithospheric mantle with diamond formation and carbonatite-kimberlite magmatism. Geology and Geophysics, 2015, vol. 56, no. 1-2, pp. 361-383/

УДК 551.24:550.93

ДАТИРОВКИ КИМБЕРЛИТОВ U-Pb МЕТОДОМ ПО ЦИРКОНАМ: ВОЗМОЖНОСТИ И ВОЗМОЖНЫЕ ОШИБКИ

Валентин Афанасьев

ФГБУН Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН,
630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3

KIMBERLITES DATING BY U-Pb METHOD BY ZIRCON: POSSIBILITIES AND PROBABLE MISTAKES

Valentin Afanasiev

V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy Siberian Branch Russian
Academy of Sciences, 3 ave. Akademika Koptyuga, Novosibirsk, 630090,
Russia

Annotation. The article discusses the accuracy of the age dating of placer kimberlites by U-Pb method by zircons. The contradictions between these and geological data are given. The question is raised whether a significant part of the zircons comes from the placers of the non- kimberlite sources yet unknown.

1. Введение

Для определения возраста магматических объектов широко используются изотопные датировки. В частности, для определения возраста кимберлитов используются датировки U-Pb методом по цирконам. Первые датировки этим методом были получены Г.Л. Дэвисом в 1980 году с помощью «мокрой» геохимии [1]. В настоящее

время «мокрая» геохимия для изотопных исследований не используется, применяется протонный зонд, либо массспектрометрия с лазерной абляцией, и методика определений вполне надежна. Но большое количество полученных к настоящему времени датировок, в частности, по цирконам из россыпей северо-востока Сибирской платформы, не вписываются в геологическую обстановку, а в ряде случаев и противоречат ей. В связи с этим возникает вопрос не *как мы меряем, а что мы меряем.*

2. Результаты исследований

Цирконы из кимберлитов как правило имеют неправильную форму, часто округлены, видимо, магматическим расплавом, прозрачные, бесцветные либо с золотистым, коричневатым оттенком, с шероховатой поверхностью. В большинстве кимберлитовых тел цирконов весьма мало, и нужно пересмотреть большое количество концентрата, чтобы найти кристаллы для анализа возраста. Между тем, во многих россыпях и ореолах по Сибирской платформе встречается довольно большое количество цирконов, по внешнему облику полностью соответствующих кимберлитовым. Этого сходства считается достаточным для отнесения цирконов к кимберлитовым, и по ним определяется возраст их коренных источников. Полученные оценки возраста широко используются для прогнозирования кимберлитовых тел. И здесь появляются противоречия, на которые мало кто обращает внимание из-за слепой веры в аналитические данные.

Противоречие 1. В россыпях, особенно по северо-востоку Сибирской платформы, количество цирконов «кимберлитового» типа повышенное; в россыпи реки Эбелях цирконы добываются как попутное ювелирное сырье вместе с алмазами. В то же время в известных здесь сотнях кимберлитовых тел разного возраста цирконов очень мало, и они не в состоянии обеспечить россыпные концентрации цирконов. Вопрос: либо цирконы из неуловимых на протяжении полустолетия кимберлитовых тел, богатых цирконами, либо не из кимберлитов?

Противоречие 2. Подавляющее большинство цирконов из россыпей северо-востока платформы показывают юрский возраст коренных источников, значительно меньше триасовый и единичные – пермский(?!). Нет ни одной датировки, соответствующей среднепалеозойским кимберлитам. Между тем, наши исследования

индикаторных минералов и алмазов, собранных в ходе полевых работ в бассейнах рек Анабар и Уджа на Анабаро-Уджинском междуречье, включая россыпь реки Эбелях, определенно показали наличие здесь среднепалеозойских алмазоносных кимберлитов, тогда как минералы юрских кимберлитов в полученных пробах никак не видны [2]. Парадоксальная ситуация: в изобилии представленный материал среднепалеозойских кимберлитов не сопровождается соответствующими цирконами, а цирконы юрские и не сопровождаются индикаторными минералами юрских кимберлитов. Но кимберлиты не могут быть представлены только цирконами, без других глубинных минералов! Это прямо указывает на то, что цирконы происходят из других пород!

Мы не знаем, какие породы на северо-востоке платформы могут быть источниками цирконов «кимберлитового» типа. Но в других регионах они есть. Например, трубки щелочных базальтоидов Сирии содержат совершенно такие же по визуальным признакам цирконы. Они известны нам в районе золотого прииска Незаметнинский на Сихотэ-Алине. Мы полагаем, что цирконы из россыпей могут играть роль ложных индикаторов кимберлитов, как хромиты «курунгского» типа, детально описанные нами.

Мезозойские датировки, полученные по цирконам из россыпей северо-востока Сибирской платформы, сыграли негативную роль в прогнозе источников алмазов в россыпях, поскольку психологически дискредитировали среднепалеозойскую, единственно промышленную, эпоху кимберлитового магматизма, и навели на мысли о неких экзотических молодых источниках алмазов.

3. Выводы

Указанные противоречия требуют тщательного анализа, поскольку от этого зависит применимость метода датировок кимберлитов по цирконам из россыпей. Необходимо тщательно изучить типоморфизм цирконов из кимберлитов и цирконов из россыпей, сопоставить с цирконами из других типов коренных источников.

4. Благодарности

Работа выполнена в рамках Госзадания ИГМ СО РАН № 0330-2019-0006 и гранта РФФИ № 18-05-70063.

5. Литература:

[1] Davis G.L., Sobolev N.V., Kharkiv A.D. New date on the age of Yakutian kimberlites obtained by the uranium-lead method of zircons // Dokl. Academ. Nauk SSSR, 1980, vol. 254, pp. 53-57 (in Russian).

[2] Afanasiev V.P., Pokhilenko N.P., Grinenko V.S., Kostin A.V., Malkovets V.G., Oleinikov O.B. // Kimberlitic magmatism in the southwestern flank of the Vilui basin. Dokl. Academ. Nauk. 2020, vol. 490, pp. 1–5 (in Russian).

УДК 549.211

КОНТАМИНАЦИЯ В АЛМАЗНОЙ МИНЕРАЛОГИИ: ПУТИ И ЗНАЧЕНИЕ

Валентин Афанасьев, Николай Похиленко

ФГБУН Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН,
630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3

CONTAMINATION IN DIAMOND MINERALOGY: WAYS AND SIGNIFICANCE

Valentin Afanasiev, Nikolay Pokhilenko

V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy Siberian Branch Russian
Academy of Sciences, 3 ave. Akademika Koptuyuga, Novosibirsk, 630090,
Russia

Annotation. Contamination of geological bodies can be either natural or manmade. The natural contamination is not necessarily negative but has to be taken into account. The manmade contamination consists in uncontrolled inputs of extraneous material into the environment during various industrial processes, which causes negative effects. Understanding of possible contamination ways and consequences is of crucial importance. Different types of contamination are illustrated with examples.

1. Введение

Контаминация, т.е. попадание в объект материала, не свойственного этому объекту, явление очень широко распространенное, однако

теоретически слабо изученное. Между тем, контаминация при изучении объектов играет огромную роль в принятии решений, в формулировках выводов об объекте, в прогнозах и т.д. Контаминация чаще играет отрицательную роль, но во многих случаях и положительную – это зависит от понимания термина и его учета. В алмазной геологии контаминация также играет большую роль, но, как правило, понимается в отрицательном контексте. Нами опубликована большая статья, посвященная фактам контаминации геологических материалов синтетическими алмазами, принимаемыми за природные, что приводило к ошибочным выводам в отношении алмазности пород. Но, работая над проблемой контаминации, мы пришли к более широким выводам, касающимся не только техногенного заражения – откровенно негативного явления. Эти взгляды изложены ниже.

2. Результаты исследований

Нами выделяются две формы контаминации – природная и техногенная. Природная контаминация – процесс естественный и по сути своей не несет негативной нагрузки, важно только понимать это явление. Термин парагенезис: сообщество генетически единых минералов; здесь не предусмотрена природная контаминация, если только синтетический алмаз из камнерезной пилы не попадет в породу и не будет принят за элемент парагенезиса. С ним в паре существует термин парастерезис - закономерное сообщество генетически различных минералов в едином носителе, - это и есть понимание природной контаминации. Кимберлит – типичный парастерезис, где в едином носителе – кимберлитовой магме – содержится масса генетически разнородных минералов. Это естественное явление, но сколько споров и ошибочных решений оно породило! – вспомним ранние гипотезы о кристаллизации кимберлитовых минералов из кимберлитовой магмы, лишь позднее пришло понимание ксеногенности многих минералов, но и до сих пор не все в этом вопросе ясно. Процесс переотложения кимберлитовых минералов из древних отложений в более молодые – природная контаминация молодых осадков древними минералами, но роль переотложения была осознана благодаря нашим усилиям лишь в 70-е годы прошлого столетия, до того все минералы считались продуктами прямого сноса с кимберлитов и соответственно ориентировались поисковые работы. До сих пор все алмазы в россыпях северо-востока Сибирской платформы считаются происходящими их фанерозойских

кимберлитов, но нами обосновывается факт контаминации этих россыпей алмазами из докембрийских коренных источников, попавших в молодые россыпи при размыве древних россыпей на выступах докембрия. Палинологический метод определения возраста осадков: микрофоссилии могут диффундировать с грунтовыми водами в подстилающие отложения и «омолаживать» их, что приводит к ошибкам стратиграфического характера и, соответственно, искажению геологической ситуации. Соль в кимберлитах: геологи, изучавшие промышленные месторождения алмазов, не обращали на нее внимания, потому что знали - она попадает в кимберлит из вмещающих пород, т.к. в кембрии имеются слои галита. Но это не интересно, некоторым исследователям предпочтительнее признать соль мантийной, тогда открывается огромное поле для детального изучения.

Примеры можно продолжать до бесконечности, потому что такого рода контаминация – естественный процесс и практически нет «чистых» объектов без контаминации в том или ином виде.

Техногенная контаминация – неконтролируемое заражение изучаемого объекта посторонним материалом. Пути техногенного заражения неисповедимы, их трудно классифицировать или группировать, постоянно появляются новые, совершенно неожиданные. В алмазной геологии это чаще всего заражение проб абразивным материалом из камнерезного инструмента, часто алмазами из бурового инструмента. Грязный пробоотбор: складирование керна в незачищенный ящик, складирование пробы на незачищенное место на рудном дворе, наработка пробы с захватом постороннего материала и т.д. Заражение в лаборатории: на ситах, за счет путаницы проб, плохо зачищенной посуды и т.д. На обогатительной фабрике – один из наиболее распространенных путей контаминации алмазами и индикаторными минералами при обработке крупных проб. Такие находки чаще всего бывают неожиданными, изумляют и возбуждают желание сразу опубликовать факт находки с результатами детального изучения и формулировкой сногшибательных генетических построений, поскольку находки как правило не вписываются в существующие представления. Вот статья о находке муассанита в фумарольных площадках толбачинских вулканов в парагенезисе в галитом (!): муассанит, по мнению автора, образуется пневматолитовым путем при температуре 1200С (!). При этом автор статьи приводит фото осколков «муассанита»

(а правильно, абразивного материала карборунда), не понимая, что на месте формирования муассанит должен быть хорошо образованным кристаллом, а не осколком. Другой автор находит с помощью электронного микроскопа таллий на поверхности пикроильменита из старых проб, пишет обширную статью о роли таллия в кимберлите, не догадываясь, что таллий – остатки жидкости Клеричи, которую раньше широко использовали для отсадки тяжелых минералов, и внутри зерен пикроильменита таллия не будет. Давно существующая проблема алмазов в камчатских вулканах: сколько находок, сколько статей! – и ни одного воспроизведения находок другими исследователями! А ведь критерием истинности в данном случае будет именно воспроизведение находок алмазов, причем другими исследователями, и неоднократное. И так далее. При этом возможность заражения как правило даже не предполагается. Некомпетентность? Некритичность? Таких работ много, и другие исследователи ссылаются на них, умножая дезинформацию. Никаких строгих рецептов для понимания и учета контаминации, как природной, так и техногенной, не существует. Необходима постоянная психологическая готовность выйти за рамки изучаемого объекта и рассмотреть на него в реальном окружении. Мы ставим вопрос, но решать его каждый должен сам и нести ответственность за публикации, потому что научным публикациям мы должны доверять.

3. Выводы

Контаминация – чрезвычайно широко распространенное явление. Природную контаминацию мы должны учитывать в любом объекте, понимать ее роль, использовать в генетических построениях. Техногенная контаминация опасна тем, что вследствие ее формулируются «открытия» из-за наблюдаемых парадоксальных связей объектов, и сведения об этих «открытиях» тиражируются. Необходима здоровая критичность к себе, постоянная настороженность в отношении возможности контаминации. Это нормальная научная этика.

4. Благодарности

Работа выполнена в рамках Госзадания ИГМ СО РАН № 0330-2019-0006 и гранта РФФИ № 18-05-70063.

ОТРАЖЕНИЕ НЕОДНОРОДНОСТИ АЛМАЗА В РАЗНЫХ МЕТОДАХ ИССЛЕДОВАНИЯ

Валентин Афанасьев¹, Саргылана Угапова², Юрий Бабич¹,
Александр Елисеев¹, Сергей Горяйнов¹

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

² ФГБУН Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН,
677000, Россия, г. Якутск, пр-т Ленина, 39

REFLECTION OF STRUCTURAL HETEROGENEITY OF DIAMOND IN VARIOUS RESEARCH METHODS

Valentine Afanasiev¹, Sargylana Ugapova², Yuri Babich¹,
Alexander Eliseev¹, Sergey Goryainov¹

¹ V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy Siberian Branch Russian
Academy of Sciences, 3 ave. Akademika Koptyuga, Novosibirsk, 630090,
Russia

² Diamond and Precious Metals Geology Institute, Siberian Branch, Russian
Academy of Sciences, 39 Lenina ave., Yakutsk, 677000, Russia

Annotation. Diamond is one of the few mantle minerals that preserves growth zoning. In addition to diamond growth zoning is well developed in zircon. Other mantle minerals present in kimberlites do not have growth zoning, it was destroyed by later recrystallization processes under the influence of various external factors. The structure of diamond is also subject to some changes, in particular, associated with the processes of aggregation of structural admixture of nitrogen and with plastic deformation. Growth zoning in these processes is usually preserved. Diamonds are formed in a very wide range of conditions, and the zoning of diamonds reflects these conditions. This study shows another example of a detailed study of the growth zoning of a diamond crystal.

1. Введение

Алмаз, как и любой другой минерал, содержит разнообразные дефекты, как примесные, так и структурные, отражающие историю и условия

роста кристалла. Дефекты выявляются разными методами, которые избирательны и фиксируют ограниченное количество дефектов, будучи нечувствительными к другим. Но кристалл – единая система, и неизбежно взаимовлияние дефектов структуры. В данной работе приводятся результаты исследования дефектов одного кристалла алмаза разными методами и их сопоставление между собой.

2. Материал и методы исследования

Комплексом методов (катодолюминесценция, селективное травление, ИК - спектроскопия, рамановское картирование, аномальное двупреломление) исследована алмазная пластинка, вырезанная по (001), размером 2.0x1.8x0.57мм. В центральной части пластинки располагается небольшое включение хромита.

3. Результаты исследования

Полученные картины катодолюминесценции и структурного травления (рисунок 1) показывают полную аналогию и отражают сложную историю роста алмаза, в которой можно выделить три основных этапа: зарождение и рост в форме октаэдра → переогранение в кубоид → переогранение в октаэдр. Ямки травления на картине структурного травления соответствуют точечным дефектам структуры, ответственным, в том числе, за катодолюминесценцию, а плотность их распределения – концентрации таких дефектов. Максимальная концентрация дефектов присутствует в центральной зоне кристалла.

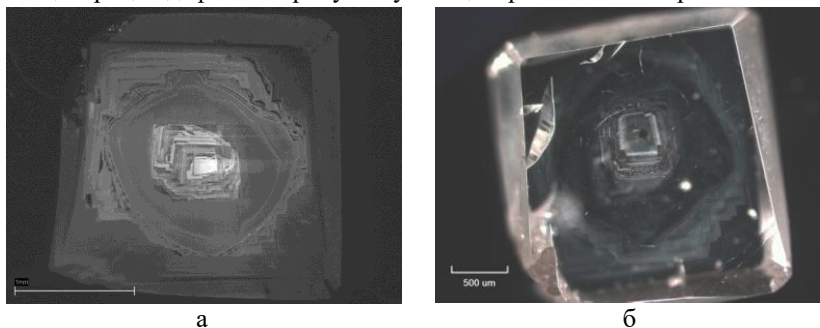


Рисунок 1. Картины катодолюминесценции (а) и структурного травления (б)

Средняя зона кристалла, соответствующая росту по кубу, имеет минимальное количество точечных дефектов, не видны ни зоны, ни сектора роста, нет характерного для кубоидного роста волокнистого строения. Новый этап смены условий роста и переограниение кубоида в октаэдр сопровождается увеличением концентрации дефектов и зоны роста хорошо выражены.

По данным ИК- исследования азот в образце присутствует в форме А- и В-дефектов. Суммарное содержание азота в виде А и В дефектов в образце варьирует от 115 до 1400 ppm. При этом его распределение по монокристаллу неоднородно. В центральной области, соответствующей росту по октаэдру, наблюдается высокое содержание общего азота - до 1280 ppm. Оно значительно снижается в переходной зоне кристалла, соответствующей росту кубоида, до 120-500 ppm. В периферийной зоне кристалла содержание азота вновь повышается и достигает в ряде внешних областей уровня 1200-1400 ppm. Пик плейтлитс (В'), связанный с пластинчатыми выделениями в плоскостях куба, являющимися побочным продуктом образования азота в В-форме, также проявляется в образце неоднородно. Его интенсивность, наибольший уровень которой отмечается в центральной высокоагрегированной по азоту области кристалла (53 см^{-1} в максимуме, 950 см^{-2} интегральная), снижается до минимальных величин по мере понижения степени агрегирования в средней и периферийной областях кристалла.

Алмаз образуется в условиях мантии при высоких давлении и температуре. Поэтому при выносе кимберлитом на поверхность при декомпрессии и закалке, а также вследствие присутствия в кристалле примесных дефектов и включений, в нем образуется поле напряжения, выражающееся в аномальном двупреломлении, наблюдающемся в поляризованном свете. Исследованная пластинка также показывает аномальное двупреломление, причем его картина в целом отражает выше описанную неоднородность, связанную с распределением примесных дефектов: выделяется центральная зона, промежуточная, связанная с переогранкой в кубоид, и внешняя, снова соответствующая росту по октаэдру. Вокруг включения хромита в центральной части пластинки видно локальное поле аномального двупреломления, связанное с различиями в коэффициентах термического расширения

алмаза и хромита, из-за чего хромит в алмазе находится под значительным давлением.

Спектр комбинационного рассеяния (КР) алмаза практически не чувствителен к описанным выше структурным неоднородностям в пределах пластинки и характеризуется основной линией алмаза 1332 см^{-1} . Но вокруг включения хромита в центральной части пластинки существует поле высокого напряжения, которое отражается, как сказано выше, в картине аномального двупреломления.

3. Выводы

Изученный кристалл является примером трехзонного строения природных алмазов из кимберлитов, его внутреннее строение четко делится на центральную, промежуточную и периферийную зоны. Эта зональность отразилась во всех методах исследования, за исключением рамановской спектроскопии, которая показала лишь поле напряжения вокруг включения хромита. Зональность кристалла, а также различия зон по морфологии и характеру дефектов, выявленные разными методами, свидетельствуют о значительных различиях условий на протяжении роста кристалла. Проведенные исследования показывают сложную историю роста алмаза и смену условий роста на разных этапах. Вероятно, играли роль и послеростовые условия существования кристалла, которые не обеспечили высокий уровень агрегирования азота в средней и периферической зонах кристалла. Неожиданной оказалась бесструктурность средней зоны, соответствующей по форме роста кубоиду, у нее не видна ни зональность, ни секториальность, ни проявления волокнистого роста, которые видны обычно у кубоидов, хотя округлый внешний контур этой зоны указывает именно на кубоидный, скорее фибриллярный, а не послыйный рост. Можно лишь предположить, что при низкой концентрации структурной примеси азота элементы роста не видны, либо произошла гомогенизация этой зоны при последующем отжиге.

4. Благодарности

Работа выполнена в рамках госзаданий ИГМ СО РАН, ИГАБМ СО РАН

**ПЕРСПЕКТИВЫ НАЛИЧИЯ (ОБНАРУЖЕНИЯ)
КРУПНЫХ АЛМАЗОВ В КИМБЕРЛИТОВЫХ
ТРУБКАХ ЯКУТИИ**

Леонид Бардухинов, Здислав Специус

Научно-исследовательское геологическое предприятие АК «АЛРОСА»
(ПАО), 678170, Россия, г. Мирный, Чернышевское шоссе, 16

**PROSPECTS FOR THE PRESENCE (DETECTION) OF
LARGE DIAMONDS IN THE KIMBERLITE PIPES OF
YAKUTIA**

Leonid Bardukhinov, Zdislav Spetsius

Scientific-Investigation Geology Enterprise AC «ALROSA»,
16 Chernyshevskoye Highway, Mirny, 678170, Russia

Annotation. A historical overview of the production of large diamonds in Yakutia is given. Deposits with the highest content of extracted large crystals are identified. A correlation has been established between the number of large diamonds produced and the diamond grade of the Deposit. Diamonds from the geological collections of kimberlite pipes in the Yakutian diamond province were studied using infrared spectroscopy. The difference between diamonds from pipes with reduced and high content of large diamonds and degree of nitrogen aggregation are discussed. It is shown on the Taylor diagram that diamonds of highly productive kimberlites form a diamond population with an aggregation state of nitrogen impurity mainly from 15 to 40%.

1. Введение

В прошлом веке малопродуктивные кимберлиты с очень низким содержанием карат алмазов на тонну обработанной руды не представляли интереса для крупных мировых компаний в плане их разработки в силу экономической нерентабельности. Переломным моментом во взглядах на перспективность освоения таких месторождений послужило обнаружение в низкопродуктивных телах

Кагове (Ботсвана) и Letseng (Лесото) крупных и одновременно дорогостоящих алмазов, где общее содержание алмазов в кимберлитах невысокое (несколько десятков карат на 100 т породы), однако повышенное содержание крупных алмазов и кристаллов хорошего качества. В связи с особенностью крупных алмазов, мировое научное сообщество выделяет их в отдельную группу [1-2] для таких алмазов принято применять аббревиатуру «CLIPPIR» (Cullinan-like, Large, Inclusion-Poor, Pure, Irregular, and Resorbed), что соответствует их основным характеристическим особенностям (Подобный Куллиану, огромный, бедный на включения, чистый, нерегулярный и резорбированный).

Изучение крупных алмазов весьма проблематично, особенно разрушающими методами, в следствие их высокой стоимости и ограниченного доступа к ним. Исследованию крупных алмазов посвящено небольшое количество публикаций, где предпринята попытка, на основании исследования включений, установить генезис таких алмазов. Доказано, что крупные алмазы кристаллизовались в низкой окислительно-восстановительной обстановке из металлической жидкой фазы, что установлено на определении характеристик включений затвердевшего железо-никель-углерод-серного расплава, сопровождаемого тонким жидким слоем метана-водорода, и иногда мэйджоритовым гранатом [3]. Довольно часто, в работах сообщается о сверхглубоком происхождении алмазов-гигантов, доказательством чего может служить отсутствие включений [4]. Большинство таких алмазов обычно безазотные, так сообщается [5], что крупные алмазы из кимберлитов Кагове в основном не содержат азота и относятся к типу Па по физической классификации, либо содержат азот в высоко агрегированной форме (тип IaB). В тоже время, ранее установлено, что встречаются литосферные алмазы перидотитовых и эклогитовых парагенезисов, относящиеся к типу Па [2]. На представительной коллекции показано [6], что доля алмазов типа Па резко возрастает при рассмотрении только крупных алмазов.

В последние годы на примере изучения включений алмазов из кимберлитов Кагове было показано, что в основном это эклогитовые алмазы (53%), несколько меньше алмазов перидотитового парагенезиса (44%), всего 2 % алмазов с признаками сублитосферного происхождения. Индивидуальным отличием месторождения Кагове

можно считать наличие алмазов с включениями эклогитового мэйджоритового граната [7].

Обнаружение крупных алмазов весьма сложная задача, как с точки зрения поисковой геологии, так и для решения научных задач по их генезису и критериям их наличия в кимберлитах. Для того чтобы оценить кимберлитовое тело на перспективность обнаружения алмазов-гигантов требуется колоссальное вложение средств на эксплоразведочные работы, такие алмазы достаточно редкие и спрогнозировать наличие их в конкретных пробах, с учетом большой неопределенности, достаточно сложная задача.

2. Результаты исследования

В месторождениях Якутской алмазоносной провинции по состоянию на конец 2018 года было добыто 610 алмазов с массой выше 50 карат. Среди лидеров по количеству таких алмазов, можно выделить следующие месторождения: Юбилейная 220, Удачная 122, Мир 103, Интернациональная 28, Нюрбинская 31, Сытыканская 20, Айхал 17.

В настоящее время, самым крупным алмазом, найденным на территории Якутии, считается кристалл, извлеченный в 2013 году на трубке Юбилейная весом 401,96 карат. Второе почетное место по массе принадлежит алмазу весом 363,36 карат, который добыт на месторождении тр. Нюрбинская в 2005 году. Замыкает тройку лидеров – легендарный алмаз весом 342,5 карат, извлечённый в 1981 году на трубке Мир, алмазу было присвоено имя XXVI съезд КПСС.

Следует отметить, что абсолютным лидером среди месторождений Якутии по среднему весу добытых крупных алмазов признана кимберлитовая трубка Нюрбинская. За последние 18 лет добычи наиболее успешными годами по общему среднему весу добытых алмазов можно считать 2016 и 2018 г

По данным отдела эксплуатационной геологии АК «АЛРОСА» (ПАО) количество обработанной руды коренных месторождений за период с 2001 по 2018 г. составляет (тыс. тонн): Юбилейная – 85 800, Удачная – 42 096, Зарница – 21 474, Нюрбинская – 13 754, Комсомольская – 9 223, Интернациональная – 5 511 и Мир – 4 658. Нами произведено нормирование количества крупных кристаллов для вышеуказанных тел с учетом обработанной руды за период с 2001 по 2018 г. Полученные значения хорошо коррелируют с алмазоносностью месторождений, в тоже время необходимо отметить, что для трубок Юбилейная и

Комсомольская можно наблюдать повышенное количество крупных алмазов на миллион тонн руды в сравнении с их относительно низкой алмазоносностью.

С целью выяснения особенностей кристаллов, определяющих повышенное содержание крупных алмазов, нами изучены и проанализированы некоторые характеристики физических свойств кристаллов алмаза из геологических коллекций кимберлитовых трубок Зарница, Нюрбинская, Мир, Удачная, Юбилейная, Комсомольская и Интернациональная. Это позволило оценить вероятную специфику этих алмазов, что можно использовать для оценки наличия крупных алмазов в кимберлитах.

3. Выводы

Вероятность обнаружения крупных алмазов в низкопродуктивных телах (менее 1 кар/т) ЯАП повышена в трубках с высоким процентным содержанием (25-45%) низкоазотных алмазов (менее 100 ppm). С ростом доли низкоазотных алмазов в кимберлитовых трубках обычно снижается алмазоносность месторождений в целом.

4. Литература:

- [1] Bowen D.C., Ferraris R.D., Palmer C.E., Ward J.D. () On the unusual characteristics of the diamonds from Letseng-la-Terae kimberlites, Lesotho // Lithos. 2009. Vol. 112S, P. 767–774.
- [2] Moore A.E. The origin of large irregular gem-quality type II diamonds and the rarity of blue type IIb varieties // South African J Geol. 2014. V.117 P..219–236.
- [3] Evan M. Smith, Steven B. Shirey, Fabrizio Nestola, Emma S. Bullock, Jianhua Wang, Stephen H. Richardson and Wuyi Wang. Large gem diamonds from metallic liquid in Earth's deep mantle// Science, 2016. V. 354 (6318). P.1403-1405.
- [4] Smith EM, Shirey SB, Nestola F, Bullock ES, Wang J, Richardson SH, Wang W () Large gem diamonds from metallic liquid in Earth's deep mantle// Science 2016. V. 354. P.1403–1405.
- [5] D'Haenens-Johansson UFS, Smith EM, Smit KV, Wang W, Moses TM The 812-carat pure Type IaB constellation diamond from Karowe- Part of an even larger rough? // Extended Abstracts, 11th Intern.Kimb. Conf, 2017. Gaborone, Botswana, 11IKC-4611.

[6] Evan M. Smith, Steven B. Shirey, and Wang W. The very deep origin of the world's biggest diamonds //Gems & Gemology. 2017. V.July, , P. 388-403.

[7] Motsamai T., Harris J.W., Stachel T., Pearson D.G., Armstrong J. Mineral inclusions in diamonds from Karowe Mine, Botswana: super-deep sources for super-sized diamonds? / Mineralogy and Petrology. 2018, с.

УДК 550.4:549.621.9:553.81

**ХИМИЗМ ГРАНАТОВ ИЗ ТРУБКИ
СЮЛЬДЮКАРСКАЯ: ПРИЛОЖЕНИЯ
К ГЛУБИННОМУ СТРОЕНИЮ И
МЕТАСОМАТИЧЕСКИМ ПРОЦЕССАМ В МАНТИИ**

Анастасия Гибшер^{1,2}, Владимир Мальковец^{1,2}, Игорь Яковлев²,
Bill Griffin³, Lynthener Takenakade Oliveira³, Татьяна Старкова¹,
Лариса Муллаярова¹, Константин Гаранин⁴

¹ Научно-исследовательское геологическое предприятие АК «АЛРОСА»
(ПАО), 678170, Россия, г. Мирный, Чернышевское шоссе, 16

² ФГБУН Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН,
630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3

³ GEMOC/CCFS ARC National Key Centre, Macquarie University, Sydney,
Australia

⁴ АК «АЛРОСА», Россия, г. Мирный, ул. Ленина, 6

**CHEMISTRY OF GARNET FROM SULDUKAR PIPE:
APPLICATIONS TO DEEP STRUCTURE AND MANTLE
METASOMATIC PROCESSES**

Anastasia Gibsher^{1,2}, Vladimir Malkovets^{1,2}, Igor Yakovlev², Bill Griffin³,
LynthenerTakenaka de Oliveira³, Tatiana Starkova¹, Larisa Mullayarova¹,
Konstantin Garanin⁴

¹ Scientific-Investigation Geology Enterprise AC «ALROSA», 16
Chernyshevskoye Highway, Mirny, 678170, Russia

² V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy Siberian Branch Russian
Academy of Sciences, 3 ave. Akademika Koptyuga, Novosibirsk, 630090,
Russia

³ GEMOC/CCFS ARC National Key Centre, Macquarie University, Sydney, Australia

⁴ ALROSA Co Ltd., 6 Lenina st., Mirny, Russia

Annotation. The work presents the results of a study of geochemical characteristics of garnet xenocrysts from the Middle Paleozoic low diamondiferous kimberlite pipe Suldukar, Ygyatta diamondiferous region, Siberian craton. Using a monomineral Ni-in-Gar thermometer and a Cr-in-Gar barometer, it was found that the Middle Paleozoic paleogeotherm of the Suldukar kimberlites at $T < 900^{\circ}\text{C}$ corresponds to a heat flux of 35 mW/m² and is a typical “cold” craton geotherm. At temperatures of $\sim 900^{\circ}\text{C}$ (~ 145 -150 km), a geotherm has a kink which is associated with strong heating of the lithosphere base by deep silicate melts. Due to the kink of the geotherm, the maximum depth of the tested mantle column is ~ 180 -190 km. On the Y-Zr diagram, most garnets fall both in the region of depleted compositions and in the region of compositions metasomatized by deep silicate melts. According to the data obtained, the low diamond grade of the kimberlites of the Suldukar pipe is due to both the low thickness of the “diamond window” (~ 12 kbar or ~ 39 km), as well as with a high degree of superimposed metasomatic transformations in the deep part (> 50 kbar) of the section by silicate melts, which led to dissolution diamonds.

1. Введение

Трубка Слюдюкарская открыта в 2015 году при заверке аэромагнитной аномалии Т-54-14 в Ыгыаттинском алмазоносном районе. Трубка состоит из двух сопряженных тел – западного и восточного, петрографическая характеристика, минералогический, геохимический состав и алмазоносность которых описана в работах [1-5]. В данной работе впервые представлены результаты высокоточного изучения и интерпретации микроэлементного состава хромистых пиропов из трубки Слюдюкарская с целью выявления деталей глубинного строения мантийной колонны и особенностей метасоматических процессов в литосферной мантии.

2. Результаты исследований

В данной работе мы приводим результаты геохимических исследований 292 зерен гранатов (западное тело $n=225$; восточное тело $n=67$) выполненных методом индуктивно-связанной плазменной масс-спектрометрии (ICPMS Agilent 7900cs) с лазерным пробоотборником Photon Machines в Университете Маккуори, Сидней, Австралия. Обработка геохимических данных и построение глубинного разреза было проведено совместно для гранатов восточного и западного тел в соответствии с методиками, описанными в работе [6].

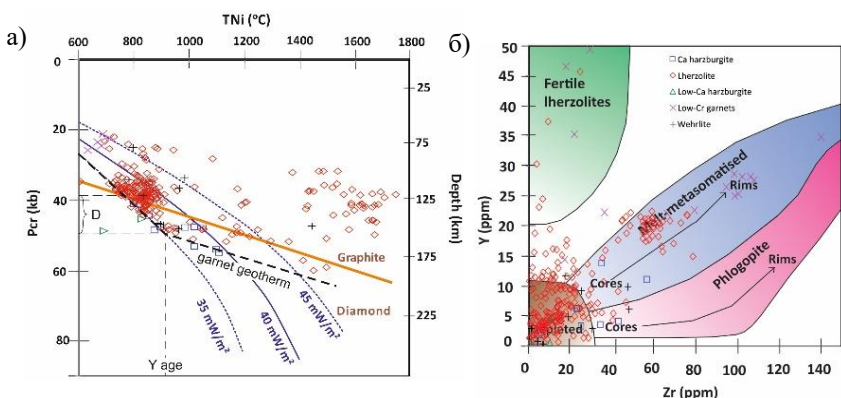


Рисунок 1. Положение гранатов из трубки Сюльдюкарская на PT диаграмме и реконструкция среднепалеозойской палеогеотермы (а) и Y-Zr диаграмме (б). D – «алмазное окно».

С использованием мономинеральных Ni-in-Gar термометра и Cr-in-Gar барометра была рассчитана среднепалеозойская палеогеотерма на момент внедрения кимберлитов трубки Сюльдюкарская (Рисунок 1а). Рассчитанная палеогеотерма при $T < 900^\circ\text{C}$ соответствует тепловому потоку 35 mW/m^2 и является типичной «холодной» кратонной геотермой. При температурах 900°C ($\sim 145\text{-}150 \text{ км}$) отмечается излом геотермы связанный с сильным разогревом основания литосферы глубинными расплавами. С учетом излома геотермы, максимальная глубина опробованной мантийной колонны составляет $\sim 180\text{-}190 \text{ км}$. На Y-Zr диаграмме (Рисунок 1б) большинство гранатов попадает в область деплетированных составов и в область составов, метасоматизированных глубинными силикатными расплавами. Небольшая часть низко-Y гранатов попадает в область более высоких температур, что, вероятно

всего, отражает их разогрев, связанный с внедрением глубинных расплавов. Гранаты наиболее глубинной части разреза (>50кбар) обнаруживают высокие содержания Ti и Zr, характерные для гранатов из деформированных перидотитов.

В этой области также отсутствуют низко-У гранаты, характерные для минеральных включений хромистых гранатов в алмазах, и, как следствие, отсутствуют алмазоносные перидотиты.

В соответствии с полученными данными, «алмазное окно» имеет достаточно незначительную мощность – около 39 км, по сравнению с высокоалмазоносными кимберлитами Далдынского, Мирнинского и Алакит-Мархинского полей [7, 8].

3. Выводы

В результате исследования геохимических характеристик ксенокристаллов хромистых пиропов из концентрата тяжелой фракции кимберлитов среднепалеозойской слабоалмазоносной трубки Сюльдюкарская установлено, что низкая алмазоносность кимберлитов в первую очередь связана с низкой мощностью “алмазного окна”, а также с высокой степенью наложенных метасоматических преобразований в глубинной части разреза силикатными расплавами, что привело к растворению алмазов.

4. Благодарности

Исследования выполнены по государственному заданию ИГМ СО РАН и при поддержке РФФИ (проект 19-05-00766).

5. Литература:

- [1] Maltsev, M.V., Tolstov, A.V., Fomin, V.M. and Starkova, T.S. New kimberlite field in Yakutia and typomorphic specially it indicators minerals // VGUHerald. Issue series: Geology, 2016, no. 3, pp. 86-94 (in Russian).
- [2] Maltsev, M.V., Tolstov, A.V., Starkova, T.S. and Ivanov, A.S. Features of the Matter of the Suldykar Field Kimberlites (Western Yakutia) // Science and education, Yakutsk, 2017, no. 3, pp. 37-43 (in Russian).
- [3] Starkova, T.S. and Ivanov, A.S. Features of KIM of the new kimberlite field (by the example of anomaly T-54/14) // Materials of VII All-Russian Scientific and Practical Conference “Geology and Mineral resources of the North-east Russia”, 2017, vol. 1, pp. 450-457 (in Russian).

- [4] Maltsev, M.V. Localization criteria and real indication indicators of the Syuldyukarsky kimberlite body as a basis for predicting diamond deposits in the Ygyatta region (Western Yakutia), Mirny, 2018, 24 p. (in Russian)
- [5] Starkova, T.S., Maltsev, M.V. and Tolstov, A.V. Comparative characteristics of indicator minerals of kimberlites and new perspectives diamond of the Ygyatta diamondiferous region (Western Yakutia) // Proceedings of higher educational establishments, Geology and explorations, 2019, no.2, pp. 35-44 (in Russian).
- [6] O'Reilly, S.Y. and Griffin, W.L. Imaging global chemical and thermal heterogeneity in the subcontinental lithospheric mantle with garnets and xenoliths: Geophysical implications // Tectonophysics, 2006, vol. 416, pp. 289-309.
- [7] Griffin, W.L., Ryan, C.G., Kaminsky, F.V., O'Reilly, S.Y., Natapov, L.M., Win, T.T., Kinny, P.D. and Ilupin I.P. The Siberian lithosphere traverse: mantle terranes and the assembly of the Siberian Craton // Tectonophysics, 1999, vol. 310, pp. 1-35.
- [8] Malkovets, V.G., Griffin, W.L., O'Reilly, S.Y. and Wood B.J. Diamond, Subcalcic garnet, and mantle metasomatism: Kimberlite Sampling Patterns define the link // Geology, 2007, vol. 35, no. 4, pp. 339-342.

УДК 551.24:553.81

**ЭРОЗИОННЫЙ СРЕЗ СРЕДНЕПАЛЕОЗОЙСКИХ
КИМБЕРЛИТОВ АЛАКИТ-МАРХИНСКОГО
ПОЛЯ (ЗАПАДНАЯ ЯКУТИЯ)**

Николай Горев¹, Александр Колесник¹, Евгений Николенко^{1,2},
Елена Проценко¹, Пётр Старостин¹, Надежда Шахурдина¹

¹ Научно-исследовательское геологическое предприятие АК «АЛРОСА» (ПАО), 678170, Россия, г. Мирный, Чернышевское шоссе, 16

² ФГБУН Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3

**SURFACE EROSION OF THE MIDDLE PALEOZOIC
KIMBERLITES OF THE ALAKIT-MARKHA FIELD**

Nikolay Gorev¹, Aleksandr Kolesnik¹, Evgeniy Nikolenko^{1,2},
Elena Protsenko¹, Petr Starostin¹, Nadezhda Shakhurdina¹

¹ Scientific-Investigation Geology Enterprise AC «ALROSA», 16
Chernyshevskoye Highway, Mirny, 678170, Russia

² V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy Siberian Branch Russian
Academy of Sciences, 3 ave. Akademika Koptyuga, Novosibirsk, 630090,
Russia

Annotation. Kimberlites of the Alakit-Markha field formed in the middle Paleozoic and were repeatedly eroded over a long period. Measured surface erosion of kimberlites compared with the reconstructed thickness of the host rocks, which includes sedimentary and igneous rocks of the Tunguska syncline. The surface erosion of host rocks of individual kimberlites contradicts their size and shape. The features of kimberlite formation due to stages are considered. The discrepancy between the size, shape of kimberlites and volume of surface erosion of host rocks explained.

1. Введение

Коренные месторождения алмазов Якутской алмазоносной провинции (ЯАП) формировались в среднем палеозое, однако имеются сведения о более раннем раннепалеозойском внедрении отдельных диатрем [2, 3, 7]. Большинство исследователей признается, что практически все погребенные кимберлитовые тела в той или иной мере эродированы. Наиболее точным способом определения уровня эрозионного среза рудных тел и вмещающих толщ считается палеогеологический метод, позволяющий восстанавливать их былые разрезы [1, 4, 5, 6, 7]. Однако, в отдельных случаях наблюдаются существенные расхождения величины эрозионного среза некоторых диатрем, установленной различными способами. Таким несоответствием является наличие в ряде глубокоэродированных по палеогеологическим построениям кимберлитовых трубок (Юбилейная и др.) кратерных построек

2. Результаты исследования

Анализ имеющихся материалов по абсолютному возрасту кимберлитов и наличию в них ксенолитов осадочных пород силура и девона ЯАП позволяет выделить кимберлиты раннепалеозойской эпохи с абсолютным возрастом древнее 430 млн. лет и две среднепалеозойских:

позднесилурийско-раннедевонскую 420-400 млн. лет, и позднедевонско-раннекаменноугольную 380-350 млн. лет [2, 7].

Подавляющее количество кимберлитовых тел и все коренные месторождения алмазов Алаakit-Мархинского кимберлитового поля (АМКП) относятся к позднедевонско-раннекаменноугольной стадии. Судя по абсолютным датировкам кимберлитов и наличию в них ксенолитов осадочных пород силура и девона [4, 5, 7] по фазам внедрения подразделяются на 3 подстадии: позднедевонскую, позднедевонско-раннекаменноугольную и раннекаменноугольную, отличающихся уровнем денудации и другими особенностями.

Выше отмечалось, что основные противоречия (несоответствия) возникают при сопоставлении глубины эрозионного среза кимберлитовых трубок Юбилейная и Айхал, составляющей по результатам палеогеологических реконструкций 450-500 м, с наличием у этих диатрем кратерных фаций, свидетельствующих о незначительной величине их денудации.

Наиболее вероятной причиной отмеченного выше несоответствия является многофазный характер и, как следствие, полихронность, присущая крупным диатремам. Их первые фазы внедрялись в конце девона, а завершающие – в начале карбона.

Данной точке зрения не противоречат: широкий диапазон изотопных дат, девонские ксенолиты в кимберлитах, и наличие у вышеотмеченных трубок чашеобразных расширений в их верхней части, с сохранившимися кратерными фациями. То есть, морфогенетический облик диатрем дает возможность уточнять время их внедрения и геоморфологическое положение на завершающей стадии формирования.

3. Обсуждение и заключения

Таким образом, имеющиеся материалы показывают, что крупные кимберлитовые тела и все коренные месторождения АМКП имеют многофазное строение, указывающее на их полихронный характер. То есть формирование отдельных диатрем продолжалось первые десятки млн. лет, а АМКП в целом – более 80 млн. лет,

Следовательно, отдельные фазы практически всех месторождений АМКП эродированы по-разному. Это несомненно следует учитывать при производстве поисковых работ. Так, в зависимости от уровня денудации месторождения, в минералогических ореолах (главный поисковый признак) могут доминировать кимберлитовые минералы с

типоморфными признаками, характерными для отдельной фазы внедрения и т.д.

4. Литература:

- [1] Brakhfogel F.F. Geological Aspects of the Kimberlite Magmatism of Northeastern Siberian Platform // Yakutsk: YaF SO AN SSSR, 1984, 128 p.
- [2] Brakhfogel F.F., Zaitsev A.J., Shamshina E.A. The age of kimberlitic magmatites as a basis for prognostic estimation of diamond potential for territories // Otechestvennaya Geologiya, 1997, № 9, pp. 20-24.
- [3] Davis G.L., Sobolev N.V., Kharkiv A.D. New data on the age of Yakutian kimberlites obtained by the U-Pb method on zircons // Dokl. Akad. Nauk SSSR, 254 (1980), pp. 175-179
- [4] Tarabukin V.P. Kanygin A.V., Smirnov D.I., Pavlushin A.D., Buyankina L.P. Findings of Paleozoic conodonts in xenoliths from kimberlite pipes on the Siberian platform // Geology and geophysics, 1999, vol. 40, № 6, pp. 834-842
- [5] Tarabukin V.P. Conodonts in xenoliths of sedimentary rocks from kimberlite pipes of the Daldyn-Alakit area (Sakha) // Stratigraphy and geological correlation, 2003, vol. 2, pp. 102-112.
- [6] Tarabukin V.P. Defintion migrate xenoliths of sedimentary rocks in the kimberlite pipe on basis study conodonts // Otechestvennaya Geologiya, 2012, vol. 5, pp. 45-48
- [7] Zaitsev A.I., Smelov A.P. Isotopic Geochronology of Rocks of the Kimberlite Formation of the Yakutia Province // Institute of Geology of Diamond and Precious Metals SB RAS, Yakutsk, 2010, 105 p.

УДК 553.81

О СОСТАВЕ И ГЕНЕЗИСЕ КИМБЕРЛИТОВЫХ ПОРОД

Николай Зинчук

Научно-исследовательское геологическое предприятие АК «АЛРОСА»
(ПАО), 678170, Россия, г. Мирный, Чернышевское шоссе, 16

ABOUT COMPOSITION AND GENESIS OF KIMBERLITE ROCKS

Nikolay Zinchuk

Annotation. Carried out analysis of chemical and geochemical composition of kimberlites and convergent to them rocks allowed stating that evident variations in the content of petrogenic components are determined both by endogenic and exogenous factors. Increased magnesia property and very high degree of saturation by volatile components should be referred to specific features of kimberlite rocks chemism. By chemical composition the rocks of all diamondiferous fields of the Siberian platform correspond to the family of ultrabasic rocks, which is confirmed by high content of magnesium and increased values of magnesium to iron ratio, which is confirmed both in weathered and in intensively carbonated varieties. Comparison of microelement composition of kimberlites of various productivity indicated similarity of behavior spectra of light rare earth elements in commercially diamondiferous kimberlite bodies. Of big interest is assessment of quantitative role of various mantle parageneses in parent kimberlites with consideration of selective capture of depth material by proto-kimberlite melts, specific features of captured material transportation to the surface, and stability of diamonds in depth melts. One should consider those parameters and processes, analysis of which may help in gaining better understanding of mechanisms of kimberlites' productivity origination. Big attention is paid to mineralogical-petrological characteristics of kimberlite rocks with various productivity, for which examples of estimates of initial substrate evolution are provided and reconstructions of mantle sections are performed, which allowed making an assumption about zonality of the lithosphere mantle of a kimberlite province and its specific diamondiferous areas. Provided developments may be successfully used for increasing efficiency of forecast-prospecting works on diamonds in various perspective regions, and for solving a number of fundamental issues concerning genesis of kimberlites and their productivity.

Key words: kimberlites, diamondiferous fields, mantle parageneses, Siberian platform.

1. Введение

Вопросам внедрения кимберлитовой магмы, становления и последующего изменения кимберлитовых пород посвящены многочисленные опубликованные работы [1-4]. Однако при изучении кимберлитов главное внимание обычно уделяется реликтовым структурам и текстурам исходной породы, по которым построены практически все классификации кимберлитовых пород. Основное значение при этом придается изучению псевдоморфоз, их формы и расположения в породе. Незаслуженно малая роль отводится исследованию цементирующей массы, которая в кимберлитовых породах с сохранившимся реликтовым строением представлена: а) субмикроскопическим серпентином; б) пелитоморфным карбонатом; в) стекловатым веществом. Многие исследователи считают, что и серпентин цемента представляет собой апостекло, хотя в свежем виде они никем никогда не описывалось. Стекло не обнаружено также в обломочном материале кимберлитов. Очень важно получить ответ на вопрос о возможности возникновения вулканического стекла в процессе «прострела» пород земной коры и внедрение в них кимберлитовой магмы. В природных условиях обычно имеем дело с силикатным стеклом. Существуют различные мнения о строении стекол вообще и природных в частности. Одни исследователи считают, что основой их являются кристаллиты (т.е. участки с упорядоченной структурой), другие – что стекло состоит из непрерывной беспорядочной сети, в связи с чем внутренняя энергия стекла больше, чем в кристаллическом веществе. Последняя теория удовлетворительно объясняет многие свойства стекол. В целом в стеклах [2]: а) существует ближняя и отсутствует дальняя упорядоченность; б) превалирует один из мотивов ближнего порядка, обладающий определенным составом. Относительно их связей можно отметить, что в условиях образования самих стекол соединения между кристаллами осуществляются между атомами одинаково. Дело только в разных размерах кристаллов (микролитов) и кристаллитов. Более мелкие частицы имеют размер элементарных ячеек и отдельных полиэдров SiO_4^{4-} и AlO_4^{5-} . В какой-то степени в кимберлитах присутствуют все три типа частиц с преобладанием тех или других. Преобразование стекла в кристалл сопровождается

уменьшением объема. Как следует из анализа природных стекол, приуроченных к основным и ультраосновным породам, в них содержится мало магнезии [3]. Причиной тому являются химические свойства самого магния и влияние его на ход кристаллизации магмы. Оксид магния является своего рода затравкой, возникающей по мере охлаждения расплава (т.е. пересыщения); его появление обуславливается сближением в первую очередь кислорода с магнием, что вызвано свойствами атомов последнего. Выделение MgO делает расплав более богатым остальными породообразующими компонентами – щелочами, известью и кремнеземом, из которых в зависимости от *PT*-условий могут кристаллизоваться монтчеллит, пироксен или образоваться стекло, химический состав которого не будет отвечать исходной ультраосновной магме. Стеклообразованию в процессе консолидации магмы в подобных условиях может содействовать железо. Благодаря изменчивости его валентности (а значит и размера ионов) вносится определенная дестабилизация в процесс упорядоченности ионов и образования кристаллического вещества. Поэтому при избытке в остаточном расплаве железа стекло может возникнуть и при сравнительно небольшом содержании кремнезема. При этом образуется другой вид стекла, который обладает [1, 3] более низкой твердостью, заметной растворимостью в кислотах и более низкой температурой плавления, чем стекло, богатое кремнеземом.

2. Основной раздел

В процессе кристаллизационной дифференциации любой магмы, которая содержит определенное количество воды (независимо от того, каким образом она в нее попала), в конечной стадии консолидации появляются многоводные, преимущественно аморфные (и даже рентгеноаморфные) образования, которые описаны под различными названиями: палагонит, гизингерит, хлорофенит и др. Все подобного рода образования обычно именуют коллоидными минералами. Они возникли как в процессе эволюции расплава на глубине, так и при излиянии его на дневную поверхность, особенно в водные бассейны, на ледяную поверхность или внедрения в любые образования. Наиболее характерны подобные образования для основных пород. Палагонит – совокупность богатых водой аморфных или слабоокристаллизованных образований, которые возникли при охлаждении богатого водой расплава и в период формирования магматического тела ведут себя как флюидонасыщенная

жидкость. Палагонит ассоциирует со стеклом, а в слабо раскристаллизованных породах занимает место последнего. В стекле он находится в виде включений округлой формы с резкими границами. К палагониту иногда бывают приурочены рудные минералы и апатит. Глобули палагонита в стекле бывают: а) однородные изотропные или слабо анизотропные; б) концентрически зональные. Палагонит нередко имеет вид сморщенного при усыхании гелеобразного вещества с системой трещин, которые разбивают его на полигональные участки. Палагонит и гизингерит являются аморфными минералами и представляют собой затвердевший силикатный гель, возникший вследствие сближения и взаимодействия между собой кристаллитов. Многие исследователи считают, что исходной была однородная карбонатно-силикатная магма, а поэтому образование стекла тоже должно бы происходить не без участия карбонатов, тем более, что существует мнение о первичности карбонатной массы. С проблемой кимберлитов тесно связан вопрос о карбонатах, которыми бывают выполнены трубки взрыва, из-за чего эти образования некоторыми исследователями тоже отождествляется с кимберлитами. При этом следует отметить, что карбонатная магма, по мнению многих исследователей, существует. Споры обычно возникают вокруг состава подобного расплава. Современные излияния представлены расплавом карбонатов щелочных элементов, которые впоследствии замещаются кальцием с образованием кальцита. Карбонат кальция и натрия (шортит) широко присутствует в кимберлитовых телах. Кальцит также был получен и непосредственно из искусственных расплавов, где в качестве исходного материала взяты карбонаты щелочей, хлорит кальция и силикаты. При консолидации этого находящегося под давлением карбонат-силикатного расплава возникла колонка, верхняя часть которой сложена кальцитом, а нижняя – силикатным стеклом. Ликвация карбонатного расплава предполагается также для кимберлитовой магмы. Однако карбонатное стекло не образуется ни под давлением, ни тем более в открытом пространстве. Несмотря на то, что при выплавке обычного стекла в состав шихты входят карбонат щелочей и кальцит, конечный продукт не содержит карбонатного иона. Не обнаружено карбонатное стекло и в космическом материале, хотя углеродсодержащих образцов много, в углистых хондритах установлен доломит. Не нашли мы упоминаний о карбонатном стекле и в справочной литературе. Поскольку из находящегося под давлением

карбонатно-силикатного расплава образуется кальцит (т.е. кристаллическая фаза), то карбонатного стекла не должно быть ни в условиях «закалки», когда находящаяся под давлением содержащая CO_2 карбонатная магма быстро остывает у контакта с холодными вмещающими породами, ни тем более в условиях выполнения центральных частей трубок, где резкий спад температуры (необходимое условие для образования стекла) обусловлен резким спадом давления (вслед за «прострелом» давления в трубке настолько падает, что проваливаются вышележащие породы). В данных условиях карбонат кальция неустойчив и еще до понижения температуры до 700°C диссоциирует с выделением CO_2 . Что касается стекла, зафиксированного в минералах в виде включений, то анализ с целью обнаружения в нем $(\text{CO}_3)^{2-}$ не проводилось. Находящиеся в расплаве при более высоких давлениях ионы $(\text{CO}_3)^{2-}$ в случае сравнительно медленного снятия напряжения кристаллизуются с образованием карбонатов, что является уже вторичным процессом. А карбонатсодержащее стекло и в данном случае возникнуть не может. Будучи остаточным после кристаллизации силикатов, щелочной карбонатный расплав в присутствии летучих компонентов тем не менее отделяется и, находясь под давлением в момент «прострела», способен выполнить всякого рода трещины (до мелких включительно) и в них выкристаллизоваться, захватив при этом частично и силикатный расплав. В свою очередь, какая-то часть карбонатного расплава захватывалась силикатными расплавами. Однако в обоих случаях происходит полная кристаллизация (или распад) карбоната без образования им стекла. Следует при этом отметить, что если существование карбонатно-силикатного расплава возможно, то в процессе остывания «сухой» или «мокрой» магмы идет кристаллизация карбоната, а силикат может превратиться в стекломассу, причем кристаллическая фаза силиката (в частности, слюды) присоединяется к раскристаллизованному карбонату, а не аморфному силикату (что нередко наблюдается в кимберлитах).

К постмагматическим преобразованиям кимберлитов относятся изменения, которые претерпели магматические породы в пневматолитово-гидротермальную стадию метаморфизма. Верхней температурной границей считается 600°C , т.е. температура, при которой от магматического расплава отщепляется флюид, а нижней можно условно считать температуру кипения воды, хотя некоторые минералы возникают и при более низких температурах [2]. В этом интервале

температур возникли все основные вторичные образования и в первую очередь главный минерал кимберлитов Сибирской и Африканской платформ – серпентин. Наряду с автометаморфическими процессами, которые протекают в обстановке близкой к изохимической, в кимберлитовых телах довольно широко распространен метасоматоз (автометасоматоз). К последним следует отнести хлоритизацию слюд и полевых шпатов ксенолитов, которая сопровождается выносом щелочей и кальция [4]. При бруситизации оливина происходит удаление кремнезема. Оталькование серпентина предусматривает привнос SiO_2 , а окварцевание серпентина – вынос всех остальных компонентов. К метасоматическим также относится замещение серпентином карбонатов и, наоборот, замещение карбонатом силикатов. Главным реагентом в этих процессах является вода; важнейшую роль играет степень ее диссоциации на H^+ и OH^- , т.е. pH раствора, который в значительной мере определяется количеством в нем сильных оснований (Na, K, Ca и др.). При этом в зависимости от конкретных условий имеет место «перекрытие» температур образования высокотемпературных минералов. Поскольку остаточный расплав магнезией не обогащается, образование серпентина происходит в основном за счет оливина. Кроме того, определенное ее количество заимствуется также в карбонатах (в частности, в ксенолитах доломита). Следовательно, прежде чем возникает серпентин, должен разрушиться оливин – как наименее устойчивый из силикатов и наиболее распространенный. Серпентин из псевдоморфоз, цементирующей массы и выделения серпофита обязаны коллоидному первоначальному образованию с последующим преобразованием в гель и его кристаллизацией (возможно даже не полной). Об этом свидетельствуют [2] трещины синерезиса, которые разбивают затвердевший гель на полигональные фигуры. В низкотемпературных серпофитах эти трещины сохранились, а у псевдоморфоз вместо них появились агрегаты из параллельно-чешуйчатых индивидов, образующих секториально-гаснущую (секториальную) структуру. Последняя обычно возникает в процессе быстрого роста множества кристаллов с четырех сторон. Рост заканчивается в центре или на определенном расстоянии от него. Это стало возможным потому, что напряжение было снято не полностью, поскольку порода в целом находилась под давлением. Во многих случаях петельчатая структура также имеет элементы секториальной. Слепые прожилки в срезе дают в шлифе ленты, объединенные в каркас-

петельчатые картины. Агрегаты из субмикроскопических индивидов псевдоморфоз чаще перекристаллизованы, чем выделения серпофита, количество которого в кимберлитовых телах сверху увеличивается. Причиной тому является уменьшение общего (статического) давления пород в верхних горизонтах кимберлитовых трубок.

Таким образом, сформировавшийся в процессе кристаллизационной дифференциации остаточный расплав-раствор базитов и ультрабазитов не обогащен, как считают некоторые исследователи, магниезией, а сложен преимущественно железом и кремнеземом и развитие по нему серпентина возможно как по любому другому силикату, независимо от состава последнего. Образование палагонита нельзя объяснить только гидратацией вулканического стекла, пусть даже сильно железистого, так как в подобных случаях обычно (даже в процессе выветривания) происходит гидролиз и возникает кристаллическая фаза, представленная смектитом (монтмориллонитом, железистым сапонитом или нонтронитом). Поэтому появление аморфной (в том числе и рентгеноаморфной) фазы может быть связано с процессом быстрого выпадения геля из раствора с последующим его высыханием. При этом наиболее подходящими компонентами служат состав и форма размещения палагонита, так же как и близкого к нему гизингерита. А последний встречен не только (и не столько) в базальтах, но и в габбро, и даже в метаморфических образованиях. Возникновение аморфных веществ, основу которых составляют кристаллиты слоистых силикатов (куда входят и субизотропный серпентин и серпофит) возможно при низком давлении. Увеличение давления содействует образованию кристаллических веществ, поскольку при этом уменьшается объём породы. Однако с увеличением давления уничтожается также реликтовая структура породы. Сохранившаяся в кимберлитах реликтовая структура в значительной мере связана со сравнительно низким давлением в процессе серпентинизации.

3. Выводы

Основные выводы по поводу отдельных вопросов становления и дальнейшего формирования кимберлитовых тел и слагающих их минералов и пород: а) В процессе происходящего вслед «за прострелом» осадочных толщ резкого падения давления и вызванного этим такого же спада температуры в верхней части может образоваться только бедное магниезией железистое стекло, которое в связи со значительным

ограниченным количеством кремнезема является малоустойчивым и может разрушаться наравне с оливином (однако от избытка воды в остаточном расплаве процесс до образования стекла не доходит); б) Карбонатная составляющая общего расплава обособляется еще до затвердения силикатной части и в зависимости от конкретных условий либо кристаллизуется (при падении температуры), либо разлагается (при падении давления) с удалением CO_2 ; в) Большое значение для мобильности карбонатного расплава имеют щелочи и в первую очередь натрий, который впоследствии образует собственное соединение (шортит) или обладая (в отличие от калия) положительной энергией гидратации, легко выносятся поствулканическими растворами, уступая место кальцию; г) Разрушение наименее устойчивого соединения – главного минерала кимберлитов оливина проходит под влиянием углекислоты одновременно по всему объёму породы с последующей (вызванной гидролизом) аморфизацией и переходом в коллоидное состояние с дальнейшей кристаллизацией и перекристаллизацией серпентина; д) Кристаллизация серпентина происходит быстро, главным образом, по краям бывших зерен с формированием псевдоморфоз, вдоль трещин синерезиса и по наименее плотным участкам геля, а также по трещинам оливина в частично разрушенном кимберлите. Следует также подчеркнуть, что образование карбонат-силикатного стекла (т.е. гомогенного вещества) в процессе застывания кимберлитового расплава не имело места. Это тем более правильно, что и сам силикатный расплав претерпевает некоторое разделение, в связи с чем получается неоднородное стекло, которое затем очень быстро разрушается, практически не оставляя диагностических следов. Принимая во внимание геологические данные и результаты экспериментальных исследований, можно сделать вывод о том, что кальцит, являющийся главной составной частью кимберлитов, мог возникнуть из карбонатного расплава-раствора, в котором карбонатный ион $(\text{CO}_3)^{2-}$ не распался благодаря повышенной щелочности среды и (или) высокому давлению. Никакого карбонатного (ни тем более карбонатно-силикатного) стекла не было, поскольку в любых условиях карбонатный расплав кристаллизуется или происходит его распад, а от силикатного расплава он отделяется. Поэтому карбонат основной массы не может являться продуктом кристаллизации стекла, тем более что он отделился от силикатного еще до внедрения последнего в осадочные толщи. Невозможность существования карбонатного стекла в какой-то мере

подтверждается и данными о ликвации первичного расплава с отделением карбонатного составного, которое, являясь более легким и менее вязким, всплыло и потом отеснилось к периферии кимберлитовых провинций с образованием щелочно-ультраосновных кимберлитовых ассоциаций.

4. Литература:

- [1] Zinchuk N.N. Comparative characteristics of material composition of kimberlite rocks crust of weathering of the Siberian and East platforms // *Geology and Geophysies/ 1992. N-7. P. 99-109.*
- [2] Zinchuk N.N. *Postmagmatic minerals of kimberlite.-M.: Nedra. 2000.-538 p.*
- [3] Zinchuk N,N, Savko A.D., Krainov A.V. Kimberlites in the Earth HistoryProceedings of VSU geological SRI. Is 68. Voronezh: VSU. 2013. 100 p.
- [4] Kharkiv A.D., Zinchuk N.N., Kryuchkov A.I. *Primary diamond deposits of the World.-Nedra. 1998. 555 p.*

УДК 543.422

ПУЗЫРЬКОВЫЕ ДИАГРАММЫ СОСТАВОВ ПИРОПОВ

Александр Иванов

Научно-исследовательское геологическое предприятие АК «АЛРОСА»
(ПАО), 678170, Россия, г. Мирный, Чернышевское шоссе, 16

BUBBLE CHART OF THE COMPOSITIONS OF PYROPES

Alexander Ivanov

Scientific-Investigation Geology Enterprise AC «ALROSA», 16
Chernyshevskoye Highway, Mirny, 678170, Russia

Annotation. On an example of structures pyropes from a diamondiferous kimberlite p. Aykhal and poorly diamondiferous kimberlite p. Morkoka informative balls charts are developed. On balls charts additional evident characteristics of compositions of grains pyropes are shown. In trends of

change of grains of structures pyropes on N.V.Sobolev's standard charts of Cr₂O₃-CaO [1] the third element – the titan who displays degree of the maintenance of this element diameter of a vial is added. On the J. Gurney of Na₂O-TiO₂ [2] - diameter of a vial characterizes in this trend in each grain concentration of calcium. Four balls charts in a complex show and characterize classification of structures pyropes the ultramain and eklogitovy paragenesis on klasterny groups Dawson J.B. and Stephens W.E. [3]. On concentration in grains pyropes oxides of the titan, calcium and sodium on the standard charts additional information for the characteristic of paragenesis of grains piroпов and degrees metasomatoza occurring in a kimberlite is created. Keywords. Pyropts, diamonds, kimberlites

1. Введение

На пузырьковых диаграммах проявляются дополнительные наглядные характеристики составов зерен пиропов. Ниже приведены по четыре пузырьковые диаграммы для составов пиропов алмазоносного кимберлита тр. Айхал и убого алмазоносного тр. Моркока (рисунок 1, 2).

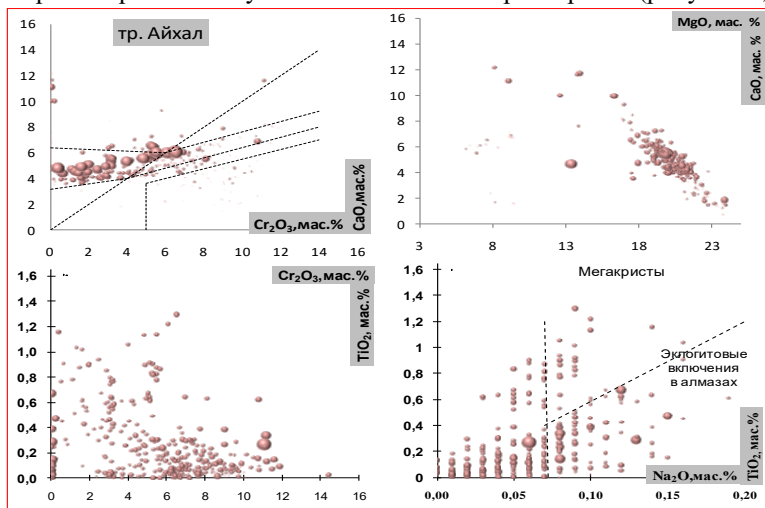


Рисунок 1. Пузырьковые диаграммы для составов пироп из кимберлитов тр. Айхал.

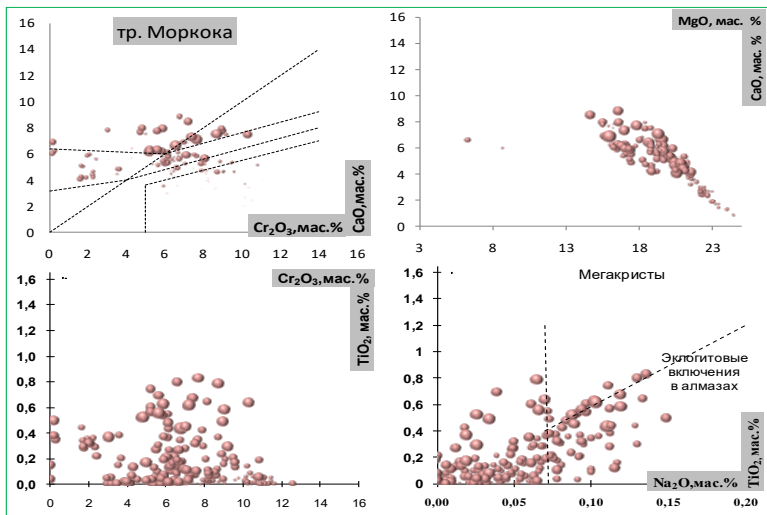


Рисунок 2. Пузырьковые диаграммы для составов пироп из кимберлитов тр. Моркока

2. Результаты исследований

Диаграммы Н.В. Соболева $\text{Cr}_2\text{O}_3\text{-CaO}$, размер пузырька определяет относительные содержания – TiO_2 . На диаграммах $\text{Cr}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$ размер пузырька определяет относительные содержания – CaO . Верхние слева диаграммы $\text{MgO} - \text{CaO}$, размер пузырька определяет относительные содержания – Na_2O . Нижние диаграммы $\text{Na}_2\text{O} - \text{TiO}_2$ размер пузырька определяет относительные содержания – CaO .

3. Выводы

Метасоматические преобразования составов пиропов оставляют след в их зональности - по росту содержания кальция и титана в красевых областях пиропов при взаимодействии с кимберлитовым расплавом. Исходя из выше описанных наблюдений, можно утверждать, что содержания в зернах пиропов элементов кальция и титана определяют степень алмазности кимберлитов и степень метасоматического преобразования кимберлита. Критерием оценки степени алмазности кимберлитового тела являются присутствие в пробах единичных зерен составов пиропов кластерных групп по классификации Dawson J.B. and Stephens W.E. [3] - G4 и G6. Группа G4 (с алмазами до 78%)

характеризуется повышенными содержаниями FeO (17,9%) и TiO₂ (0,90%). Кластерная группа G6 (с алмазами до 44 %). Средние содержания CaO составляют (14,87%), а FeO (10,77%), MgO (10,38%). Присутствие на графиках перечисленных кластерных групп составов пиропов, резко уменьшают размер пузырька для всех остальных составов пиропов в пробе, что особенно демонстративно показано на диаграмме Cr₂O₃-TiO₂. В этом и заключается наглядность и информативность пузырьковых диаграмм. Для эклогитовых парагенезисов составов пиропов также увеличивается информативность на диаграмме MgO - CaO, размер пузырька определяет относительные содержания – Na₂O, что характерно также для алмазоносных эклогитовых парагенезисов составов пиропов [2].

4. Литература

- [1] Sobolev N.V., About mineralogical criteria of an diamonds the containing of kimberlites//Geology and geophysics. 1971. No. 3. – Page 70-80.
- [2] Gurney J., Moore R.O. Geochemical correlation between minerals of kimberlites and diamonds of the Craton of Kalakhari, the Magazine. Geology and Geophysics, Moscow, 1994, page 12-24
- [3] Dawson J.B. and Stephens W.E. Statistical classification of garnets from kimberlite and associated xenoliths//J. Geol., 1975, V. 83. P. 589-607.

УДК 553.81

НЕКОТОРЫЕ ТИПОМОРФНЫЕ ОСОБЕННОСТИ АЛМАЗОВ ИЗ РОССЫПНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ МОЛОДО

Михаил Иванов¹, Марина Федотова², Федор Протопопов²

¹ ФГКУ «В/ч 34435», 101000, Россия, г. Москва

² ФГАОУ ВО Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, 677000, Россия, г.Якутск, ул. Белинского, 58

SEVERAL TYPOMORPHIC FEATURES OF DIAMONDS FROM MOLODO PLACER DEPOSIT

Mikhail Ivanov¹, Marina Fedotova², Fedor Protopopov²

¹ FSBI "M/u 34435", Moscow, 101000, Russia

² M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, 58 Belinsky st., Yakutsk, 677000, Russia

Annotation. The typomorphic features of 20 gem-quality diamonds from the placer deposit of the MolodoYakutia diamondiferous province were studied. Data were obtained on the crystallomorphology of stones, the color, the nature of luminescence, as well as on the presence and content of the defective-impurity composition by infrared (IR) spectroscopy.

1. Введение

В настоящее время основная алмазодобыча ведется на крупных коренных месторождениях Якутской алмазонасной провинции (ЯАП), и учеными накоплено достаточно много данных по типоморфным признакам алмазов из таких месторождений. В последние десятилетия также активно развивается добыча камней из россыпных месторождений, информация по которым представляет интерес для установления условий генезиса кристаллов.

Россыпное месторождение Молодо относится к Молодинскому полю Нижне-Оленекского района ЯАП. Участок расположен в северо-восточной части Сибирской платформы в зоне сочленения восточного крыла Анабарской антеклизы с Предверхоанским краевым прогибом и находится в зоне влияния Молодо-Попигаевского глубинного разлома северо-западного простирания. Россыпь р. Молодо приурочена к днищу долины одноименной реки и состоит из двух разобщенных участков – Молодо и Верхнее Молодо протяженностью 19 км и 42,5 км соответственно [1, 2].

Типоморфные признаки, в т.ч. кристалломорфология и состав дефектно-примесных центров в алмазе, позволяют идентифицировать кристаллы, сформировавшиеся в мантийном субстрате определенного типа [3]. В работах [4, 5] представлена классификация для алмазов IaAB типа по физической классификации [6], в соответствии с которой выделены 7 морфогенетических групп алмаза. Целью данной работы является изучение типоморфных признаков алмазов ювелирного качества россыпи Молодо.

2. Исследование типоморфных особенностей алмазов

Общее количество исследованных кристаллов алмаза – 20 шт. Все отобранные кристаллы относятся к сырью «ювелирного» качества имеют размерность 2 Gr (грейнера), масса кристаллов варьирует от 0,45 до 0,65 карат.

В партии образцов из россыпного месторождения Молодо 7 алмазов являются целыми кристаллами правильной формы с незначительным искажением (Z), 13 алмазов - целые кристаллы с небольшим искажением, гладкогранные, с незначительной или небольшой рельефностью граней (Sh). Дефектность кристаллов колеблется от 1 до 4 качества, цвет от 2 до 5, 1BRN и 4BRN. Все образцы относятся к I разновидности по классификации Ю.Л. Орлова. По габитусу алмазы представлены кристаллами в форме додекаэдроида – 9 образцов, октаэдров и октаэдроидов – 7 образцов, 1 ромбододекаэдроид, 1 кристалл переходной формы октаэдр-додекаэдр и 2 кристалла комбинационной формы. Ребра и вершины округлые. На гранях наблюдаются мелкие каверны, параллельная, сноповидная и занозистая штриховка, шагрень, дисковый узор, линии пластической деформации, полицентризм. Структура граней пластинчатая, иногда блоковая, черепитчато-блочная. На ребрах занозистая штриховка (рисунок 1).

Люминесценция алмазов имеет преимущественно розовый (SW254 нм) и голубой (LW365нм) цвета. Подавляющее большинство кристаллов люминесцируют от слабой до средней степени.



Рисунок 1. Алмазы из россыпного месторождения Молодо

Исследование алмазов методом ИК-спектроскопии (рисунок 2) выявило присутствие в исследованных образцах следующих примесных центров, распределение содержания которых варьируется в следующих пределах: А-агрегатов от 144 до 320 ppm; В-агрегатов от 131 до 969 ppm; В2-агрегатов от 0,128 до 2,228 мкм²/мкм³; водорода (Н) от 0,3 до 190 ppm.

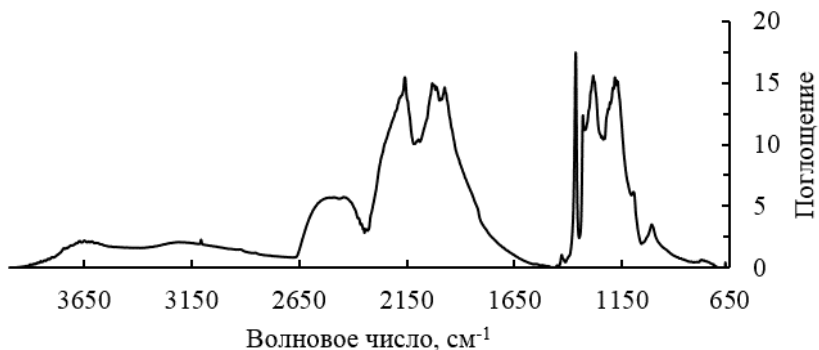


Рисунок 2. Типичный спектр алмаза из россыпи Молодо.

3. Выводы

В соответствии с [4, 5] исследованные алмазы россыпи Молодо относятся ко II-ой морфогенетической группе (низкоазотные), представляющей ультраосновной парагенезис. Группа объединяет кристаллы с высокими качественными геммологическими показателями, октаэдрического, додекаэдрического и комбинационного габитуса. Для них типичны низкие содержания азота ($N_{tot} < 500$ at. ppm) широкий диапазон степени агрегации в В-форме ($\%N_B \sim 13-58$), средние значения для водорода и $P < 5$ см⁻¹. Такие алмазы распространены в кимберлитовых трубках Комсомольская, Юбилейная, Удачная.

Представленные в данной работе результаты исследования алмазов из россыпного месторождения Молодо являются первыми в серии научно-исследовательских работ. Дальнейшие комплексные исследования будут включать в себя также изучение камней методами УФ-спектроскопии, катодolumинесценции, электронного парамагнитного резонанса и комбинационного рассеяния. Полученные результаты имеют большое

значение для установления генезиса алмазов россыпи Молодо и алмазоносных россыпей в целом.

4. Литература:

- [1] Trofimov V.S. Geology of deposits of natural diamonds. М.: Nedra, 1980. 304 p. (in Russian).
- [2] Kharkiv A.D., Zinchuk N.N., Kryuchkov A.I. Indigenous deposits of diamonds in the world. М.: Nedra, 1998. 554 s. (in Russian).
- [3] Khachatryan G.K., Palazhchenko O.V., Garanin V.K., Ivannikov P.V., Verichev E.M. The genesis of "nonequilibrium" diamond crystals from a kimberlite pipe them. Karpinsky-1 according to cathodic luminescence and IR spectroscopy // Bulletin of Moscow University. Ser. 4. Geology, 2008. No. 2. P. 38–45. (in Russian).
- [4] Criulina G.Yu., Vasiliev E.A., Garanin V.K. Structural defects in diamonds of the Arkhangelsk and Yakut diamondiferous provinces // Collection of publications based on the results of the III and IV annual scientific readings named after G.P. Kudryavtseva. М.: Publ. Institute of Applied Mineralogy, 2010. P. 93–103. (in Russian).
- [5] Kriulina G.Yu., Garanin V.K., Rotman A.Ya., Kovalchuk O.E. Features of diamond from industrial deposits of Russia // Bulletin of Moscow University, ser. Geology, 2011. No. 3. P. 23–34. (in Russian).
- [6] Bokiy G.B., Bezrukov G.N., Klyuev Yu.A., Naletov A.M. Natural and synthetic diamonds. М., Science, 1986, 222 p. (in Russian).

УДК 549.211

АЛМАЗЫ ИЗ РОССЫПЕЙ ДАЛДЫНСКОГО КИМБЕРЛИТОВОГО ПОЛЯ

Татьяна Кедрова, Алла Липашова, Ирина Богуш
Научно-исследовательское геологическое предприятие АК «АЛРОСА»
(ПАО), 678170, Россия, г. Мирный, Чернышевское шоссе, 16

DIAMONDS FROM PLACERS OF THE DALDINSKY KIMBERLITE FIELD

Tatyana Kedrova, Alla Lipashova, Irina Bogush
Scientific-Investigation Geology Enterprise AC «ALROSA», 16
Chernyshevskoye Highway, Mirny, 678170, Russia

Annotation. The crystal morphological and optical spectroscopic properties of diamonds from short-range placers spatially conjugated with the Udachnaya high-diamond tube were studied. Most diamonds from sedimentary deposits are close in their parameters to this tube. A group of crystals uncharacteristic of it was revealed.

1. Введение

Далдыно-Алакитский алмазоносный район характеризуется незначительными масштабами россыпной алмазности [1]. Только некоторые из высокоалмазных трубок образуют промышленные россыпи ближнего сноса. К одной из них относится трубка Удачная Далдынского кимберлитового поля. Ее частично окаймляет делювиальная залежь, которая прослеживается на расстоянии 0,5 км от трубки [2]. С трубкой также пространственно сопряжена аллювиально-пролювиальная россыпь ручья Пироповый, которая прослеживается от трубки до устья ручья на протяжении 3,2 км [2]. Цель работы – наработка данных по свойствам алмазов из россыпей ближнего сноса в пределах Далдынского кимберлитового поля Якутской алмазоносной провинции, сравнение свойств алмазов из россыпи с таковыми в трубке Удачная.

Исследованы кристалломорфологические и оптико-спектроскопические свойства алмазов размером от 0,5 до 8 мм, основную их массу составляют кристаллы класса -2+1 мм. Изучение морфологии алмазов проводилось с использованием бинокулярных микроскопов фирмы Leica по методике, подробно описанной в монографии [1] с применением классификации Ю.Л. Орлова [3]. Спектры оптической плотности регистрировались на ИК-Фурье спектрометрах VERTEX 70 (Bruker) и ФСМ-1201. Суммарный азот (N_{tot}) определялся сложением выявленных концентраций этой примеси в А-, В-, С-формах в соответствии с [4,5]. Содержание В2-дефектов оценивалось по коэффициенту поглощения полосы на $1358-1380\text{ см}^{-1}$, а размер – по положению максимума его полосы [6]. Относительные погрешности определения коэффициентов поглощения для центров А, В1 и В2 составили менее 10%.

2. Основные результаты

Среди алмазов как аллювиально-пролювиальной россыпи ближнего сноса ручья Пироповый, так и делювиальной россыпи тр. Удачная, в

близких долях находятся кристаллы октаэдрического (29 и 25% соответственно), переходного (18 и 22%) габитуса, округлые додекаэдронды (19 и 21%) и ламинарные ромбододекаэдров I разновидности (14 и 17%). Присутствуют кристаллы IV и VIII разновидностей (3-4%). Преобладают (36-42%) индивиды с синеголубым свечением в УФ-лучах при подчиненном содержании камней с желто-зеленым (24-18%) и розово-сиреневым (22-23%) свечением. Половина и более исследованных кристаллов являются целыми или незначительно поврежденными индивидами. Наиболее часто встречаются бесцветные, со средней степенью прозрачности алмазы. Около половины изученных алмазов трещиноваты. Подавляющее большинство составляют монокристаллы, часто встречаются индивиды с графит-сульфидными включениями (более 50% от общего количества) и около 40% алмазов имеет скульптуры травления. Около 20% изученных алмазов имеют признаки ожелезнения. Встречаются кристаллы с зелеными пятнами пигментации (0,8%). По данным ИК-спектроскопии алмазы в основном малоазотистые с относительно высокой степенью агрегированности этой примеси (Рисунок 1) и большими размерами пластинчатых В2-дефектов.

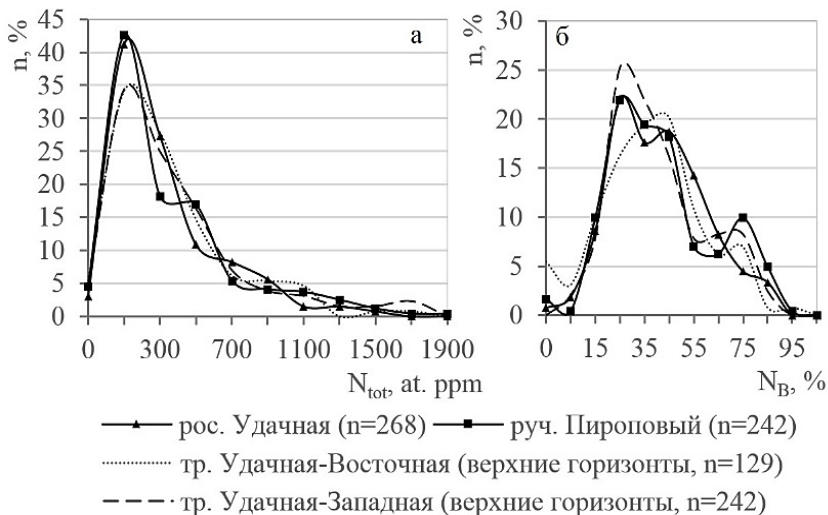


Рисунок 1. Распределение алмазов по содержанию суммарного азота (а) и процентному содержанию азота в V-форме (б).

Алмазы анализируемых участков несколько отличаются от таковых восточного и западного рудных тел трубки Удачная по распределению основных форм кристаллов I разновидности, среди которых отмечено более высокое содержание округлых додекаэдров (на 6-8%) и октаэдров (на 4-12%), реже встречаются осколки (на 5-6%). По данным ИК-спектроскопии среди алмазов двух россыпей повышено содержание малоазотистых индивидов.

3. Выводы

Характеристики алмазов из аллювиально-пролювиальной россыпи руч. Пироповый не имеют значительных отличий от параметров кристаллов из делювиальной россыпи тр. Удачная. По совокупности кристалломорфологических и оптико-спектроскопических параметров коренным источником большинства алмазов из отложений двух россыпей является тр. Удачная. Однако установлены некоторые отличия алмазов из осадочных отложений и коренного источника. Применение идентификационных методов анализа показало, что среди малоазотистых кристаллов различного габитуса к трубке Удачная не относится группа скрытослоистых додекаэдров I разновидности с повышенной степенью агрегации примеси азота. Вопрос об источнике таких кристаллов на данный момент остается открытым. Степень агрегации таких алмазов указывает на более высокую температуру или большее время их постростового пребывания в верхней мантии [7]. Алмазы с повышенной степенью агрегации являются отличительной особенностью малых дайковых кимберлитовых тел [8].

4. Литература:

- [1] Zinchuk N.N., Koptil' V.I. Typomorphism of diamonds of the Siberian platform. – М.: Nedra, 2003. – 603 p. (in Russian)
- [2] Grakhanov S.A., Shatalov V.I., Kychkin V.R. Diamond placers of Russia – Novosibirsk: Geo, 2007. – 457 p. (in Russian)
- [3] Orlov Yu.L. Mineralogy of diamond. – М. – Science, 1973. – 223 p. (in Russian)
- [4] Boyd S.R., Kiflawi I., Woods G.S. The relationship between infrared absorption and the A defect concentration in diamond // Phil. Mag. B, 1994. – V.69. – P.1149–1153.
- [5] Boyd S.R., Kiflawi I., Woods G.S. Infrared absorption by the B nitrogen aggregate in diamond // Phil. Mag. B, 1995. – V. 72. – P. 351–361.

- [6] Sobolev E.V., Lisoivan V.I., Lenskaya S.V. About lamellar formations in the structure of natural diamonds // Journal of Structural Chemistry, 1968. – V.9. – № 6. – P. 1029–1033. (in Russian)
- [7] Evans T., Qi Z. The kinetics of aggregation of nitrogen atoms in diamonds// Proc. Roy. Soc. London, 1982, A381, p. 238-242
- [8] Koptil' V.I., Bogush I.N., Kedrova T.V. Characteristics of diamonds from small dyke kimberlite bodies of the Nakyn field // VII international conference «New ideas in earth sciences». - M., 2005. - P. 36 (in Russian)

УДК 549.211

«АЛМАЗ-МАТРЕШКА»

Диана Коногорова, Олег Ковальчук, Леонид Бардухинов,
Татьяна Кедрова, Александр Толстов
Научно-исследовательское геологическое предприятие АК «АЛРОСА»
(ПАО), 678170, Россия, г. Мирный, Чернышевское шоссе, 16

«DIAMOND-MATRYOSHKA»

Diana Konogorova, Oleg Kovalchuk, Leonid Bardukhinov, Tatyana Kedrova,
Alexander Tolstov
Scientific-Investigation Geology Enterprise AC «ALROSA»,
16 Chernyshevskoye Highway, Mirny, 678170, Russia

Annotation. For the first time, a diamond with a cavity was found inside which a smaller diamond freely moves. The diamond is an octahedral habit, green in color and has a weight of 0.62 ct. Traces of etching are shown on the surface of the crystal and there are two through channels that penetrate into the cavity. The walls of the cavity correspond to the morphology of diamond. The inner diamond is also an octahedral habit, slightly yellow in color and, according to calculations, has the entire 0.02 ct. Traces of etching are shown on the surface of the inner diamond, and the surface morphology coincides with the morphology of the cavity walls. The diamond has a homogeneous luminescence of pink-purple color, installed using a laser with a wavelength of 337 nm. Integrated mapping was carried out by infrared spectroscopy,

which established the layered internal structure of diamond. The zone with the inner diamond is characterized by a high content of structural nitrogen impurity. Initially, it was a single crystal, most likely, in the cavity of which there was a layer of porous polycrystalline diamond material, which was dissolved by more aggressive mantle melts.

1. Введение

Алмаз с полостью, внутри которой свободно перемещается алмаз, меньшего размера был найден в Якутии в трубке Нюрбинская (Накынское кимберлитовое поле). Ранее, были похожие находки, в работах Гаранина В.К. [1] описан алмаз с включением алмаза в полости заполненной хромитом. Но что бы алмаз свободно перемещался в полости – это уникальный случай.

Исследование проводилось в Научно-исследовательском геологическом предприятии АК «АЛРОСА» (ПАО). Минералогическое описание проводилось под биноклями Leica Wild M420. Фотографирование алмаза выполнено с помощью бинокулярного микроскопа Leica M205 с высокочувствительной цифровой видеокамерой Leica DFC 495 под управлением фирменного ПО LAS (Version 4.1.0 (Build 1264)). Для возбуждения фотолюминесценции при характеристике цвета свечения использован лазер АИЛ-3 с длиной волны 337 нм. Изучение включений в алмазах проводилось на конфокальном рамановском микроскопе InVia фирмы RENISHAW. Съемка спектров фотолюминесценции кристаллов алмазов выполнена с использованием возможностей КР-микроскопа InVia (фирма RENISHAW, Великобритания). Регистрация спектров ИК-поглощения в волновом диапазоне 600-4 500 см⁻¹ проводилась методом двумерного картирования по всей площади алмаза (сетка до 2 500 точек) с шагом 50 мкм и с разрешением 2-4 см⁻¹ на Фурье спектрометре Tensor-27 фирмы Bruker с микроскопом Hyperion 3000. В качестве внутреннего стандарта было принято собственное поглощение алмаза [2]. Концентрации дефектов пересчитывались в соответствии с работами [3, 4, 5]. Проведена съемка на рентгеновском микротомографе SkyScan 1272. Реконструкция полученных изображений выполняется программой NRecon. Для обработки и анализа 3D изображений использовалась программа CTAn (CTAnalyser).

2. Результаты исследования

Алмаз является сложным двойником по шпинелевому закону переходной формы октаэдр-додекаэдроид. Внешний алмаз размером 4,8x4,9x2,8 мм и имеет вес 0,62 карата. По результатам рентгеновской микротомографии установлено, что объем внутренней полости составляет 6 мм³, а объем внутреннего кристалла – 1,6 мм³. Согласно расчетам, внутренний алмаза имеет вес 0,02 карата. На поверхности внешнего алмаза наблюдаются скульптуры травления в виде треугольных впадин, а также узкие и глубокие каналы травления, два из которых проникают в полость алмаза. По классификации Ю.Л. Орлова [6] алмаз относится к I разновидности. Внешний алмаз имеет светло-зеленую окраску, а внутренний алмаз окрашен в слабо желтый цвет. В кристалле отмечены темноцветные минеральные включения графита в ассоциации с сульфидом.

В фотолюминесцентных спектрах алмазов отчетливо фиксируется N3 дефект. Во всех спектрах N3 дефект имеет бесформенное плечо, которое предположительно является N3(N4) дефектом. Также фиксируется бесформенная полоса с размытым максимумом на 610 нм, предположительно является (NV)⁰ и (NV)⁻ дефектами [2].

При воздействии лазером с длиной волны 337 нм, у алмаза установлено слабой интенсивности розово-сиреневое свечение. Многие исследователи связывают его с (NV)⁰ и (NV)⁻ дефектами [2].

В результате исследования алмаза методом инфракрасной спектроскопии установлено, что алмаз характеризуется высоким содержанием структурной примеси азота – 1 250 at. ppm, при максимальных значениях – 1 820 at. ppm и минимальных – 589 at. ppm. Суммарное содержание структурной примеси азота увеличивается от периферии к центру, что характерно для большинства природных алмазов [7]. Модальное значение содержания V1-дефекта составляет – 40%, при максимальном значении 64% и минимальным 28%. Внутренний алмаз имеет более высокое содержание структурной примеси азота и повышенное содержание V1-дефекта. Повышенное содержание V1-дефекта, говорит о длительном нахождении в высокотемпературных условиях [7].

3. Выводы

Внешний и внутренний алмаз изначально были единым кристаллом, потому что они имеют одинаковую форму и ориентацию шпинелевого двойника, одинаковый дефектно-примесный состав, близкое содержание и распределение примесей азота и водорода, с небольшим увеличением азота в В1-форме в центральной области минерала-узника (это характерно для всех монокристаллов алмаза [7]), однородная люминесценция и наличие N3, N3-дефектов в обоих кристаллах также подтверждают единую природу этого уникального алмаза.

Деление на внешний и внутренний алмаз произошло после того, как сформировался внешний алмаз в результате процессов травления.

4. Литература:

- [1] Garanin V.K. Mineralogy of kimberlites and related rocks of the diamond-bearing provinces of Russia in connection with their Genesis and search. Diss. Doct. GEOL.-min. Sciences. Moscow: Moscow state University, 2006.
- [2] Zaitsev, A.M. Optical properties of diamond: A data handbook. Springer, Berlin Heidelberg, 2001, 502 p.
- [3] Harkiv A.D., Zinchuk N.N., Kryuchkov A.I. Indigenous diamond deposits of the world. Moscow: Nedra, 1998. 554 PP.
- [4] Boyd S.R., Kiflawi I., Woods G.S. The relationship between infrared absorption and the A defect concentration in diamond // Phil. Mag., B. 1994. V. 69. P. 1149–1153.
- [5] Boyd. S.R., Kiflawi I., Woods G.S. Infrared absorption by the B nitrogen aggregate in diamond // Phil. Mag., B. 1995. V. 72. P. 351–361.
- [6] Orlov Yu.L. Mineralogy of diamond. Moscow: Nauka, 1984, 264 p.
- [7] Vasiliev E.A. Planar optically aktibo nga mga sentro sa mga diamante ingon nga ilhanan sa diamante pagporma sa mga kahimtang. Abstract. Diss ... Cand. GEOL.-min. Sciences. Saint Petersburg kahimtang sa pagmina Institute ginganlan human G. V. Plekhanov. SPb. 2007. 21 p.

**ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ И
МЕТАСОМАТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В
ЛИТОСФЕРНОЙ МАНТИИ ПОД НАКЫНСКИМ
КИМБЕРЛИТОВЫМ ПОЛЕМ, СИБИРСКИЙ КРАТОН**

Владимир Мальковец^{1,2}, Bill Griffin³, Lynthener Takenaka de Oliveira³,
Алексей Дак⁴, Анастасия Гибшер^{1,2}, Игорь Яковлев², Илья Серов⁵,
Лариса Муллаярова¹, Татьяна Старкова¹,
Константин Гаранин⁵

¹ Научно-исследовательское геологическое предприятие АК «АЛРОСА»
(ПАО), 678170, Россия, г. Мирный, Чернышевское шоссе, 16

² ФГБУН Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН,
630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3

³ GEMOC/CCFS ARC National Key Centre, Macquarie University, Sydney,
Australia

⁴ АО «Сибирский НИИ геологии, геофизики и минерального сырья»,
630091, Россия, г. Новосибирск, Красный пр-т, 67

⁵ АК «АЛРОСА», 678170, Россия, г. Мирный, ул. Ленина 6

**PECULIARITIES OF STRUCTURE AND
METASOMATIC PROCESSES IN THE LITHOSPHERIC
MANTLE BENEATH THE NAKYN KIMBERLITE FIELD,
SIBERIAN CRATON**

Vladimir Malkovets^{1,2}, Bill Griffin³, Lynthener Takenaka de Oliveira³, Alexei
Dak⁴, Anastasia Gibsher^{1,2}, Igor Yakovlev², Ilya Serov⁵,
Larisa Mullayarova¹, Tatiana Starkova¹, Konstantin Garanin⁵

¹ Scientific-Investigation Geology Enterprise AC «ALROSA», 16
Chernyshevskoye Highway, Mirny, 678170, Russia

² V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy Siberian Branch Russian
Academy of Sciences, 3 ave. Akademika Koptyuga, Novosibirsk, 630090,
Russia

³ GEMOC/CCFS ARC National Key Centre, Macquarie University, Sydney,
Australia

⁴ SNIIGGIMS, Krasniy ave. 67, Novosibirsk, 630091, Russia

⁵ ALROSA Co Ltd., Lenina st. 6, Mirny, 678170, Russia

Annotation. This work presents results of a study and
interpretation of trace-element composition of chromium

pyropes from kimberlite pipes Nyurbinskaya and Botuobinskaya in order to identify details of the deep structure of the mantle column and the peculiarities of metasomatic processes in the lithospheric mantle beneath the Nakyn field. Using a monomineral Ni-in-Gar thermometer and a Cr-in-Gar barometer, the Middle Paleozoic paleogeotherm was reconstructed at the time of the intrusion of the Nyurbinskaya and Botuobinskaya kimberlites. The calculated paleogeotherm up to $T < 1100^{\circ}\text{C}$ corresponds to a heat flux of 35 mW/m^2 and is a typical “cold” craton geotherm. At $T > 1100^{\circ}\text{C}$ ($\sim 210\text{-}215 \text{ km}$), a geotherm has a kink which is associated with the heating of the lithosphere base by deep melts. Due to the kink of the geotherm, the maximum depth of the tested mantle column is $\sim 215\text{-}220 \text{ km}$. According to the reconstructed paleogeotherm, the “diamond window” has a large thickness – about 90 km ($120\text{-}210 \text{ km}$), comparable in thickness with the high-grade kimberlites of the Daldyn, Mirny and Alakit-Markha fields. The large thickness of the “diamond window” and low degree of superimposed diamond destructive metasomatic processes are the reasons of high diamond grade of Nakyn kimberlites.

1. Введение

В пределах Накынского поля известно четыре высокоалмазоносных среднепалеозойских кимберлитовых тела, размеры которых позволяют производить добычу алмазов: трубки Нюрбинская и Ботуобинская и сравнительно небольшие тела Майское и Мархинское. Первое кимберлитовое тело – трубка Ботуобинская, была открыта в феврале 1994 года. К сожалению, глубинные ксенолиты в кимберлитах подвержены интенсивным вторичным изменениям и данные по петрологии литосферной мантии под Накынским полем практически отсутствуют. Исследование минеральных включений в алмазах показало наличие минеральных включений как перидотитового, так и эклогитового парагенезисов. В данной работе впервые представлены результаты высокоточного изучения и интерпретации микроэлементного состава хромистых пиропов из кимберлитовых тел Нюрбинская и Ботуобинская с целью выявления деталей глубинного строения мантийной колонны и особенностей метасоматических процессов в литосферной мантии Накынского поля.

2. Результаты исследований

В данной работе мы приводим результаты геохимических исследований 295 зерен гранатов (трубки Нюрбинская и Ботубинская) выполненных методом индуктивно-связанной плазменной масс-спектрометрии (ICPMS Agilent 7900cs) с лазерным пробоотборником Photon Machines в Университете Маккуори, Сидней, Австралия. Обработка геохимических данных и построение глубинного разреза было проведено совместно для гранатов трубок Нюрбинская и Ботубинская в соответствии с методиками, описанными в работе [1].

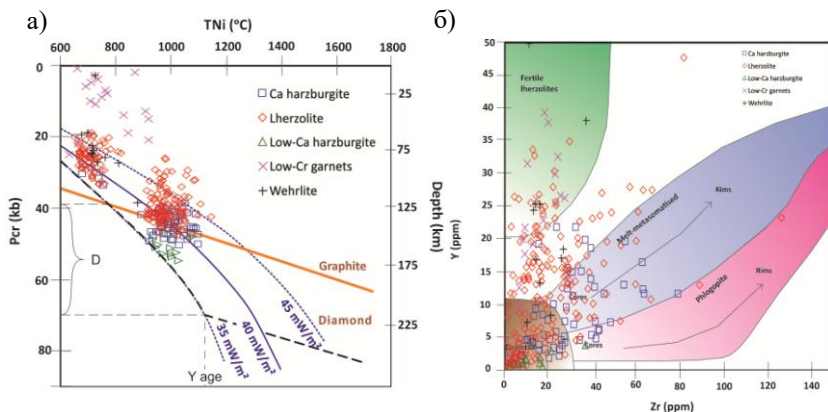


Рисунок 1. Положение гранатов из трубок Нюрбинская и Ботубинская на P-T диаграмме и реконструкция среднепалеозойской палеогеотермы (а) и Y-Zr диаграмме (б). D – “алмазное окно”.

С использованием мономинеральных Ni-in-Gar термометра и Cr-in-Gar барометра была рассчитана среднепалеозойская палеогеотерма на момент внедрения кимберлитов трубок Нюрбинская и Ботубинская [2, 3] (Рисунок 1 а). Рассчитанная палеогеотерма до $T < 1100$ °C соответствует тепловому потоку 35 mW/m^2 и является типичной “холодной” кратонной геотермой. При температурах ~ 1100 °C (~ 210 -215 км) отмечается излом геотермы связанный с разогревом основания литосферы глубинными расплавами. С учетом излома геотермы, максимальная глубина опробованной мантийной колонны составляет ~ 215 -220 км. В соответствии с реконструированной палеогеотермой, “алмазное окно” имеет большую мощность – около 90 км (120-210 км; ~ 27 кбар), сравнимую по мощности с высокоалмазоносными

кимберлитами Далдынского, Мирнинского и Алакит-Мархинского полей [4, 5]. На Y-Zr диаграмме (Рисунок 1 б) большинство гранатов попадает в область деплетированных составов и в области составов, метасоматизированных глубинными силикатными расплавами и фертильных лерцолитов. Интересной особенностью основания глубинного разреза является слабая степень проявленности наложенных метасоматических процессов, которые приводят к уничтожению алмазов, как в основании мантийной колонны, так и выше по разрезу. Именно вследствие этого, вероятно, кимберлиты Накынского поля имеют повышенную алмазоносность.

3. Выводы

В результате исследования геохимических характеристик ксенокристаллов хромистых пиропов из концентрата тяжелой фракции среднепалеозойских высокоалмазных кимберлитов трубок Нюрбинская и Ботуобинская установлено, что высокая алмазоносность кимберлитов связана с двумя основными факторами: высокой мощностью “алмазного окна” и малой степенью наложенных деструктивных метасоматических преобразований, как в области “алмазного окна”, так и в глубинной части разреза.

4. Благодарности

Исследования выполнены по государственному заданию ИГМ СО РАН и при поддержке РФФИ (проект 19-05-00766).

5. Литература:

- [1] O'Reilly, S.Y. and Griffin, W.L. Imaging global chemical and thermal heterogeneity in the subcontinental lithospheric mantle with garnets and xenoliths: Geophysical implications // *Tectonophysics*, 2006, vol. 416, pp. 289-309.
- [2] Agashev, A.M., Pokhilenko, N.P., Tolstov, A.V., Polyanichko, V., Malkovets, V.G. and Sobolev, N.V. New data about the age of some kimberlite pipes from Yakutian kimberlite province // *Doklady Earth Sciences*, 2004, vol. 399, no. 8, pp. 1142-1145.
- [3] Tretiakova, I.G., Belousova, E.A., Malkovets, V.G., Griffin, W.L., Piaolo, S., Pearson, N.J., O'Reilly, S.Y. and Nishido H. Recurrent magmatic activity on a lithospheric-scale structure: crystallization and deformation in kimberlitic zircons // *Gondwana Research*, 2017, vol. 42, pp. 126-132.

[4] Griffin, W.L., Ryan, C.G., Kaminsky, F.V., O'Reilly, S.Y., Natapov, L.M., Win, T.T., Kinny, P.D. and Ilupin I.P. The Siberian lithosphere traverse: mantle terranes and the assembly of the Siberian Craton // *Tectonophysics*, 1999, vol. 310, pp. 1-35.

[5] Malkovets, V.G., Griffin, W.L., O'Reilly, S.Y. and Wood B.J. Diamond, Subcalic garnet, and mantle metasomatism: Kimberlite Sampling Patterns define the link // *Geology*, 2007, vol. 35, no. 4, pp. 339-342.

УДК 551.81:551.76

РЕДКОЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ ПИРОПОВ ИЗ ГРАВЕЛИТОВ КАРНИЙСКОГО ЯРУСА ВЕРХНЕГО ТРИАСА (СЕВЕРО-ВОСТОК СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ)

Евгений Николенко^{1,2}, Владимир Мальковец^{1,2},

Валентин Афанасьев², Игорь Яковлев², Анастасия Биллер³

¹ Научно-исследовательское геологическое предприятие АК «АЛРОСА» (ПАО), 678170, Россия, г. Мирный, Чернышевское шоссе, 16

² ФГБУН Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3

³ ФГБУН Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, 677000, Россия, г. Якутск, пр-т Ленина, 39

TRACE ELEMENT COMPOSITION OF PYROPES FROM THE UPPER TRIASSIC CARNIAN STAGE GRABELITES (NE SIBERIAN PLATFORM)

Evgeny Nikolenko^{1,2}, Vladimir Malkovets^{1,2}, Valentin Afanasiev²,

Igor Yakovlev², Anastasia Biller³

¹ NIGP PJSC «ALROSA», Mirny, 678170, Republic of Sakha Scientific-Investigation Geology Enterprise AC «ALROSA», 16 Chernyshevskoye Highway, Mirny, 678170, Russia

² V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy Siberian Branch Russian Academy of Sciences, 3 ave. Akademika Koptyuga, Novosibirsk, 630090, Russia

³ Diamond and Precious Metals Geology Institute, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, 39 Lenina ave., Yakutsk, 677000, Russia

Annotation. The features of the trace element composition and the results of single-mineral thermometry of garnets from the diamondiferous carnian stage gravelites (T_3) indicate a wide development of silicate metasomatism processes at the base of the lithospheric mantle. The assumed Triassic age of the parent (for pyropes) kimberlites allows us to interpret the obtained geochemical data as an evidence of the lithospheric mantle destruction processes, caused by Permo-Triassic basic magmatism.

1. Введение

Минералого-геохимическая характеристика разреза литосферной мантии на периоды кимберлитового магматизма, является одним из ключевых вопросов при прогнозных и поисковых работах на алмазы. Вопрос геохимической неоднородности литосферной мантии, а также ее преобразования и деструкции за счет воздействия глубинных, флюидно-магматических процессов особенно актуален для севера Сибирской платформы, и связан с воздействием пермо-триасового суперплюма [1]. Алмазоносные отложения карнийского яруса верхнего триаса (T_3k) распространены в пределах Лено-Анабарского прогиба и являются наиболее древними на северо-востоке Сибирской платформы, содержащими всю ассоциацию алмазов и индикаторных минералов кимберлитов по своим характеристикам однотипную современным россыпям Лено-Анабарской субпровинции. Проведенные ранее исследования индикаторных минералов кимберлитов и алмазов из данных отложений позволили установить их гетерогенную природу, и как следствие, множественный характер коренных источников [2–4]. Предполагается триасовый возраст кимберлитов - источников большинства мантийных гранатов в алмазоносных отложениях T_3k [5].

2. Результаты работ

Проведено геохимическое изучение пиропов перидотитового парагенезиса из пробы 1и/10-31, обнажения гравелитов T_3k на острове Таас-Ары (Булкурская антиклиналь). Состав гранатов определен в ЦКП многоэлементных и изотопных исследований ИГМ СО РАН, на рентгеноспектральном микроанализаторе JEOL JXA-8200 SuperProbe. Редкоэлементный состав 92 перидотитовых пиропов определен методом

масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой, на приборе LAM-ICPMS Agilent 7700cs в институте наук о Земле при академии Sinica (Тайвань).

Геохимические особенности исследованной ассоциации перидотитовых гранатов указывают на мощную литосферу, характерную для древних архейских кратонов. Гранаты представлены наиболее распространенными в кимберлитах парагенезисами [6,7], среди которых преобладает лерцолитовый (45 %), присутствуют пиропы гарцбургит-дунитового (ГД), в том числе алмазоносного парагенезисов. Отсутствуют в ассоциации пиропы верлитового парагенезиса [2]. Значительную долю составляют пиропы титанистых деформированных лерцолитов и низкохромистые пиропы, аналогичные по составу мегакристовой серии. Высокое содержание TiO_2 , достигающее значений 1.2-1.4 мас. % установлено и для гранатов высокохромистых лерцолитов. Соотношение в гранатах Zr к Y и $(Sm/Er)_N$ к Ti/Eu , а также распределения РЗЭ, указывают как на карбонатный, так и силикатный тип метасоматического воздействия на породы литосферной мантии (рисунок 1). Среди гранатов ГД присутствуют зональные зерна, краевые части которых демонстрируют обогащение тяжелыми и средними РЗЭ, под воздействием процессов силикатного метасоматоза (рисунок 1а, стрелкой показано изменение состава от центра к краю). Основываясь на зональности в гранатах, можно сделать вывод, что силикатный метасоматоз является более поздним процессом. В ассоциации присутствуют деплитированные гранаты, не затронутые процессами метасоматоза и имеющие характерный, истощенный легкими и средними РЗЭ спектр.

Для рассматриваемых парагенезисов гранатов выполнено определение температуры по примеси Ni в составе граната [8] (рисунок 1с). Для гранатов лерцолитов и гарцбургит-дунитов наибольшее количество значений находится в интервале 1300-1450 °С (рисунок 1с). В реконструированном разрезе под тр. Удачная, данный температурный диапазон занимают зернистые и деформированные гранатовые лерцолиты, обогащенные несовместимыми элементами, возникшие в результате воздействия расплавов астеносферного происхождения на породы основания литосферной мантии [9].

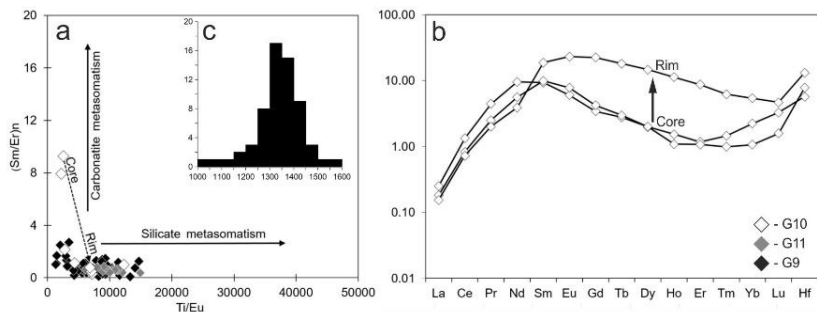


Рисунок 1. Классификация мантийного метасоматоза для гранатов [10] (a); распределение РЗЭ для зонального граната ГД алмазного парагенезиса (b); результаты мономинеральной термометрии [8] для гранатов лерцолитов и гарбургит-дунитов (с).

3. Выводы

Полученные данные свидетельствуют, о высокой доле в ассоциации парагенетических типов гранатов, характерных для пород основания литосферной мантии. Геохимические индикаторы, наряду с результатами термометрии указывают на широкое развитие в мантии процессов силикатного метасоматоза. Триасовый возраст материнских (для пиропов) кимберлитов, позволяет интерпретировать полученные геохимические данные, как проявление процессов деструкции литосферы, связанных с пермо-триасовым базитовым магматизмом. Об этом, также, свидетельствует присутствие в ассоциации средне-низкохромистых пиропов пироксенитового парагенезиса [1].

4. Благодарности

Работа выполнена в рамках государственного задания ИГМ СО РАН, при поддержке гранта РФФИ 18-45-140027. Геохимические исследования гранатов выполнены при поддержке гранта РНФ №18-17-00249.

5. Литература:

[1] Pokhilenko, N., Sobolev, N., Kuligin, 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.

Proceedings of the 7th International Kimberlite Conference, Cape Town, 1999, vol. 2, pp. 689–698.

[2] Sobolev, N., et al. Mineralogical criteria for the diamond potential of Upper Triassic placers on the northeastern margin of the Siberian Platform // Russ. Geol. Geophys., 2013, 54, pp. 903–916.

[3] Nikolenko, E., et al. Cr-spinel assemblage from the Upper Triassic gritstones of the northeastern Siberian Platform // Russ. Geol. Geophys., 2018, 59, pp. 1348–1364.

[4] Afanas'ev, V.P., et al. Polygenesis of diamonds in the Siberian Platform // Russ. Geol. Geophys., 2011, 52, pp. 259–274.

[5] Grakhanov, S. A., et al. Rhaetian diamond placers in Siberia // Russ. Geol. Geophys., 2010, 51, pp. 127–135.

[6] Sobolev, N., et al. Chrome-rich garnets from the kimberlites of Yakutia and their parageneses // Contr. Miner. Petrol, 1973, 40, pp. 39–52.

[7] Grütter, H.S. et al. An updated classification scheme for mantle-derived garnet, for use by diamond explorers // Lithos, 2004, 77, pp. 841–857.

[8] Ryan, C.G., Griffin, W.L., Pearson, N.J. Garnet geotherms: Pressure-temperature data from Cr-pyrope garnet xenocrysts in volcanic rocks // Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 1996, 101, pp. 5611–5625.

[9] Tychkov, N.S., et al. Thermal perturbations in the lithospheric mantle as evidenced from PT equilibrium conditions of xenoliths from the Udachnaya kimberlite pipe // Doklady Earth Sciences, 2014, vol. 454, p. 84.

[10] Shchukina, E., Agashev, A., Pokhilenko, N. Metasomatic origin of garnet xenocrysts from the V. Grib kimberlite pipe, Arkhangelsk region, NW Russia // Geoscience Frontiers, 2017, 8, pp. 641–651.

УДК 549.621.9:549.211

АПАТИТ ИЗ КИМБЕРЛИТОВОЙ ТРУБКИ МАНЧАРЫ (ЦЕНТРАЛЬНАЯ ЯКУТИЯ)

Николай Опарин¹, Олег Олейников¹, Леонид Баранов²

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

² Научно-исследовательское геологическое предприятие АК «АЛРОСА»
(ПАО), 678170, Россия, г. Мирный, Чернышевское шоссе, 16

APATITE FROM MANCHARY KIMBERLITE PIPE (CENTRAL YAKUTIA)

Nikolay Parin¹, Oleg Oleinikov¹, Leonid Baranov²

¹ Diamond and Precious Metals Geology Institute, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, 39 Lenina ave., Yakutsk, 677000, Russia

² Scientific-Investigation Geology Enterprise AC «ALROSA», 16 Chernyshevskoye Highway, Mirny, 678170, Russia

Annotation. The first results of studying individual apatite grains selected from kimberlite rock flow samples are presented. The objects of research were kimberlite rocks, composing the Manchary pipe of the middle Paleozoic Khompu-May field (Central Yakutia). The chemical composition of prismatic apatite crystals was determined by x-ray spectral method. As a result, it was found that the main typomorphic features of apatite from the Manchary pipe are strontium fluorapatite, as evidenced by significant Sr content (up to 9,2%) and the predominance of F content (up to 3,53%) over Cl (up to 0,26%). According to the ratio of these halides, strontium fluorapatite from the Manchary pipe can be attributed to apatites of low-temperature fluid-saturated systems. It was found that apatite from the Manchary kimberlite pipe differs from fpatite from the kimberlite pipes of South Africa and Canada in the composition of such impurities as F and Sr, which indicates the presence of typochemical features of the mineral that allow solving formation problems in the study of kimberlite rocks.

1. Введение

Целью проведенного нами изучения состава апатита было определение его типоморфных особенностей и сравнительная характеристика с апатитами из алмазонасных кимберлитовых трубок ЮАР и Канады как основы для решения формационных задач при исследовании кимберлитовых пород.

2. Апатит из кимберлитов Центральной Якутии

Среднепалеозойская кимберлитовая трубка Манчары, расположенная в 100 км южнее г. Якутск, вскрыта скважинами на глубину более 100 м. Трубка сложена кимберлитовой брекчией и порфиrowым кимберлитом, между которыми существуют постепенные переходы. В кимберлитах присутствуют ксенолиты осадочных пород и серпентинитов, псевдоморфозы серпентина и карбоната по мега-, макрокристаллам и вкрапленникам оливина, а также мега-, макрокристаллы флогопита, макрокристаллы хромшпинелида, пикроильменита и пирропа. Основная масса наименее измененных кимберлитовых пород представлена флогопитом, кальцитом и серпентином [3]. Апатит, наряду с перовскитом и минералами ряда магнетит-хромшпинелид входит в видовой набор первичных минералов мезостазиа кимберлитов и присутствует в них постоянно. В протолочных пробах минерал диагностирован большей частью в виде хорошо образованных водяно-прозрачных кристаллов, имеющих гексагонально-призматический габитус с степенью удлинения (от 1:3 до 1:5) размером от 0,2 до 0,5 мм. Некоторые кристаллы имеют зональное строение.

Определение химического состава апатита проводилось рентгеноспектральным методом на микрозондовом анализаторе JXA-8230 в Центральной аналитической лаборатории НИГП АК "АЛРОСА", аналитик А.С. Иванов. Изучение химического состава апатита из кимберлитовых пород трубки Манчары показало, что кроме основных компонентов в минерале присутствуют SrO (от 0,07 до 9,2%), F (от 2,85 до 3,53%), Cl (от 0,01 до 0,26%), Ce₂O₃ (от 0,01 до 0,36%) и Nb₂O₅ (от 0,01 до 0,44%). Остальные примеси (SiO₂, BaO, MnO, La₂O₃, Nd₂O₃, Yb₂O₃, Sm₂O₃, Dy₂O₃, Gd₂O₃) в пределах чувствительности метода зафиксированы лишь в отдельных зернах (Таблица 1). Основными типоморфными (типохимическими) особенностями апатита является соотношение в нем F и Cl [1]. Содержание F в изученных зернах составляет от 2,85 до 3,53%, что сопоставимо с данными для минерала из кимберлита трубки Гризли (алмазный рудник Экати, Канада) (2,5-4,11%) [2], но выше концентрации фтора в апатите алмазоносной трубки Снэп Лэйк (Канада), где содержание этого элемента составляет от 1,67 до 2,75% [2]. Содержание хлора не превышает 0,26%, как и в кимберлите из трубки Снэп Лэйк [2]. Рассчитанное количество OH в изучаемых зернах не превышает 1,53%. Апатит из кимберлитовой трубки Манчары характеризуется повышенными содержаниями SrO (до 9,2%), по

отношению к таковым из кимберлитовых трубок Бенфонтейн [4], Снэп Лэйк [2], Кимберли [4], Дэ Бирс [4] и Вэссэлтон [4], где содержания этого оксида не превышают 3%.

Таблица 1.

Представительные составы апатита из кимберлитовых пород трубки Манчары, %.

Компоненты	1	2	3	4	5	6	7	8	9
P ₂ O ₅	38,99	39,63	39,52	40,64	39,44	42,12	39,18	41,96	39,43
CaO	49,84	49,47	49,24	49,75	47,46	52,91	45,71	52,52	48,12
SiO ₂	0,46	0,01	0	0,09	0,10	0	0	0	0
SrO	5,97	5,78	4,76	6,63	7,54	0,16	9,20	0,07	6,43
BaO	0	0,08	0,05	0,19	0,53	0	0,32	0,02	0,08
F	3,04	3,18	3,20	3,15	2,85	3,53	2,87	3,42	3,07
Cl	0,02	0,05	0,01	0,26	0,09	0,14	0,02	0,04	0
MnO	0,10	0	0	0	0	0	0	0	0,18
La ₂ O ₃	0	0	0	0,02	0	0,16	0,02	0,12	0
Nd ₂ O ₃	0	0	0,01	0	0,07	0,10	0	0,28	0,01
Ce ₂ O ₃	0,02	0,03	0,01	0,03	0,06	0,19	0,02	0,36	0
Nb ₂ O ₅	0,10	0,28	0,25	0,44	0,38	0,01	0,56	0,17	0,39
Yb ₂ O ₃	0,01	0	0	0,01	0	0	0	0,03	0
Sm ₂ O ₃	0	0	0,04	0	0	0	0	0	0,10
Dy ₂ O ₃	0	0	0,33	0	0	0,03	0	0,51	0
Gd ₂ O ₃	0,59	0	0,24	0	0	0	0,20	0,96	0,83
Сумма	99,16	98,51	97,66	101,21	98,52	99,35	98,09	100,47	98,64

3. Выводы

Таким образом, апатит из кимберлитовой трубки Манчары является фторапатитом, что выражается в преобладании фторапатитового компонента над хлорапатитовым и гидроксилapatитовым. По соотношению этих галогенов фторапатит из трубки Манчары относится к апатитам низкотемпературных флюидонасыщенных систем [1], что позволяет судить об особенностях гидротермальных процессов в кимберлитах. Высокие содержания стронция (до 9,2%) позволяют охарактеризовать минерал, как стронциевый фторапатит. Отличия в составах апатита из трубки Манчары и такового из алмазоносных трубок ЮАР и Канады указывают на наличие типохимических особенностей минерала для конкретных кимберлитовых полей и трубок, что позволяет

использовать примесный состав апатита в сравнительном изучении кимберлитовых пород.

4. Благодарности

Работа выполнена по государственному заданию ИГАБМ СО РАН при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, проект НИР 0381-2019-003.

5. Литература:

- [1] Bushlyakov I.N., Kholodnov V.V. Halogens in the petrogenesis of granitoids. – М.: Nedra, 1986. 192 p.
- [2] Milligan R. S. Features of apatite in kimberlite from Ekati Diamond Mine and Snap Lake: modelling kimberlite composition // Thesis for the degree of Master of Science. - Dalhouse University:2017. - 97p.
- [3] Oparin N., Oleinikov O. Chromospinellides from kimberlite pipes From the Central Yakutia // 19th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2019, www.sgem.org, SGEM 2019 Conference Proceedings. 2019. — Vol. 18. Issue 1.1. — P. 83—90.
- [4] Soltys A., Giuliani A., Phillips D. Apatite from the Kimberley kimberlites (South Africa): petrography and mineral chemistry // International Kimberlite Conference, Gaborone 2017. — Vol. 11.

УДК 553.81:552.32

ХАРАКТЕРИСТИКА ВЕРХНЕПАЛЕОЗОЙСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ СЮЛЬДЮКАРСКОГО КИМБЕРЛИТОВОГО ПОЛЯ

Дмитрий Остапенко

Научно-исследовательское геологическое предприятие АК «АЛРОСА»
(ПАО), 678170, Россия, г. Мирный, Чернышевское шоссе, 16

CHARACTERISTIC OF THE UPPER PALEOZOIC SEDIMENTS OF THE SULDUKAR FIELD

Dmitrii Ostapenko

Scientific-Investigation Geology Enterprise AC «ALROSA», 16
Chernyshevskoye Highway, Mirny, 678170, Russia

Annotation. The main stratigraphic units of the Upper Paleozoic complex of Suldukar field are identified and correlated and their lithological and facial characteristics are given. In order to study the structural plan of the kimberlite-containing basement, the boundaries of the main reference layers of the Kholomolokhskaya Fm. were drawn based on well logging data.

1. Введение

В 2015 при заверке геофизической аномалии Т-54/14, расположенной в бассейне р. Сьюльдюкар, было вскрыто кимберлитовое тело «трубка Сьюльдюкарская». Основная цель данной работы – построение палеогеографической карты на время формирования продуктивных отложений верхнего палеозоя на территорию, включающую вскрытое кимберлитовое тело. На данном этапе собраны материалы по геологии образований, перекрывающих кимберлитовмещающие породы нижнего палеозоя на площади Сьюльдюкарского кимберлитового поля. Материалы собраны по керну скважин пройденных Вилуёйской ГРЭ за период с 2015 по 2020 г. по сети 1x0,5 км. В составе перекрывающих 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 основное внимание было уделено исследованию отложений данного возраста. При исследовании разрезов верхнепалеозойских отложений использованы геолого-геофизические материалы по 41 скважине. По результатам проведенных исследований составлены схемы корреляции (рисунок 1) и литолого-фациальные разрезы по керну скважин буровых линий: №146 (ориентированной в широтном направлении) и по магистрали (скважины № 96-98) от буровой линии №148 до линии №139 (ориентированной ортогонально к буровой линии №146), вскрывших наиболее полные разрезы исследуемых отложений. Расчленение и корреляция разрезов верхнего палеозоя 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, как правило, граница начала трансгрессии и переход от более грубозернистых разностей к мелкозернистым. При проведении фациального анализа на данном этапе особое внимание было уделено

следующим генетическим признакам: гранулометрический состав, текстура, наличие органических остатков. 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 холмолохской свиты, уточнённые с применением диаграмм ГИС.

2. Литолого-фациальная характеристика свит

В геологическом строении СКП принимают участие два структурно-вещественных этажа. Нижний – метаморфогенные породы архея-раннего протерозоя, верхний – породы чехла, в разрезе которого выделяются вендско-нижнепалеозойский ($V - PZ_1$), верхнепалеозойско-раннепермский ($PZ_3 - MZ_1$) и мезозойско-кайнозойский ($MZ - KZ$) структурные ярусы, общей мощностью 2,4-2,7 км. В составе $V - PZ_1$ структурного яруса верхняя часть, в пределах исследуемой территории СКП, представлена холмолохской свитой ($\epsilon 3hl$). Данные образования со значительным стратиграфическим перерывом перекрыты отложениями верхнего палеозоя. По результатам проведенных исследований, в составе верхнепалеозойских отложений выделены, в соответствии с легендой Батуобинской серии листов геологических карт масштаба 1:50000 [2] местные стратиграфические подразделения:

Ботубинская свита (C_{2-3bt}). На изученной территории отложения данной свиты являются наиболее древними в разрезе верхнего палеозоя и имеют локальное площадное распространение, в наиболее пониженных частях поверхности нижнепалеозойского рельефа, несогласно залегают на породах цоколя. Свита представлена одной простой циклитой, в составе которой выделены проллювиально-деллювиальные, аллювиальные, озёрные и озёрно-болотные обстановки осадконакопления. Мощность свиты изменяется от 0 до 10 м.

Ахтарандинская свита (P_{1ah}). В пределах изученной территории отложения свиты имеют повсеместное распространение, со стратиграфическим несогласием залегают на образованиях PZ_1 и, локально, на породах ботубинской свиты. Разрез свиты характеризуется полициклическостью, выделяются от двух до четырёх гранулометрических циклит, обусловленных сочетанием различных обстановок

осадконакопления, генерализованно образующих две циклиты более высокого ранга (мезоциклиты). В составе нижней мезоциклиты выделены обстановки: аллювиально-дельтовые, дельтовые, подвижного мелководья, баровые, лагунные, а в составе верхней - слабоподвижного мелководья и отложения низменной приморской равнины. Мощность свиты от 10 до 30 м.

Ботубобинская и ахтарандинская свиты являются основными коллекторами ИМК на территории СКП.

Боруллоуская свита (P_2br). Разрез свиты на изученной территории в значительной степени искажён за счёт проявления траппового магматизма и эродирован, охарактеризовать его в полной мере не представляется возможным.

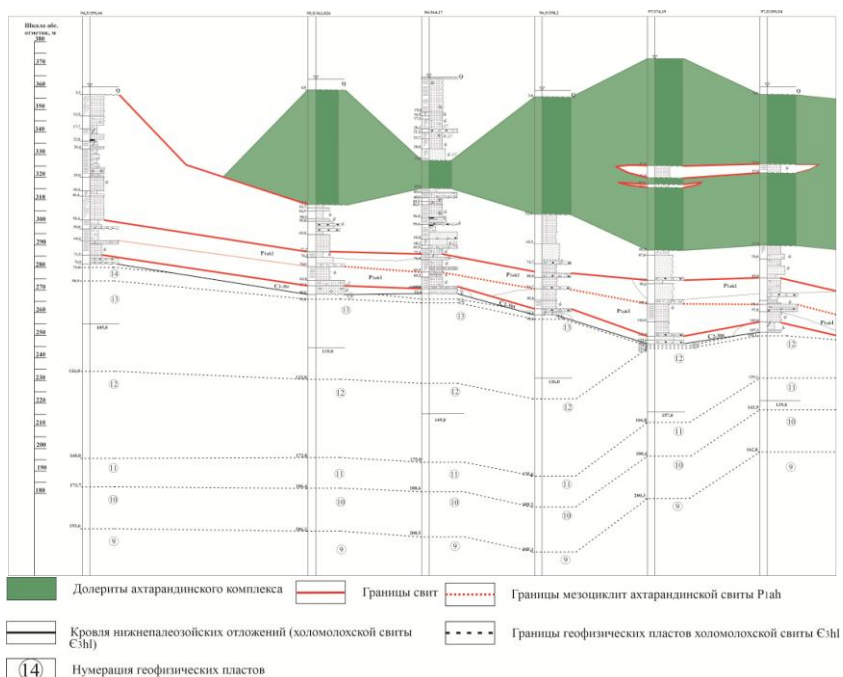


Рисунок 1 Фрагмент рабочего варианта схемы корреляции разрезов скважин по буровой линии 146

3. Выводы

В разрезе верхнего палеозоя, в пределах изученного участка выделены и прослежены по простираанию ботуобинская и ахтарандинская свиты, являющихся основными коллекторами ИМК, дана их литолого-фациальная характеристика. Результаты проведённых работ будут использованы при составлении палеогеографических карт, как основы для поисков коренных месторождений алмазов на территории СКП.

4. Благодарности

Автор выражает искреннюю благодарность с.н.с. 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, №2 pp. 7-16 (in Russian).
- [2] Giniyatullin I.M., Blazhkun D.V. Materials for the legend of the Botuobinskaya series of sheets of geological maps of scale 1: 50,000 // "Yakutskgeology", 1989, p. 70 (in Russian).

УДК 548.12

КРИСТАЛЛОГРАФИЧЕСКИЕ СИММЕТРИЙНЫЕ И КОМБИНАТОРНЫЕ ТИПОМОРФНЫЕ ПРИЗНАКИ ДОДЕКАЭДРОИДОВ АЛМАЗА ИЗ РОССЫПЕЙ СЕВЕРО-ВОСТОКА СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ И КИМБЕРЛИТОВ ЯКУТСКОЙ АЛМАЗОНОСНОЙ ПРОВИНЦИИ

Антон Павлушин¹, Дмитрий Степенщиков²

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

² ФГБУН Геологический институт Кольского НЦ РАН, 184200, Россия, г. Апатиты, ул. Ферсмана, 14

CRYSTALLOGRAPHIC SYMMETRY AND COMBINATORIAL TYPOMORPHIC CHARACTERISTICS OF DODECAHEDRAL DIAMOND FROM PLACERS OF THE NORTHEASTERN SIBERIAN PLATFORM AND KIMBERLITES OF THE YAKUTIAN DIAMONDIFEROUS PROVINCE

Anton Pavlushin¹, Dmitriy Stepenschikov²

¹ Diamond and Precious Metals Geology Institute, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, 39 Lenina ave., Yakutsk, 677000, Russia

² GI KSC RAS, 14 Fersman st., Apatity, 184200, Russia

Annotation. A new method of computer analysis of the symmetry of the real shape of diamond crystals of dodecahedral habit is tested. Produced the first objective data on the distorted form of crystals from placer Kholomolokh of the Anabar diamondiferous district and from placer Pyropovy Ruchey near the Udachnaya pipe Daldyno-Alakit diamondiferous district. the curved surface of the dodecahedron, its geometry, external distorted shape and symmetry is a typomorphic feature that directly characterizes the conditions for diamond formation. The distinctive typomorphic features of the studied diamond dodecahedra are the degree of curvature of the faces, as well as the symmetry and nature of distortion of the external shape.

1. Введение

Основной задачей исследования являлось обоснование принципиальной возможности кристаллографического симметричного и комбинаторного анализа реальной, как правило, искаженной формы округлых додекаэдровидов растворения кристаллов алмаза. Качественными морфологическими типоморфными признаками россыпных алмазов из неизвестных коренных источников и алмазов заведомо кимберлитового происхождения могут стать форма, внешняя симметрия, степень и характер искажения округлых додекаэдровидов.

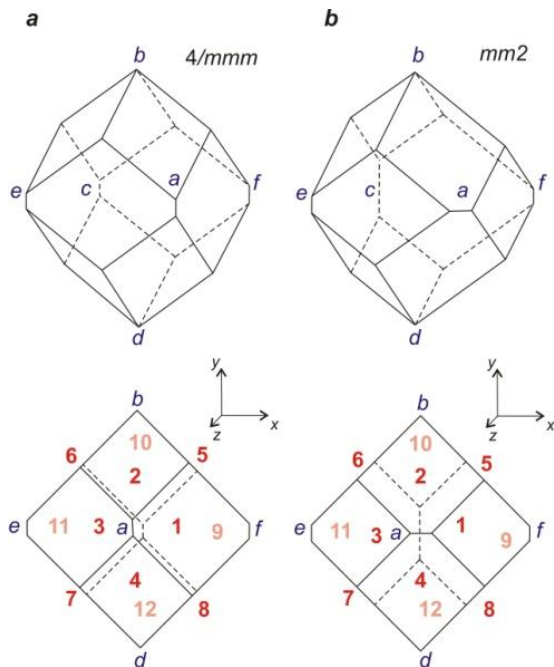


Рисунок 1. Модели измерения реальной искаженной формы додекаэдров алмаза.

2. Методика изучения додекаэдров алмаза

Кристалломорфологическое исследование ромбододекаэдров алмаза выполнено с помощью компьютерной программы «Интерактивный анализ видимой симметрии искаженных кристаллов алмаза» для ОС Windows, разработанной в ИГАБМ СО РАН по заказу НИГП АК «АЛРОСА» [1-2]. Программа рассчитывает результаты инструментальных измерений кристаллов и позволяет дать исчерпывающую характеристику искажённой формы полногранного ромбододекаэдра. Основными параметрами измерения кристаллов являются расстояния между параллельными гранями и длины трёх дополнительных ложных ребер a , b и f (рисунок 1), возникающих на месте вершин ромбододекаэдра за счет неравномерного развития граней кристалла. Положительным, либо отрицательным знаком перед показателем длины ложного ребра указывается его ориентировка, что кардинальным образом влияет на гранный набор и внешней симметрию

формы кристалла. Так, у кристалла на рисунке 1 а внешняя симметрия относится к тетрагональной точечной группе $4/m\bar{3}m$, а на рисунке 1 б к ромбической $mm2$. После ввода данных программа отстраивает масштабную трехмерную модель искаженной формы измеренного кристалла. Автоматически определяется морфологический тип искажения, гранный набор и видимая симметрия кристалла, оцениваемая интегрально с помощью сравнения площадей и формы граней, связанных предполагаемыми элементами симметрии. Точность сравнения граней задается в интерфейсе программы изменяемой величиной коэффициента асимметрии и сопровождается визуальным контролем оценки внешней симметрии искажённой формы кристалла. Измерение кристаллов алмаза проводилось с помощью цифрового штангенциркуля или с помощью линейки окулярного микрометра микроскопа и объект-микрометра с точностью измерений $\pm 0,01$ мм. Всего было инструментально изучено 34 додекаэдрических кристалла алмаза.

3. Результаты изучения реальной формы додекаэдров алмаза

Получены первые объективные данные об искаженной форме кристаллов из россыпей Холомолоох, Анабарского алмазоносного района и россыпи Ручей пироповый Далдыно-Алакитского алмазоносного района питавшейся алмазами из кимберлитов тр. Удачная. По сравнению с додекаэдрами кимберлитового происхождения из россыпи Пироповый ручей, додекаэдровиды из россыпи Холомолоох, представляющие россыпи северо-востока Сибирской платформы, имеют более значительную степень искривления выпуклых граней додекаэдровидов, что требует внесения поправок в результаты измерения расстояний между параллельными гранями. Расхождение результатов измерений между искривленными гранями додекаэдрических кристаллов кимберлитового происхождения находится в пределах погрешности измерений прибора и не требует корректировки. У кристаллов из россыпи Пироповый ручей зафиксировано 9, а из россыпи Холомолоох 13 морфологических типов искажения ромбододекаэдра. Кроме статистических различий в гранных наборах отмечены различия внешней симметрии искажения додекаэдров. Общими морфологическими типами искаженного ромбододекаэдра для месторождений являются разновидности №2 [0363], №5 [0444], №7 [0444], №8 [0462] с соответствующими гранными наборами. Алмазы из

россыпи Холомолоох проявляют более широкое разнообразие искажений, несмотря на это, ложная симметрия кристаллов ограничена индивидами с низшими группами псевдомоноклинной (m) и (2) и псевдотриклинной симметрии (1). У кристаллов из россыпи Ручей пироповый кроме перечисленных наблюдалась ромбическая группа ($mm2$) и триклинная группа симметрии с центром инверсии ($\bar{1}$). Но все же, выборка алмазов из россыпи Холомолоох выделяется наличием трех кристаллов с комбинаторным типом №2 [0363] более высокого – псевдотригонального вида симметрии (32). Данный вид симметрии додекаэдроида является подгруппой предельной группы симметрии $\infty 2$ (симметрия скрученного в противоположных направлениях цилиндра) и может являться признаком эффекта вращения кристалла или относительного вращения окружающей кристалл среды в ходе процесса растворения.

4. Выводы

Очевидно, спектр разнообразия морфологических типов ромбододекаэдра алмаза более широк, чем он отражен в исследованной выборке, и требует дальнейшего анализа кристаллов из россыпных месторождений северо-востока Сибирской платформы, в которых доминируют додекаэдроиды алмаза уральского типа и додекаэдров кимберлитового происхождения. Уже на начальном этапе работы установлен ряд отличительных особенностей исследуемых алмазных додекаэдров уральского типа, которые заключаются в степени искривления граней, визуальной симметрии, характере искажения внешней формы позволяющих их использовать в качестве типоморфных признаков. Трудоемкость выполнения инструментальных измерений искаженных многогранных форм кристаллов алмаза очевидна, и требует усовершенствования. Для оперативного получения статистически значимых данных необходимо создание программного комплекса, позволяющего анализировать трехмерные изображения многогранников алмаза. Они могут быть получены с помощью трехмерного сканирования алмаза бесконтактными оптическими и лазерными измерительными устройствами, либо рентгеновской томографии. Такая технология измерения полноценных кристалломорфологических характеристик позволит оперативно получать и обрабатывать большой массив данных о симметрии индивидов алмаза, что в дальнейшем может

стать гарантией успешного и широкого применения данного метода в практике геолого-поисковых работ.

5. Благодарности

Исследование выполнено по Госзаданию ИГАБМ СО РАН.

6. 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. P. 45 (in Russian).

[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).

УДК 553.04

СОСТОЯНИЕ, ПЕРСПЕКТИВЫ И ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ СТРАТЕГИЧЕСКИ ВАЖНЫХ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ ЛЕНО-ХАТАНГСКОГО РАЙОНА СИБИРСКОЙ АРКТИКИ

Николай Похиленко¹, Валентин Афанасьев¹, Александр Толстов²

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

² Научно-исследовательское геологическое предприятие АК «АЛРОСА»
(ПАО), 678170, Россия, г. Мирный, Чернышевское шоссе, 16

CONDITION, PROSPECTS AND DEVELOPMENT PROBLEMS OF THE STRATEGICALLY IMPORTANT SOLID RESOURCES OF THE LENO-KHATANGSKY REGION OF THE SIBERIAN ARCTIC

Nikolay Pokhilenko¹, Valentin Afanasiev¹, Alexander Tolstov²

¹ V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy Siberian Branch Russian Academy of Sciences, 3 ave. Akademika Koptyuga, Novosibirsk, 630090, Russia

² Scientific-Investigation Geology Enterprise AC «ALROSA», 16 Chernyshevskoye Highway, Mirny, 678170, Russia

Annotation. The article presents the development prospects of the mineral resources base of solid minerals in the Arctic region of the Siberian platform. The data on the following types of raw materials are given: 1) diamonds; 2) rare, rare-earth and noble metals; 3) diamond-lonsdeilite raw material of impact origin with unique technological characteristics.

1. Введение

Программа развития Арктической зоны РФ тесно связана с перспективами развития на этой территории добывающей промышленности. Анализ состояния и возможностей наращивания сырьевой базы углеводородного сырья и твердых полезных ископаемых арктических районов Центральной и Восточной Сибири показывает, что в ближайшие десятилетия для экономики континентальной части этой территории значительную, если не преобладающую роль будет играть уровень развития добывающей промышленности стратегически важных твердых полезных ископаемых. В этой связи принципиально важным представляется проведение опережающих региональных и тематических геологических исследований, нацеленных на объективную оценку перспектив конкретных арктических территорий на выявление определенных видов полезных ископаемых, добыча которых будет оправдана и целесообразна в Арктике. К таким видам твердых полезных ископаемых можно отнести: 1) алмазы; 2) редкие, редкоземельные и благородные металлы; 3) алмаз-лонсдейлитовое абразивное сырье импактного происхождения с уникальными технологическими характеристиками.

2. Результаты исследований

Алмазы. Перспективы коренной алмазности Сибирской платформы (СП), включая ее арктические территории, связываются с проявлениями кимберлитового магматизма домезозойского возраста [1, 2, 3, 4, 5, 6]. U-Pb датирование цирконов из 16 кимберлитовых полей платформы,

включая поля северной части СП [7], позволило выделить следующие этапы проявлений кимберлитов домезозойского возраста: позднесилурийский – раннедевонский (423-407 млн. лет, однако для этого этапа необходимо провести проверку в связи с некоторыми нестыковками, связанными с историей геологического развития СП), позднедевонский – раннекарбонный (370-344 млн. лет). Кимберлиты протерозойского возраста в пределах СП пока не выявлены, хотя имеются определенные предпосылки их присутствия по крайней мере на ее северо-восточной части [3]. В полях домезозойского возраста арктической части СП – Чомурдахском, Западно-Укукитском, Восточно-Укукитском, Мерчимденском и Огонер-Юряхском кимберлиты с промышленными уровнями алмазности пока не установлены, несмотря на обилие выявленных тел. Тем не менее, для ряда площадей северо-востока СП выявлены надежные признаки присутствия еще не найденных высокоалмазносных кимберлитов палеозойского возраста. К таким площадям относятся: 1) правобережная часть р. Анабар (бассейны рек Маят, Биллях, Уджа); 2) южное обрамление Оленекского поднятия (верховья бассейна р. Молодо, бассейны правых притоков р. Кютюнгдэ). Помимо упомянутых, на северо-востоке СП имеются и другие перспективные участки. К примеру, в трех мелкообъемных пробах, взятых из нижней части разреза пермских отложений, несогласно залегающих на кембрийских карбонатных породах в бассейне реки Куойка, установлены редкие зерна пиропов и пикроильменитов кимберлитового типа, что однозначно указывает на наличие в регионе кимберлитов допермского возраста. На этих площадях в разновозрастных терригенных породах обнаружены значительные количества алмазов кимберлитового типа и пиропов, особенности состава которых указывают на большую мощность и низкие степени метасоматической проработки истощенных перидотитов литосферной мантии на глубинах, отвечающих области стабильности алмазов, под выносившими их кимберлитами. Эти районы имеют хорошие перспективы выявления новых полей кимберлитов палеозойского возраста, включающих тела с промышленной алмазностью..

Уникальные месторождения Арктики – Томторское ниобий-редкоземельных металлов и Попигайское – высокообразивного алмазлонсдейлитового сырья являются крупнейшими источниками высоколиквидных видов минерального сырья. Опережающее доизучение Томторского месторождения и его освоение позволит обеспечить

Россию полным ассортиментом редкоземельной продукции и гарантирует реализацию стратегических интересов нашей страны в инновационном направлении. Уникальные параметры руды диктуют необходимость детального изучения вещественного состава и разработки оптимальной схемы ее переработки. В рудах Китая, Бразилии, Канады, а также других российских месторождений, резко преобладают легкие лантаноиды лантан-цериевой группы, сравнительно дешевые и недефицитные, а средние и тяжелые лантаноиды - наиболее дорогие и дефицитные, содержатся в небольших концентрациях – это первые сотни граммов на тонну. В томторской руде содержание средних и тяжелых лантаноидов составляет уже килограммы на тонну при их общем содержании, достигающим 10-12 кг на тонну, а это уже на порядок больше, чем в рудах других месторождений [8]. Запасы редких элементов в пределах только одного участка Буранный при нынешней конъюнктуре могут обеспечить потребности России на сотни лет [8], а они, как уже упоминалось, составляют около одной десятой от общих ресурсов РЗЭ месторождения Томтор. Для общей оценки стратегической важности этого региона следует упомянуть, что недалеко от Томторского месторождения, в той же рудоконтролирующей зоне есть еще три других щелочных комплекса, для двух из них получены лишь самые первые данные, показывающие, что они по типу и строению весьма похожи на Томторский массив. Третий массив перекрыт относительно маломощной (около 100 м) толщей молодых пород, но по данным геофизических съемок он близок по строению Томторскому, возможно даже больший по размерам. Поэтому вместе с доизучением Томторского массива следует ставить задачу оценки рудных потенциалов других подобных объектов Уджинского поднятия. Таким образом, ресурсы этого района по РЗЭ могут быть просто колоссальными. Здесь уместно также упомянуть полученные нашими якутскими коллегами новые данные о высоких содержаниях россыпных платины и золота в речном аллювии региона, причем в крупных зернах платины содержатся включения минералов щелочных пород. Это прямо указывает на то, что платина генетически связана с находящимися на этой территории щелочными массивами. Следовательно, там могут быть крупные месторождения благородных металлов, и в этом направлении там также необходимо активно работать.

Попигайский метеоритный кратер – единственное в мире месторождение нового вида минерального сырья - алмаз-лонсдейлитового абразива

(АЛ). Породы из Попигаевского метеоритного кратера, насыщенные алмаз-лонсдейлитовыми сростаниями, были исследованы методами просвечивающей электронной микроскопии и рентгеновской дифракции. Сростания представлены равномернозернистым агрегатом алмаза и небольшим количеством лонсдейлита с размером кристаллитов 20-50 нм. Такая структура препятствует зарождению микротрещин и дислокаций, увеличивая твердость, предел текучести, износостойкость и температуру начала графитизации и делает этот природный наноструктурированный материал весьма перспективным для широкого ряда отраслей высокотехнологичной промышленности [9, 10]. Освоение данного сырья, помимо прочего, направлено на импортозамещение и одновременно ориентировано на экспорт благодаря его уникальным технологическим характеристикам и практически неисчерпаемым ресурсам месторождения.

Необходимость организации опережающего полномасштабного научно-методического сопровождения работ по вовлечению этого уникального объекта в промышленное освоение обусловлена следующими причинами:

- новый вид сырья обладает исключительными технологическими характеристиками [9, 10], но они слабо изучены применительно к современным технологиям;

- этот вид сырья не был представлен на рынке, поэтому для него нет рыночной цены, нет достаточно объективных оценок спроса, поэтому необходимы экономические исследования, сюда же входят вопросы энергоснабжения и логистики проекта, поскольку месторождение находится в труднодоступной и практически неосвоенной части Арктической зоны;

- разработанная ранее (в 80-е годы прошлого века) технология обогащения коренных руд устарела и диктует необходимость ее обновления с учетом современных требований экологической безопасности, без чего невозможно начинать освоение месторождения.

Решение этих вопросов позволит в кратчайшие сроки получить неисчерпаемый источник нового вида сырья при производстве конструкционных и функциональных композиционных материалов нового поколения, позволяющих кардинально повысить производительность труда, качество обработки деталей в технологических процессах, в которых применяются природные и синтетические алмазы, иных технологических свойств (в производстве

катализаторов, в электронике, в производстве фильер и т.д.), а также в стратегии развития российских и зарубежных глобальных корпораций и компаний, в деятельности которых может быть использован новый вид высокотехнологического сырья.

Уникальность и ресурсный потенциал характеристик охарактеризованных выше месторождений стратегически важных видов минерального сырья Лено-Хатангского района [8, 9, 10, 11, 12], имеют планетарный масштаб и характер, несомненно, послужат основанием необходимости их скорейшего освоения.

3. Выводы

Лено-Хатангский регион Арктической зоны Сибирской платформы обладает огненным потенциалом в отношении минерально-сырьевой базы твердых полезных ископаемых – алмазов, редких металлов, импактного абразивного сырья с уникальными свойствами. Их изучение и освоение позволит не только значительно пополнить минерально-сырьевые ресурсы РФ, но и дать толчок экономическому развитию региона, позволит решить геополитические задачи, связанные с освоением Арктических территорий РФ. Необходимо проявлять настойчивость в решении этих задач.

4. Благодарности

Данная работа была выполнена в рамках базового проекта ИГМ СО РАН и проектов РФФИ 18-05-70063 Ресурсы Арктики и 20-05-00662а.

5. Литература:

- [1] Pokhilenko N.P., Sobolev N.V. Mineralogical mapping of the North-East section of the Yakutian kimberlite province and its main results // 6th Int. Kimberlite Conf., Novosibirsk, Aug., 1995: Ext. Abstr., Novosibirsk, 1995, P. 446-448.
- [2] 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 // Proceedings of the 7th International Kimberlite Conference, University of Cape Town, South Africa, April 11-17, 1998. Vol. 2, Cape Town, 1999, P. 689-698.

- [3] Afanasiev V.P., Pokhilenko N.P., Lobanov S.S. Placer diamond potential of the siberian craton: Possible sources and ages // *Geology of Ore Deposits*. 2011. V. 53. № 6. P. 474-477.
- [4] Afanasiev V.P., Pokhilenko N.P., Vavilov M.A. et al. Prospects of presence of primary diamond deposits in right part of the Anabar River basin // *Otechestvennaya geologiya*. 2019. 5. 60-73 (In Russian).
- [5] Pokhilenko N.P., Afanasiev V.P., Agashev A.M., Malkovets V.G. Prospects of finds of new primary diamond deposits inside the Northern part of Siberian Platform // In: *Geology and Mineral Resources of North-East of Russia. Proc. of 5th All Russia Scientific-Applied Conf. Yakutsk. NEFU Publ. House*. 2015. P.376-379 (In Russian).
- [6] Pokhilenko N.P., Afanasiev V.P., Agashev A.M. et al. Prospects of presence of primary diamond deposits in arctic territories of Siberian and North American Platforms // In: *Diamond Deposits: formation processes, rules of localization, prospecting methods. Proc. of Diamond Workshop, Novosibirsk. IGM SB RAS – 2016*. P. 6-13 (In Russian).
- [7] Malkovets V.G., Belousova E.A., Tretiakova I.G., et al. New data on the Siberian Craton kimberlites age: results of kimberlite zircons U-Pb dating // In: *Geology and Mineral Resources of North-East of Russia. Proc. of 7th All Russia Scientific-Applied Conf. Yakutsk. NEFU Publ. House*. 2017. P.329-333 (In Russian).
- [8] Pokhilenko N.P., Tolstov A.V. Development Prospects of the Tomtor deposit of complex Niobium-REE ores // *ECO – All Russia Economy Journal*. 2012. 11. P. 17-27 (In Russian).
- [9] Afanasiev V.P., Pokhilenko N.P. Impact diamonds of Popigay: a new Russian material for existing and future technologies // *Innovatika i Expertiza*. 2013. 1. (10). P. 8-15 (In Russian).
- [10] Vityaz P.A., Senyut' V.T., Afanasiev V.P. A Diamond and Carbon-bearing composite materials and covers: producing, features and applying // In: *Pros. 2nd Intern. Conf., Moscow, Troitsk. TISNUM*. 2019. P. 74-75 (In Russian).
- [11] Pokhilenko N.P., Afanasiev V.P., Tolstov A.V., Yagolnitsers M.A. Impact Diamonds: a new type of high technologies material // *ECO – All Russia Economy Journal*. 2012. 12. P. 5-11 (In Russian).
- [12] Dobretsov N.L., Pokhilenko N.P. Mineral resources and development in the Russian Arctic // *Russian Geology and Geophysics*. 2010. V. 51. № 1. P. 98-111.

УДК 550.8

**СТРУКТУРИРОВАННОЕ ХРАНЕНИЕ ПЕРВИЧНОЙ
ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ
ВОЗМОЖНОСТИ ОПЕРАТИВНОГО ВОВЛЕЧЕНИЯ В
АНАЛИТИЧЕСКУЮ ОБРАБОТКУ**

Сергей Ратьков, Юрий Суслонов

Научно-исследовательское геологическое предприятие АК «АЛРОСА»
(ПАО), 678170, Россия, г. Мирный, Чернышевское шоссе, 16

**STRUCTURED STORAGE OF THE PRIMARY
GEOLOGICAL INFORMATION FOR THE
OPPORTUNITY OF OPERATIONAL INVOLVEMENT IN
ANALYTICAL PROCESSING**

Sergey Ratkov, Yuri Suslonov

Scientific-Investigation Geology Enterprise AC «ALROSA», 16
Chernyshevskoye Highway, Mirny, 678170, Russia

Annotation. To solve geological problems, modern approaches to the organization of geological information are required. In the exploration complex of AK ALROSA, several basic databases have been created for use in geographic information systems and access to geological and geophysical information. For storage of primary geological information, the ISIHOGY information system has been developed, which provides the input and storage of geological documentation, testing, GIS, geophysical anomalies, and laboratory research results. This allows you to provide quick access to geological information, to involve the entire amount of accumulated information in analytical studies, to further process the results in any software.

1. Введение

Совокупность данных, организованных в соответствии с определёнными правилами получила определение базы данных. Для решения геологических задач требуются современные подходы к организации геологической информации, требуется создание многопользовательских баз данных, сущности которых должны быть очень тесно

взаимосвязаны, обеспечена возможность визуализации таких данных в специализированном программном обеспечении, формирование различной сложности выборок и отчетов. Выполнение этих требований позволяет объединить в едином геолого-информационном пространстве разнородную информацию, оперативно вовлекать ее в аналитические исследования. На возможность использования геологической базы данных в аналитических исследованиях влияют следующие основные принципы: систематическое наполнение; качество данных; применение единых справочников; возможность оперативного доступа к информации [1].

Геологоразведочный комплекс АК «АЛРОСА» обеспечивает прирост минерально-сырьевой базы, что требует обработки большого объема геологической информации поступающей в результате деятельности подразделений. Это в свою очередь приводит к необходимости организации ввода и хранения информации в централизованные базы данных, обеспечении доступа к геологической информации.

2. Результаты работ

В геологоразведочном комплексе АК «АЛРОСА» для использования в геоинформационных системах и получения доступа к геолого-геофизической информации создано несколько основных баз данных: первичной геологической информации, пространственной информации, специализированных исследований алмазов, ИМК и пород.

База данных первичной геологической информации и клиентское приложение для обеспечения ее наполнения функционируют достаточно продолжительное время. Данная информационная система получила название ИСИХОГИ (Информационная Система Интеграции Обработки и Хранения Геолого-Геофизической Информации). В настоящее время ИСИХОГИ является базовым программным обеспечением для геолого-геофизического персонала геологоразведочного комплекса и обеспечивает ввод и хранение геологического документирования, опробования, ГИС, геофизических аномалий, результатов лабораторных исследований (минералогия, геохимия, петрография, микрозонд и др. анализов) (Рисунок 1). Помимо этого, информационная система обеспечивает возможность оперативного мониторинга за выполнением геологоразведочных работ за счет применения специальных статусов для всех основных сущностей базы данных (отслеживание движения пробы, бурения скважин, количества отобранных проб и выполненных анализов в лаборатории).

Таким образом геологическая проба, отобранная с керна скважины, имеет пространственную привязку не только по координатам X и Y, но и по координате Z, так как вносится информация об отметке устья скважины, ее глубине, интервале отбора пробы. При этом после проведения соответствующих исследований в лаборатории, полученные результаты также имеют пространственную привязку, что позволяет нам производить более глубокую дальнейшую обработку полученных результатов в любом специализированном программном обеспечении, как для подготовки картографического материала, так и для трехмерного моделирования поверхностей и геологических тел.

Одним из важнейших аспектов для функционирования базы данных является достоверность вводимых данных, которая должна обеспечиваться как за счет действий пользователя, который поставляет информацию, так и за счет контроля за вводом данных со стороны клиентского приложения [2]. Для информационной системы ИСИХОГИ разработаны соответствующие регламенты и инструкции, которые позволяют описать необходимую последовательность действий пользователя для корректного внесения информации. Программой предусмотрена дополнительная проверка на корректность вводимой информации будь то геологическая документация, опробование, или лабораторные исследования.

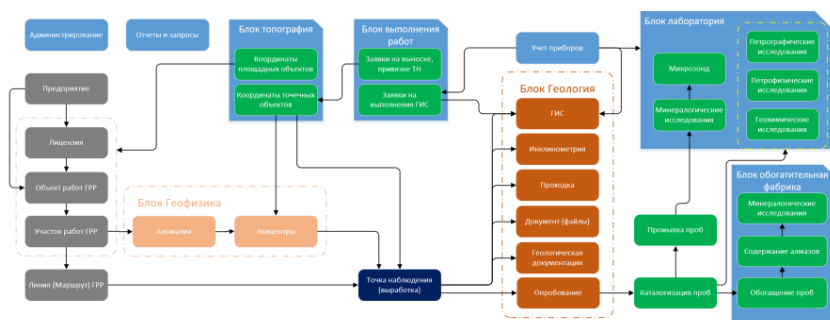


Рисунок 1. Блок-схема модулей информационной системы ИСИХОГИ.

Наличие полной и достоверной информации в геологической базе данных открывает широкие возможности для ее дальнейшего использования не только в программном обеспечении, но и для

формирования электронной документации. Так с использованием ИСИХОГИ появилась возможность формирования электронной документации скважины, которая полностью повторяет бумажный аналог, что позволяет, в будущем, полностью отказаться от привычного способа предоставления документации, в том числе в федеральные фонды. Формирование электронных отчетов по результатам исследования проб в лаборатории исключило необходимость печати результатов и повысило оперативность предоставления результатов заказчику.

3. Выводы

Таким образом, использование информационной системы ИСИХОГИ и других специализированных баз данных позволило не только структурировать геологическую информацию, обеспечить ввод и сохранность всех необходимых атрибутов геологических данных, их достоверность, но и оперативно вовлекать в интерпретацию и переинтерпретацию весь накопленный объем геолого-геофизической информации, что в свою очередь позволило повысить качество анализа геологической информации.

4. Литература:

- [1] Lutenko T.Yu. Use of a database as the method of storage of geological information// Bulletin of the Transnistrian University, 2019.
- [2] Basargin A.A. Designing a database structure for reporting reserves and resources of solid minerals // Collection of materials Interexpo GEO, 2014, vol. 2.

УДК 551.24:553.81

ГЕОКАРТИРОВАНИЕ БАЗИТОВЫХ КОМПЛЕКСОВ НА ПЛОЩАДИ АЛАКИТ-МАРХИНСКОГО КИМБЕРЛИТОВОГО ПОЛЯ ПРИ ПРОГНОЗНО- ПОИСКОВЫХ РАБОТАХ НА АЛМАЗЫ

Равиль Салихов¹, Александр Толстов¹, Михаил Томшин²

¹ АК «АЛРОСА» (ПАО), Россия, 678170, г. Мирный, ул. Ленина, 6

² ФГБУН Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН,
Россия, 677000, г. Якутск, пр-т Ленина, 39

GEOMAPPING OF BASITE COMPLEXES ON THE AREA OF THE ALAKIT-MARKHA KIMBERLITE FIELD DURING FORECAST AND PROSPECTING ON DIAMONDS

Ravil Salikhov¹, Alexander Tolstov¹, Mikhail Tomshin²

¹ ALROSA (PJSC), 6 Lenina st., Mirny, 678170, Russia

² Diamond and Precious Metals Geology Institute, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, 39 Lenina ave., Yakutsk, 677000, Russia

Annotation. An algorithm for selecting sites in areas with a wide development of dolerite intrusions for setting up a detailed ground magnetic survey to search for kimberlite bodies is presented. In the supporting baring on the basis of rocks chemical and physical information belonging of intrusions is determined to the concrete magmatic basics complex. The contour of area of development of identified intrusions mapping on the natural habitat of development of certain taxon, got on classification of magnetic-field in the program «Coscad» on the area of the supporting baring.

1. Введение

Алакит-Мархинское кимберлитовое поле (АМКП) размещается в юз-й части Далдыно-Алакитского алмазонасного района Якутской алмазонасной провинции. Кимберлитовмещающий карбонатный цоколь в районе представлен венд-нижнепалеозойским структурным ярусом. Перекрывающий комплекс формируют терригенные и вулканогенные образования позднепалеозойско-раннемезозойского структурного яруса. Все комплексы секутся интрузиями (чаще пластовыми) и дайками долеритов поднепермского-раннетриасового возраста.

Объектами прогнозно-поисковых работ на алмазы являются кимберлитовые трубки. Наиболее контрастные различия физических свойств кимберлитов, вмещающих и перекрывающих пород наблюдаются по параметру магнитной восприимчивости. Для кимберлитов АМКП она изменяется от 25 - 50×10^{-6} до 3200×10^{-6} ед. СГС. Кимберлиты месторождений и перспективных проявлений алмазов характеризуются средне-высокой намагниченностью, от 950

(Краснопресненская) до 2720×10^{-6} ед. СГС (Сытыканская), среднее - 1320×10^{-6} ед. СГС (исключение - ураганноалмазоносная трубка Айхал, 320×10^{-6} ед. СГС). Вмещающие и перекрывающие породы имеют низкую магнитную восприимчивость $(2-55) \times 10^{-6}$ ед. СГС.

Широкому применению магниторазведки для поисков в условиях АМКП мешает соизмеримая с намагниченностью кимберлитов магнитная восприимчивость долеритов, которая колеблется от 300×10^{-6} ед. СГС до 2000×10^{-6} ед. СГС и более, в среднем $(1200-1500) \times 10^{-6}$ ед. СГС. Выделить в магнитном поле аномальный эффект от кимберлитовых трубок не удаётся.

В современных условиях требуется найти нетривиальные подходы к поискам на алмазы на закрытых траппонасыщенных территориях, позволяющие уйти от метода последовательного сгущения поисковой сети скважин к выделению кимберлитоперспективных аномалий или локальных аномальных участков (площадью до $1-2 \text{ км}^2$). Одним из направлений может стать проведение современной высокоточной наземной магнитной съёмки (НМС), для постановки которой возможно выделение площадей, где она может оказаться вполне работоспособной.

Интрузивные базиты АМКП и восточного борта Тунгусской синеклизы делятся на три петрохимических типа, соответствующие трём самостоятельным фазам внедрения. Петротипы значительно различаются по петро- и геохимическим, а также петрофизическим характеристикам [1, 4, 5]. Согласно Петрографическому кодексу (1995 г.), основной картируемой единицей для нестратифицированных магматических образований является магматический комплекс. На основе сравнительного статистического анализа петрокомпонентов авторами разработаны дискриминационные правила для отнесения петротипов, картируемых на площади АМКП, к трём базитовым комплексам [2]. Интрузивные породы первой фазы по схеме [4, 5] коррелируются с базитами оленек-велинггинского комплекса габбродолеритов и такситовых долеритов, второй фазы - с породами катангского комплекса долеритового, а третьей – кузьмовского комплекса феррогаббро-долеритового.

Из различий по петрофизическим параметрам [1, 2, 4] наиболее важно для прогнозно-поисковых работ, что породы кузьмовского комплекса имеют чётко проявленную обратную намагниченность и низкий фактор

Q. Базиты кузьмовского комплекса, в отличие от магматитов двух других комплексов, создают отрицательные и слабоположительные магнитные поля ΔT_a интенсивностью до 150 - 200 γ , на фоне которых возможно выявить магнитные аномалии от кимберлитовых трубок.

2. Картирование траппов

Обширность занимаемой площади на дневной поверхности при относительно небольшой мощности отдельных субластовых интрузий и многоэтажность в разрезе определяют возможность сонахождения на одних и тех же гипсометрических уровнях интрузий, относящихся к разным комплексам даже при малоамплитудных тектонических смещениях по вертикали. В этих условиях картирование интрузивных базитовых комплексов возможно лишь при совместном применении результатов геологических наблюдений в опорных обнажениях с использованием результатов классификации геофизических полей, прежде всего, магнитного, в современных компьютерных системах обработки [2]. В опорных обнажениях на основе петрохимических и петрофизических данных определяется принадлежность интрузии к конкретному магматическому базитовому комплексу. Контур площади развития идентифицированной интрузии картируется по ареалу развития определённых таксонов, полученных по безэталонной классификации по двум наборам различных признаков (трансформант магнитного поля) в программе Coscad на участке опорного обнажения. Дополнительно на основе документации скважин построены карты изомагнитностей силлов долеритов внутри перекрывающих и вмещающих образований [2].

Алгоритм выбора площади постановки детальной НМС для поисков кимберлитовых тел следующий. На основе геолого-геофизических исследований в комплексе с палеогеографическим анализом и результатами минералогического анализа проводится крупномасштабный прогноз поисковых объектов в ранге «кимберлитоконтролирующий разлом» - «куст кимберлитовых трубок» в ГИС-технологиях и выделяются кимберлитоперспективные участки (КПУ) [3].

3. Выводы

Если по результатам картирования по изложенной выше методике долериты на дневной поверхности в пределах КПУ относятся к оленёк-

велигнинскому и катангскому комплексам, данный участок исключается из дальнейшего рассмотрения, на нём необходимо применять другие методы повышения эффективности поисковых работ. В случае развития на поверхности долеритов кузьмовского комплекса КПУ рекомендуется к постановке НМС. Если на дневной поверхности по результатам картирования долериты отсутствуют возможные алгоритмы принятия решений идут по двум ветвям. Первая ветвь – по картам изопахит долериты во вмещающих и перекрывающих породах отсутствуют (так называемые, «межтрапповые коридоры, окна»). Если достигнута сеть скважин на КПУ 250×250 м и детальнее, а степень надёжности проведённых работ высокая, участок исключается из рассмотрения. При недостаточной надёжности проведённых работ (бурение без ГИС, малая углубка во вмещающие породы и пр.), а также при сети скважин реже, чем 250×250 м, участок рекомендуется к ревизии и постановке НМС.

Вторая ветвь алгоритма – по картам изопахит долериты присутствуют во вмещающих и перекрывающих отложениях. Проводится анализ базы петрохимических данных по долеритам, при наличии их на КПУ или сопредельных площадях в таком же интервале глубин определяется принадлежность долеритов к одному из трёх комплексов. При отсутствии петрохимических данных – производится бурение картировочной скважины до интервала глубин долеритов с отбором образцов на силикатный анализ и определение интрузивного комплекса. В случае принадлежности долеритов к кузьмовскому комплексу, КПУ рекомендуется к постановке НМС, к оленек-велигнинскому или катангскому – исключается из рассмотрения для постановки НМС.

4. Литература:

- [1] Mishenin S.G. Petromagnetism of trap rocks of the north-east of the Tunguska syncline. Diss. for the degr. of cand. g.-m.s. Kazan, 2002.
- [2] Salikhov R.F., Ivanyushina E.N. Basite magmatism and forecasting of kimberlite occurrence in closed areas// IX international petrographic conference "Petrology of magmatic and metamorphic complexes". Tomsk. 2017. P.376-381
- [3] Salikhov R.F., Tolstov A.V. Largescale forecast of search objects of the "kimberlite-controlling fault" rank -"kimberlite pipe bush" in GIS-

technologies in the areas of trapp development // Problems of magmatic and metamorphic petrology, geodynamics and diamond origin. Novosibirsk, 2018. P. 58.

[4] Tomshin M.D., Lelyukh M.I., Mishenin S.G., Suntsova S.P., Kopylova A.G., Ubinin S.G. Scheme of trapp magmatism development of the eastern side of the Tunguska syncline. *Otechestvennaya geologiya*. 2001. № 5. P. 19-24.

[5] Tomshin M.D., Kopylova A.G., Tian O.A. Petrochemical diversity of traps of the eastern periphery of the Tunguska syncline. *Geology and Geophysics*. 2005. Vol. 46. №1. P. 72-82

УДК 552.32

ГЕОХИМИЧЕСКИЙ ОБРАЗ КИМБЕРЛИТОВЫХ ТЕЛ ПО ДАННЫМ АНАЛИЗА СОСТАВОВ ОСНОВНОЙ МАССЫ КИМБЕРЛИТОВ МЕТОДОМ ПЛАЗМЕННОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

Здислав Специус, Александр Иванов, Марина Бурюева
Научно-исследовательское геологическое предприятие АК «АЛРОСА»
(ПАО), 678170, Россия, г. Мирный, Чернышевское шоссе, 16

GEOCHEMICAL IMAGE OF KIMBERLITE BODIES BASED ON THE ANALYSIS OF THE BULK COMPOSITION OF KIMBERLITES BY PLASMA SPECTROSCOPY

Zdislav Spetsius, Alexander Ivanov, Marina Burueva
Scientific-Investigation Geology Enterprise AC «ALROSA», 16
Chernyshevskoye Highway, Mirny, 678170, Russia

Annotation. Chemistry of kimberlites is important for understanding their genesis and exploration. We have done the estimation of 39 elements in more than 50 probes of kimberlitic groundmass from different pipes of Yakutian province using ICPMS analyses with iCAP 6300 Duo spectrometer. All results were obtained by the method of factor analysis that allowed us

to distinguish three groups of elements which have been used for constructing special diagrams. Main conclusion from the data and graphic results suggests that groundmass chemistry of kimberlites is specific for every pipe and could be used for kimberlite grade estimation.

1. Введение

Углубленные исследования химизма кимберлитов и содержаний элементов в них имеют важное значение для поисковой геологии. Ниже рассмотрены содержания и распределение основных и примесных элементов в основной массе (ОМ) различных кимберлитовых тел Якутской алмазонасной провинции (ЯАП).

В 2018-2019 г. в НИГП АК «АЛРОСА» был выполнен химический анализ более 50 проб основной массы кимберлитов из ряда трубок ЯАП различной алмазонасности. По каждой пробе было выполнено по два сжигания в ИСП плазме. Измерения элементного состава проводились на спектрометре iCAP 6300 Duo методом атомно-эмиссионной спектроскопии (АЭС) с индуктивно-связанной плазмой (ИСП) с растворением проб в автоклавах.

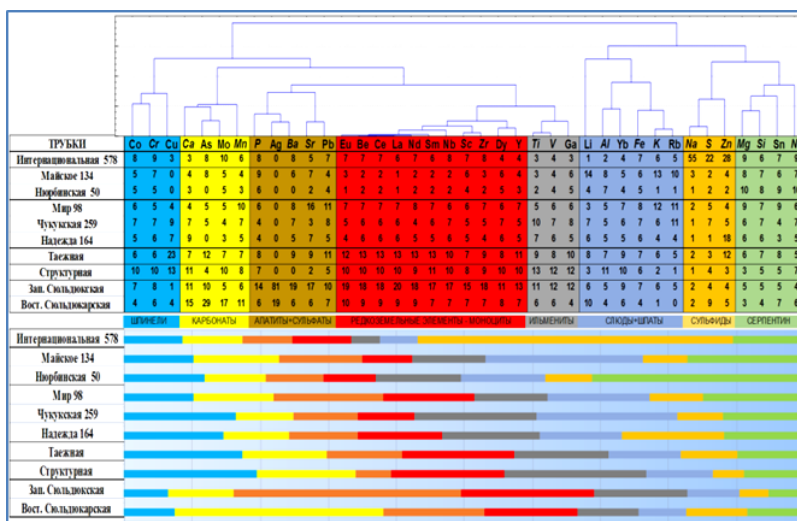


Рисунок 1. Кластерный анализ взаимосвязей минералообразующих ассоциаций в ОМ кимберлитовых трубок различной алмазонасности.

2. Результаты

Анализ проводился на количественное определение 39 химических элементов, полученные результаты содержаний различных элементов и корреляционные взаимосвязи между ними по данным группового кластерного анализа составов **ОМ** приведены ниже (Рисунок 1). Минералообразующие элементы и элементы примеси объединялись, в зависимости от их корреляционных соотношений в изученных пробах, на основании больших кластерных расстояний в группы, которые характеризуют процесс образования минералов в **ОМ** кимберлитов.

В работе за основу (точку опоры) выбраны составы **ОМ** кимберлита тр. Мир. Три коэффициента последовательно охватывают совокупности объединенных групповым кластерным анализом химических элементов. Эти совокупности химических элементов для кимберлитов можно назвать когерентно – взаимосвязанными [1]. Коэффициенты подобраны таким образом, чтобы получить одинаковые величины их трех групп, которые соответствуют трем столбцам гистограмм. Эти величины гистограмм можно назвать реперами, которые последовательно соответствуют значениям их кластерных расстояний при групповом анализе составов **ОМ** кимберлитов (Рисунок 2).

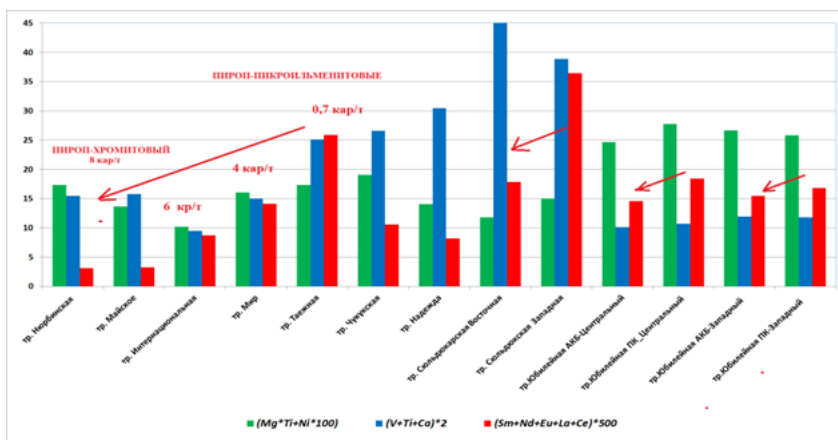


Рисунок 2. Реперная диаграмма соотношения кимберлитов по типу и уровню алмазности (отмечено стрелками) по химизму **ОМ**.

Для соотношения кимберлита к определенному кимберлитовому полю необходимо построить три гистограммы их соотношений.

При этом следует отметить характерные особенности состава кимберлитов различных трубок:

- а) Для **ОМ** кимберлитов Мирнинского поля (промышленные месторождения Мир и Интернациональная) – соотношения гистограмм примерно равны; для слабо алмазоносных - тр. Таежная, отмечен прямой полуторный порядок их роста.
- б) Для **ОМ** кимберлитов Накынского кимберлитового поля – отмечается обратный порядок при двойном увеличении первой и второй. Для убого алмазоносных тел Алакит-Мархинского поля (тр. Чукукская) отмечено двойное преобладание второй над первой и третьей.
- в) Для **ОМ** кимберлитов трубки Т-54 Сюльдюкарского поля отмечается двойное превышение второй над двумя другими. Для слабо-алмазоносного кимберлита (Западное тело) – двойное увеличение РЗЭ группы элементов.

На предложенных ниже диаграммах слева в **ОМ** кимберлитов преобладают химические элементы, которые соответствуют минерализации серпентинов, сульфидов и флогопита, в середине расположены гистограммы химических элементов образующих хромистые шпинели, группу минералов ильменитов, рутилов и перовскитов, затем карбонаты и цирконы и завершают ряд элементы группы РЗЭ и апатитов (Рисунок 3).

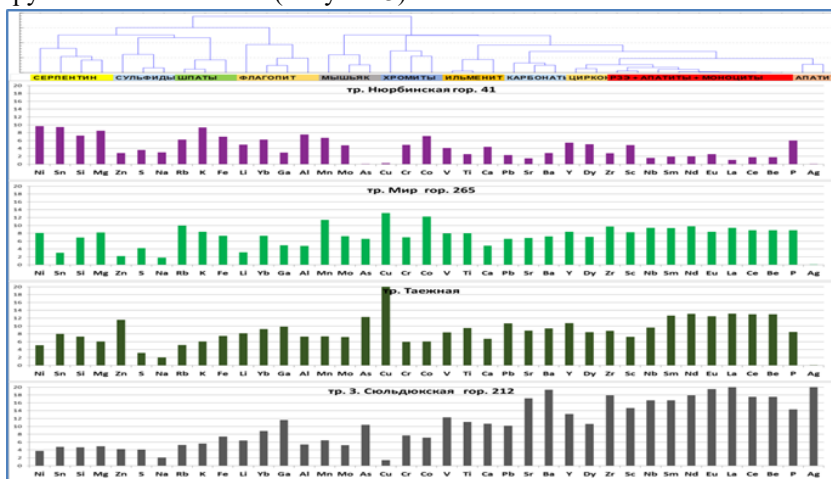


Рисунок 3. Относительные содержания химических элементов в **ОМ** кимберлитовых трубках различной алмазоносности.

3. Выводы

Для состава высоко алмазоносных кимберлитов характерно преобладание в два раза и более содержания сульфидов и серпентина в **ОМ**. В **ОМ** этих же кимберлитах в два раза меньше количество элементов группы апатита и РЗЭ. Установлено, что каждая трубка характеризуется достаточно специфическими взаимоотношениями выделенных групп элементов, что позволяет рассматривать эти особенности как реперные для различных кимберлитовых тел, что может быть использовано для идентификации коренного источника в процессе проведения поисковых работ.

4. Литература:

[1] Porotov G.S. Basics of statistical processing of deposits exploration materials // L.: LGI, 1985, 97 p. (in Russian).

УДК 549.211:550.4

ОСОБЕННОСТИ ПИКРОИЛЬМЕНИТОВ ВЕРХНЕ-СЮЛЬДЮКАРСКОГО ОРЕОЛА

Татьяна Старкова, Александр Толстов

Научно-исследовательское геологическое предприятие АК «АЛРОСА»
(ПАО), 678170, Россия, г. Мирный, Чернышевское шоссе, 16

FEATURES OF PIKROILMENITE OF VERCHNE-SYULDYUKAR HALO

Tatiana Starkova, Alexandr Tolstov

Scientific-Investigation Geology Enterprise AC «ALROSA», 16
Chernyshevskoye Highway, Mirny, 678170, Russia

Annotation. Several plots have been allocated in the Ygyatta diamond-bearing district, within the limits of which the opening of new kimberley bodies is predicted. The section of Verkhne-Süldükär is located north-east of the new kimberlite field. A feature of the field is the low productivity of Paleozoic deposits on indicator minerals of kimberlites (IMC), so their rare findings in search samples are particularly valuable. The results of the study allow to localize search areas on the studied area.

The results of comparison of picroilmenite compositions of Verkhne-Syudyukar, Khatyryk halo and T-54 kimberlite body are given.

1. Введение

Объектом изучения является пикроильменит из шлиховых проб, рассматриваемый минерал на данной площади выбран как реперный по совокупности факторов: миграционной способности, частоте встречаемости, количестве находок в пробах и приуроченности к разновозрастным отложениям. Преобладающими ИМК по количеству проб являются хромшпинелиды с их присутствием зерен в большинстве проб, однако рассматривать их в качестве реперных нельзя, поскольку однозначного мнения об их генезисе нет. Ряд исследователей относит их к «курунгскому» типу. В работе приведены результаты изучения морфологии и типохимизма пикроильменитов на участке Верхне-Сюльдюкарский. Результаты составов пикроильменитов получены на микрозондовом анализаторе JXA-8230 (Jeol) в НИГП АК «АЛРОСА» (ПАО). В качестве сравнения использованы данные по составам пикроильменитов участка Восточный и Сюльдюкарского кимберлитового тела, полученные при геолого-поисковых работах и по пикроильменитам ореола Хатырык.

2. Результаты работ

Участок Верхне-Сюльдюкарский отличается низкой продуктивностью на ИМК, которая оценивается на уровне 7%. Наиболее продуктивными на находки кимберлитовых минералов являются нижнепермские отложения ахтарандинской свиты (P_{1ah}) – 14,7% проб с находками ИМК. Продуктивность отложений верхнепермской боруллойской свиты (P_{2br}) и ботубинской свиты среднего-верхнего карбона ($C_{2,3bt}$) ниже и составляет 4,2% и 5,6%, соответственно. Минеральная ассоциация в пермских отложениях преимущественно хромшпинелидовая, тогда как пикроильмениты найдены большей частью в пробах из отложений $C_{2,3bt}$. В ореоле Хатырык ИМК также приурочены к отложениям $C_{2,3bt}$ [1].

Среди пикроильменитов из отложений $C_{2,3bt}$ доля разностей гранулометрического класса -0,5 мм около 90%; зерна размером более 1 мм в пробах не встречены. Пикроильмениты из отложений P_{1ah} в равной степени представлены зернами мелкого (-0,5 мм) и среднего (-1+0,5 мм) классов. В пробах встречаются зерна размером более 1 мм. Слабо

изношенные зерна I-II класса мехизноса наиболее распространены в пробах из отложений $C_{2,3bt}$ и P_{1ah} свит, где их доля около 40-45%. Первичная поверхность зерен пикроильменитов шероховатая и шиповидная, с затертыми «шипами».

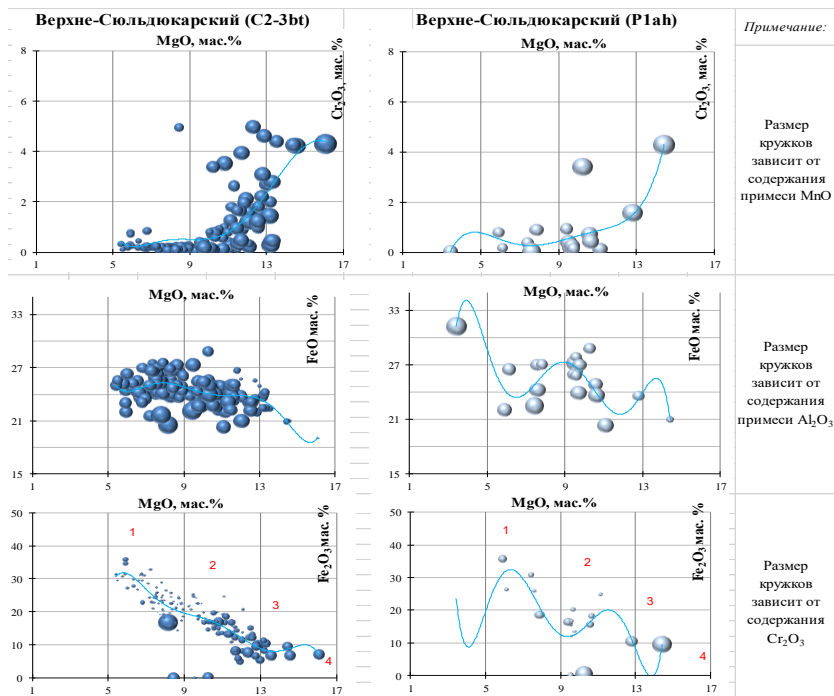


Рисунок 1. Бинарные диаграммы составов пикроильменитов из разновозрастных отложений участка Верхне-Сюльдюкарский

Точки составов пикроильменитов из разновозрастных отложений Верхне-Сюльдюкарского ореола вынесены на бинарные диаграммы (рисунок 1). Объем данных составов пикроильменитов $C_{2,3bt}$ значительно больше (151 анализ), что не позволяет делать однозначных выводов, тем не менее характер распределения основных элементов в обеих выборках схожий. При этом в выборке нижнепермских отложений отмечены умеренно-магнезиальные слабохромистые составы, не встреченные среди пикроильменитов отложений $C_{2,3bt}$, и практически отсутствуют высокомагнезиальные пикроильмениты с различным

содержанием примеси Cr, отличающиеся повышенным содержанием примеси Mn.

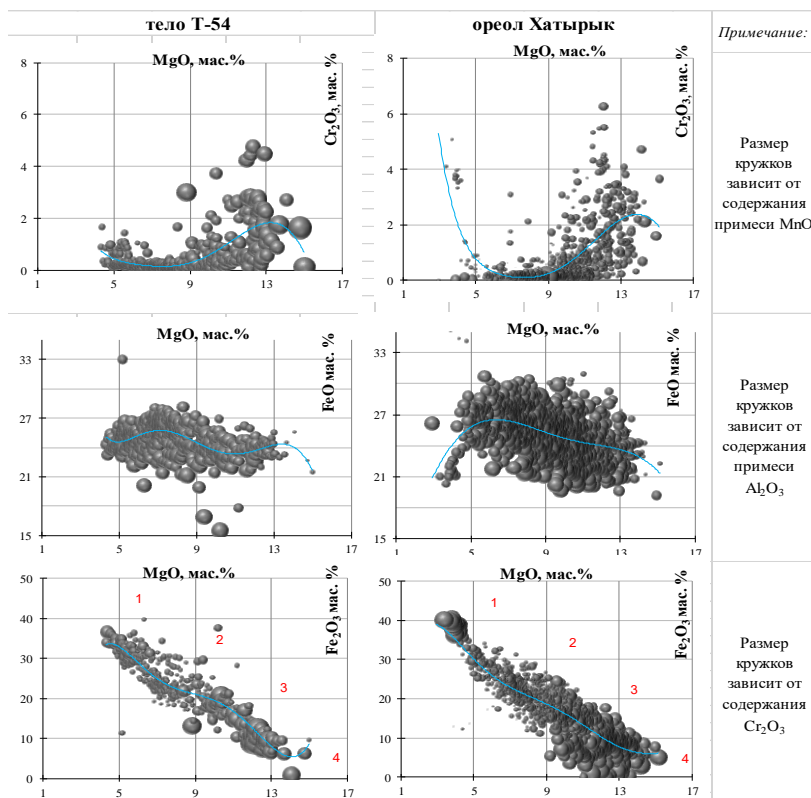


Рисунок 2. Бинарные диаграммы составов пикроильменитов кимберлитового тела Т-54 и ореола Хатырык

Сравнение пикроильменитов участка с аналогами из ореола Хатырык (рисунок 2) также показывает их отличие по более высокому содержанию примеси Mn и более низкому – Al, что является их характерной особенностью [2]. Характер распределения главных породообразующих элементов в пикроильменитах участка показывает определенное сходство с пикроильменитами тела Т-54. Отличия лишь в высокомагнезиальных ($MgO > 9$ мас.%) разностях, в которых установлено более высокое содержание Al и Mn, и пониженное содержание Cr.

3. Выводы

При сходстве пикроильменитов из отложений $C_{2,3bt}$ участка Верхне-Сюльдюкарский и кимберлитов поля выявлены различия в составе их высокомагнезиальных разновидностей, источниками которых могут быть другие кимберлитовые тела. Изученные пикроильмениты отличаются и от аналогов из ореола Хатырык, источниками которых также могут быть неоткрытые кимберлитовые тела.

4. Благодарности

Авторы благодарят Иванову А.С., Специуса З.В. и Храмцова А.А. (НИГП АК «АЛРОСА» ПАО) за обсуждение результатов.

5. Литература:

- [1] Maltsev M.V., Tolstov A.V., Fomin V.M, Starkova T.S. New Kimberlite field in Yakutia and typical features of its indicator minerals // Vestnik of the VSU. Series: Geology. 2016. № 3. С.86-94.
- [2] Starkova T.S., Maltsev M.V., Tolstov A.V. Comparative characteristics of kimberlite indicator minerals and new prospects of Ygyatta diamond-bearing region (Western Yakutia) // News of higher education institutions. Geology and investigation. 2019. № 2. С.35-44.

УДК 004.85:553.81

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ АЛГОРИТМА «СЛУЧАЙНЫЙ ЛЕС» В ПРОГНОЗНО-ПОИСКОВЫХ ЦЕЛЯХ НА ПРИМЕРЕ АЛАКИТ-МАРХИНСКОГО КИМБЕРЛИТОВОГО ПОЛЯ (ЯКУТИЯ)

Оксана Тарских, Андрей Забелин, Федор Зайцевский, Петр Старостин
Научно-исследовательское геологическое предприятие АК «АЛРОСА»
(ПАО), 678170, Россия, г. Мирный, Чернышевское шоссе, 16

RESULTS OF THE ALGORITHM RANDOM FOREST APPLICATION TO PREDICTIVE SEARCH ON THE EXAMPLE OF ALAKIT-MARKHA KIMBERLITE FIELD (YAKUTIA)

Oksana Tarskikh, Andrey Zabelin, Feodor Zaitsevskiy, Peter Starostin

Annotation. The application of the algorithm Random Forest to chemical composition data array of garnets from the Alakit-Markha field (Yakutia) central part kimberlite pipes shows maximum of similarity with array of Kilachskaya pipe. It indicate about wide use of Kilachskaya-like garnets in sedimentary reservoirs in this area.

1. Введение

Многолетние исследования химического состава минералов-спутников алмаза (МСА) позволили сформировать обширный банк данных, выявить особенности и закономерности химического состава МСА как из кимберлитов, так и из осадочных коллекторов. Были сформулированы химико-генетические классификации МСА [1, 2, 3]. Появление мощного математического аппарата позволило выйти на новый уровень оценки перспектив алмазоносности как известных кимберлитовых тел, так и поисковых участков, а также, возможно, построить математическую модель фоновой ассоциации МСА для той или иной территории. Сравнить проверяемую выборку с эталонной дает возможность алгоритм «Случайный лес». Специалистами НИГП разработан веб-инструмент (программа RPCA, зарегистрирована в реестре ЭВМ № 2018666180 от 13.12.2018), позволяющий применять алгоритм к массивам данных химического состава МСА.

Алгоритм «Случайный лес» [4, 5] 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, применялось построение 5000 деревьев.

Применение алгоритма «Случайный лес» к выборкам МСА из ореолов Алаakit-Мархинского кимберлитового поля показало, что часто сходство химического состава гранатов не зависит от географического положения кимберлитового тела относительно ореола МСА.

Таким образом, встал вопрос о фоновой минеральной ассоциации в пределах кимберлитового поля или отдельных его частей. Одним из возможных путей решения является выявление кимберлитового тела, наиболее часто упоминаемого в результате применения алгоритма «Случайный лес».

2. Результаты исследований

Для выделения наиболее распространенных составов гранатов был применен алгоритм «Случайный лес» к выборкам гранатов из кимберлитов тел, расположенных в центральной части Алаakit-Мархинского кимберлитового поля (с юга на север, в скобках – количество анализов): Моркока (133), Краснопресненская (164), Кылахская (413), Файнштейновская (305), Апрельская (162), Одинцова (271), Устинова (124), Соболева (226), Радиоволновая (227), Озёрная (104), Юбилейная (508), Восток (303), Геохимическая (179), Победа (188) (Рисунок 1). Эталонная выборка включала в себя 6986 анализов химического состава гранатов из кимберлитов 42 кимберлитовых тел Алаakit-Мархинского кимберлитового поля.

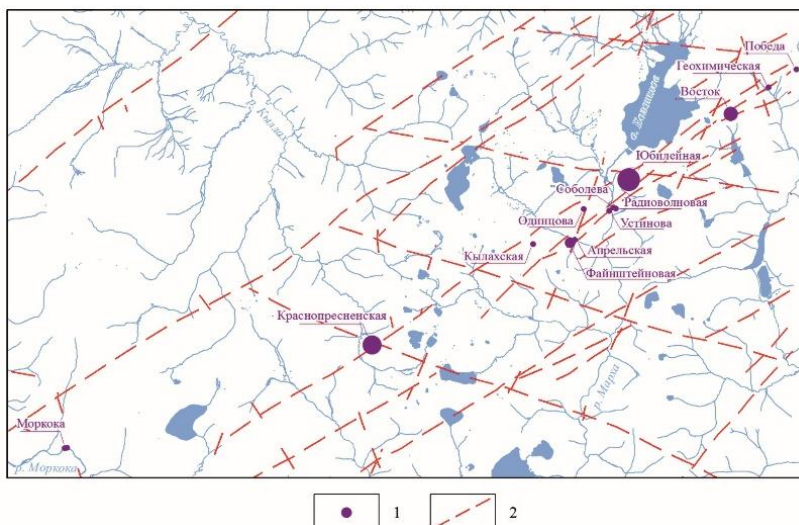


Рисунок 1. Кимберлитовые тела центральной части Алаakit-Мархинского кимберлитового поля. Условные обозначения 1- кимберлитовые тела, 2 – кимберлитоконтролирующие разломы.

В результате установлено, что наибольшее число гранатов по своему составу соответствует таковым из кимберлитов трубки Кылахская (Рисунок 2).

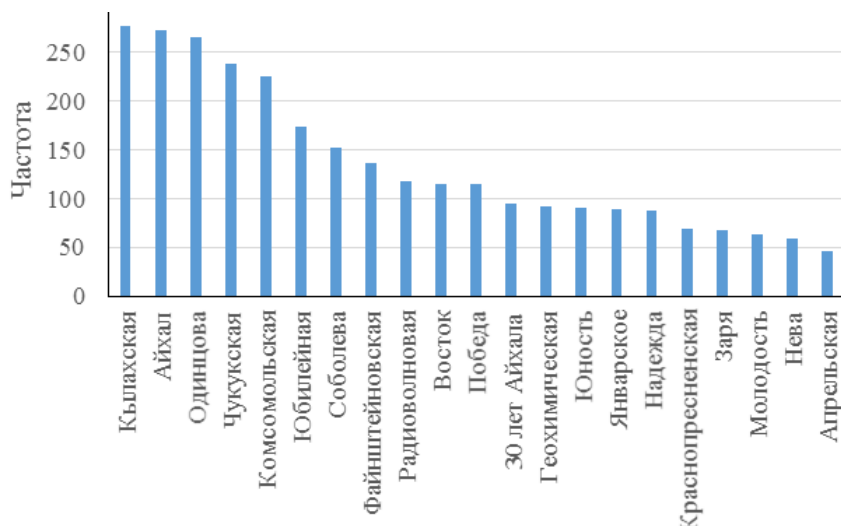


Рисунок 2. Результирующая диаграмма применения алгоритма «Случайный лес» для гранатов из кимберлитов центральной части Алакит-Мархинского кимберлитового поля

3. Выводы

Таким образом, было установлено, что изученные к настоящему моменту гранаты из кимберлитов центральной части Алакит-Мархинского поля, характеризуются преимущественным сходством с гранатами из кимберлитов трубки Кылахская, а следовательно, именно такие гранаты должны быть наиболее распространены в осадочных коллекторах на территории центральной части Алакит-Мархинского кимберлитового поля и могут считаться максимально близкими к минералогическому фону для этой территории.

4. Литература

[1] Deep inclusions in kimberlites and the problem of upper mantle composition. Novosibirsk, publishing house “Nauka”, 1974, 263 p.

- [2] Dawson J.B. and Stephens W.E. Statistical classification of garnets from kimberlite and associated xenoliths // J. Geol., 1975, 83: p. 589-607.
- [3] Inclusions in diamond and diamondiferous rocks / under the redaction by A.S. Marfunin – Moscow, publishing house of MSU, 1991, 240p.
- [4] Shitikov V.K., Mastitskiy S.E. Classification, regression and other algorithms Data Mining with using R. Tolyatti, London, 2017, 351p.
- [5] 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 p.

УДК 553.81

**О НЕОБХОДИМОСТИ ДОИЗУЧЕНИЯ
СЛАБОАЛМАЗОНОСНЫХ И НЕАЛМАЗОНОСНЫХ
КИМБЕРЛИТОВЫХ ТЕЛ НА ПРИМЕРЕ АЛАКИТ-
МАРХИНСКОГО КИМБЕРЛИТОВОГО ПОЛЯ
(ЯКУТИЯ)**

Оксана Тарских, Надежда Шахурдина, Петр Старостин
Научно-исследовательское геологическое предприятие АК «АЛРОСА»
(ПАО), 678170, Россия, г. Мирный, Чернышевское шоссе, 16

**THE NEED TO WEAK DIAMONDIFEROUS AND NO
DIAMONDIFEROUS KIMBERLITE BODIES
ADDITIONAL STUDY ON THE EXAMPLE OF ALAKIT-
MARKHA FIELD (YAKUTIA)**

Oksana Tarskikh, Nadezhda Shakhurdina, Peter Starostin
Scientific-Investigation Geology Enterprise AC «ALROSA», 16
Chernyshevskoye Highway, Mirny, 678170, Russia

Annotation. The application of the algorithm Random Forest to mineral companion of diamond (MCD) chemical composition data array of Severniy area (Alakit-Markha kimberlite field, Yakutia) shows maximum of similarity with analogous array of Kilachskaya pipe. It may indicate about the location new kimberlite body there. However, there is no information about

to MCD chemical composition from some small kimberlite bodies nearby. It complicates the search and shows the need additional studies of small kimberlite bodies.

1. Введение

Обеспечение прироста минерально-сырьевой базы алмазов за счет открытия новых месторождений в известных кимберлитовых полях – приоритетная задача геологоразведочного комплекса АК «АЛРОСА» (ПАО). Алакит-Мархинское поле характеризуется развитием ореолов минералов-спутников алмаза (МСА) преимущественно в базальных горизонтах средне-позднекаменноугольного возраста, перекрытых породами трапповой формации. Наиболее достоверно задачу идентификации ореола позволяет решить анализ химического состава МСА.

Для идентификации ореола участка Северный был применен алгоритм «Случайный лес» [1, 2], позволяющий непосредственно сравнивать эталонную и проверяемую выборки, для чего специалистами НИГП разработан веб-инструмент (программа RPCA, зарегистрирована в реестре ЭВМ № 2018666180 от 13.12.2018). В качестве эталонной выборки использовалась база данных химического состава МСА из кимберлитов, в качестве проверяемой – МСА из ореола участка Северный.

2. Результаты исследований

Участок Северный расположен в центральной части Алакит-Мархинского кимберлитового поля, к северу от озера Бадаран-Кюель (Рисунок 1). Участок признан перспективным на обнаружение новых кимберлитовых тел в связи с контрастной ассоциацией слабо или неизношенных МСА. Химический состав МСА охарактеризован 350 анализами гранатов, 260 ильменитов и 162 хромшпинелидов.

Для алгоритма «Случайный лес» были подготовлены две эталонные выборки МСА из кимберлитовых тел, Локальная – МСА из тел, расположенных в непосредственной близости от участка (гранаты – 2340 анализов из кимберлитов 9 тел, ильменита – 826 из 6, хромшпинелиды 798 из 7) и из кимберлитов всего Алакит-Мархинского поля (гранат – 6767 анализов из 41 кимберлитового тела, ильменит – 4420 из 22, хромшпинелиды 3506 из 28).

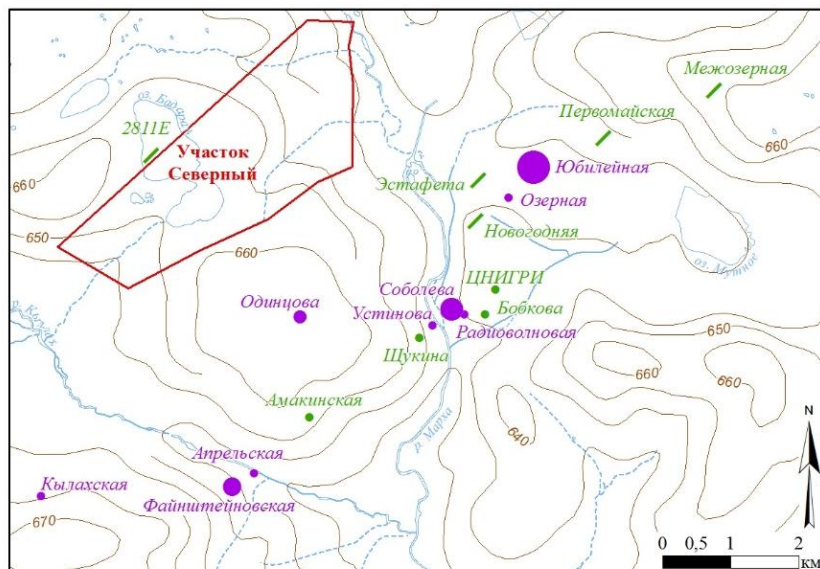


Рисунок 1. Центральная часть Алакит-Мархинского кимберлитового поля. Условные обозначения: 1 – кимберлитовые трубки: а) с изученным химическим составом МСА, б) с неизученным; в) кимберлитовые дайки с неизученным химическим составом МСА; 3 – изолинии современного рельефа; 4 – контур участка Северный.

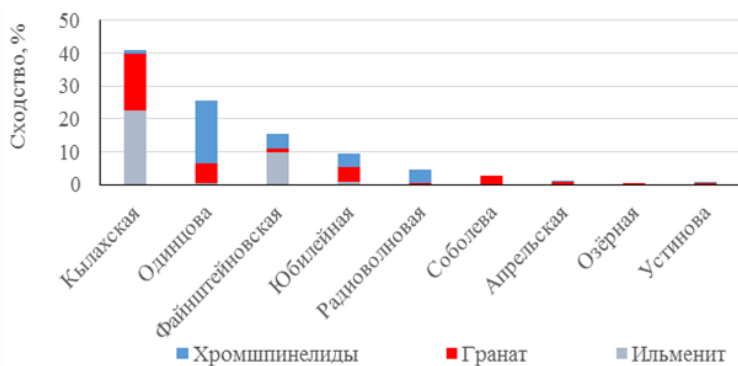


Рисунок 2. Интегральная диаграмма результатов применения алгоритма «Случайный лес» для МСА участка Северный

В результате сравнения МСА участка Северный с обеими эталонными выборками зафиксировано максимальное сходство с минералами-спутниками из кимберлитов трубки Кылахская (Рисунок 2), расположенной в 3,3 км от южной границы участка, палеогеографические реконструкции [3] показывают невозможность отложения минералов-спутников из кимберлитов трубки Кылахская на данном участке.

3. Выводы

Полученные результаты могли бы быть интерпретированы как наличие неизвестного кимберлитового тела с характеристиками МСА, близкими к таковым трубки Кылахская на участке Северный. Тем не менее, такой вывод представляется преждевременным, ввиду того, что из 17 ближайших кимберлитовых тел, полные микронзондовые анализы МСА выполнены только для 9 (Таблица), а, следовательно, есть вероятность, что минералы-спутники могли иметь своим источником малые тела Алакит-Мархинского кимберлитового поля.

Таблица

Список кимберлитовых тел и их изученность микронзондовым анализом

	Название	Гранат	Ильменит	Хромшпинелиды
1	Амакинская	-	-	-
2	Апрельская	162	11	120
3	Бобкова	-	-	-
4	Кылахская	413	199	40
5	Новогодняя	-	-	-
6	Одинцова	271	34	197
7	Озёрная	104	-	-
8	Первомайская	-	-	-
9	Радиоволновая	227	37	129
10	Соболева	226	-	-
11	Устинова	124	-	113
12	Файнштейновская	305	406	110
13	ЦНИГРИ	-	-	-
14	Щукина	-	-	-
15	Эстафета	-	-	-
16	Юбилейная	508	139	89
17	2811E	-	-	-

Таким образом, для целей прогнозирования и поисков, а также оценки остаточных перспектив необходимо доизучение кимберлитовых тел Алакит-Мархинского кимберлитового поля.

4. Благодарности

Авторы выражают глубочайшую признательность начальнику отдела прогноза УМСБ АК «АЛРОСА» (ПАО), к.г.-м.н. Д.А. Кошкарёву за ценнейшие рекомендации.

5. Литература:

- [1] Shitikov V.K., Mastitskiy S.E. Classification, regression and other algorithms Data Mining with using R. Tolyatti, London, 2017, 351p.
- [2] 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 p.
- [3] Ivanov V.V., Tyurin F.F. Additional study geological structure and diamond content of kimberlite bodies Alakit-Markha field in 2009-2012 results report (Verkhne-Markhinskiy revizionniy object). AmGRE, 2012, 2472.

УДК 546.26

ОБ ОСОБОЙ РОЛИ УГЛЕРОДА В ПРИРОДЕ

Любовь Федорова, Виктор Бескрованов, Туйара Дьячковская
ФГАОУ ВО Северо-Восточный федеральный университет им. М.К.
Аммосова, 677000, Россия, г.Якутск, ул. Белинского, 58

ABOUT THE SPECIAL ROLE OF CARBON IN NATURE

Lyubov Fedorova, Viktor Beskrovanov, Tuyara Dyachkovskaya
M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, 58 Belinsky st., Yakutsk,
677000, Russia

Annotation. Despite the low prevalence, carbon occupies special place in nature, form in an extremely large number of native form and compound with other elements. Its special role is a consequence of a unique complex of its properties, including the ability to form of a several hybrid electronic

states, three valencies, allotropic forms, and many nanostructures.

1. Введение

Многообразие растительного и животного мира в жизни нашей планеты, создано углеродом и его различными соединениями. На Земле по распространенности он занимает только 16 место, уступая таким элементам как Fe, H₂, O₂, Al, Ca, Ni, Na, K. В литосфере Земли он распространен в 276 раз меньше кремния и даже меньше редкого титана. Вызывает удивление, что в сочетании с водородом, кислородом, азотом, серой и фосфором он образует подавляющее большинство из шести-семи миллионов известных соединений. Из них 96% органических и только 400 тыс. неорганических [1].

2. Основной раздел

В «Основах химии» Д.И. Менделеев указал, что «ни в одном из элементов такой способности к усложнению не развито в такой мере, как в углероде». Ему нет равных в уникальном свойстве образовывать длинные цепи. Кроме того, с большинством элементов он соединяется в самых различных вариантах, рождая бесчисленное множество веществ со специфическими свойствами. Не случайно еще в древности говорили: «Из праха восстал, в прах обратился...»[2]. Эти слова не потеряли значения и в настоящее время, но знания об углероде расширились. К трем его видам: графиту, алмазу и саже, добавились другие. Т.Г. Шумилова [3] выделила 17 его модификаций: алмаз, лонсдейлит, квазиодномерный алмаз, алмазоподобный углерод, гексагональный графит, ромбический графит, кубический графит, графитоподобный углерод, наночастицы, нанотрубы, чаоит, α -карбин, β -карбин, карбиноподобный углерод, фуллерит, стекловидный углерод, фуллерены. Недавно получена еще одна модификация углерода — графен.

Высокая способность углерода создавать конструкции с возрастающей сложностью получила в химии название «*катенация*». Своим разнообразием углерод обязан уникальному комплексу физико-химических особенностей. Его атом может иметь четыре валентности и образовывать три гибридные состояния sp^3 , sp^2 и sp^1 , образующих соответственно тетраэдрические (3D), плоские (2D) и линейные (1D)

структурные единицы. Последние служат строительными элементами аллотропов углерода: 3D (sp^3) алмаз и лонсдейлит; 2D (sp^2) графит и графен, 1D (sp^1) карбины. Более того существуют углеродные соединения, в которых устанавливаются различные комбинации перечисленных вариантов гибридизаций.

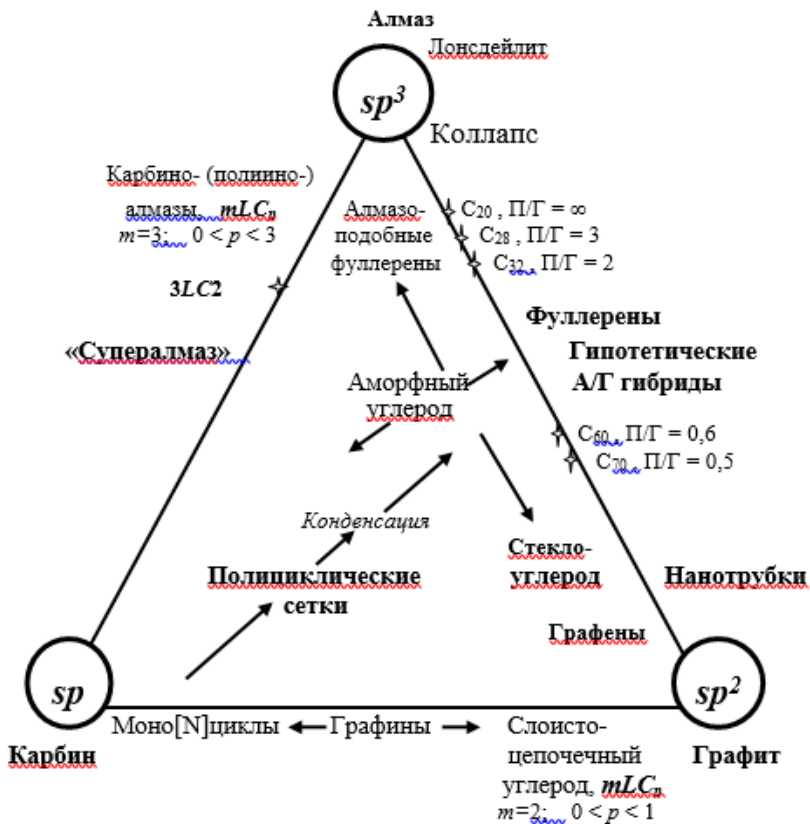


Рисунок 1. Третичная диаграмма гибридных состояний углерода [3]

Атомы углерода в одном и том же соединении способны выполнять роль и акцептора, и донора электронов. Они образуют почти все известные типы химических связей. Атом углерода с другим атомом углерода

может образовывать чисто ковалентные, почти чисто ионные и ионоидные с самыми различными значениями зарядов атомов: C^{6+} , C^{6-} .

В работе [3] приведена диаграмма аллотропных форм углерода (Рисунок 1.), построенная в виде треугольника, в вершинах размещены: 1) алмаз, лонсдейлит (sp^3), 2) графит (sp^2) и 3) карбин (sp^1). В центре треугольника расположены аморфный углерод →стеклоуглерод, а стороны образованы прямыми: 1) алмаз (sp^3) —карбино (полиино) алмазы — «супералмаз» —карбин (sp^1); 2) карбин (sp^1) — моно[N]циклы ← графины →слоистоцепочечный углерод — графит (sp^2); 3) графит (sp^2) —нанотрубки— C_{70} (П/Г = 0,5)— C_{60} ((П/Г = 0,6) —гипотетические А/Г-гибриды — фуллерены C_{32} (П/Г = 2), C_{28} (П/Г = 3), C_{20} (П/Г = ∞). Вблизи вершины графита (sp^2) приурочены графены, а вершины алмаза (sp^3) —алмазоподобные фуллерены. Здесь использованы обозначения: А/Г—алмазо-графитовые, П/Г —пентагонально-гексагональные.

Алмаз (sp^3 , 3D), кубическая сингония — Fd3m ($a = 0,356$ нм). Лонсдейлит, гексагональная сингония — $R\bar{6}_3/mmc$ ($a = 0,252$ нм; $c = 0,412$ нм). Графит (sp^2 , 2D). Гексагональный (α) — $C6_3/mmc$ ($a = 0,246$ нм; $c = 0,680$ нм; $c/a = 2,734$). Ромбоэдрический (β) — R3m ($a = 0,246$ нм; $c = 1,006$ нм; $c/a = 4,089$), метастабильная фаза, встречается в природных графитах (до 30% массы). Графит кубический; $a = 0,554$ нм.

Графен (sp^2 , 2D) — двумерная (2D) кристаллическая фаза, представленная одним монослоем атомов углерода. Гексагональная решетка состоит из шести атомов ($a = 0,246$ нм).

Карбин (sp^1 , 1D) может образовывать несколько структурных модификаций, из которых изучены две: полииновая α -карбин ($\sim C\equiv C-C\equiv C\sim$) и кумуленовая β -карбин ($\sim C=C=C=C\sim$). Полиин (α) — гексагональная сингония ($a = 0,508$ нм, $c = 0,780$ нм). Кумулен (β) — гексагональная сингония ($a = 0,467$ нм, $c = 0,258$ нм). Карбин был получен в начале 60-х годов В.В. Коршаком, А.М. Сладковым, В.И. Касаточкиным, Ю.П. Кудрявцевым окислительной конденсацией ацетилен; имеет кристаллическую структуру, в которой атомы углерода соединены чередующимися одинарными и тройными связями. В этом случае он имеет вид черного мелкокристаллического порошка, но может существовать в виде белого вещества с промежуточной плотностью, в нем атомы углерода соединены двойными связями длиной 0,1284 нм.

Позднее карбин был найден в природе в виде вкраплений в природном графите, содержащемся в минерале чароит, а также в метеоритном веществе. Создатель карбина А.М. Сладков пришел к выводу о множественности его видов и бесконечного числа аллотропных модификаций углерода со смешанными типами связей.

Аморфный углерод — стеклообразное, не имеющее упорядоченной кристаллической решетки вещество.

Большой вклад в разнообразие углерода вносят наноструктуры. Характеристическим для наночастицы следует рассматривать не размер, а отличие свойств от свойств соответствующего макроматериала. У нанодIAMAZОВ очень большая удельная поверхность. Атомы в приповерхностном слое могут изменить гибридизацию на sp^2 с образованием сложного комплекса (алмаз(ядро)@графит(оболочка)). Возможны и более сложные образования, такие как M@C₆₀@SWNT, сложные системы остов(алмаз)@оболочка(графит) или алмаз@графит@фуллерен [4].

3. Выводы

Особая роль углерода является следствием уникального комплекса его свойств, включающего способность образовывать несколько гибридных электронных состояний, три валентности, аллотропные формы и множество наноструктур.

4. Литература:

- [1] Kuznetsov V.I. *Obschchaya khimiya: Tendentsii razvitiya*: – М.: Vyssh. shk. 1989. – 298 s.
- [2] Mendeleev D.I. *Osnovy khimii: Tipolitografiya* M.P. Frolovoi – М., 1903. – 817 s.
- [3] Shumilova T.G. *Mineralogiya samorodnogo ugleroda: avtoref. dis. d-ra geologo-mineralogicheskikh nauk: 25.00.05 / Shumilova Tat'yana Grigor'evna; RITs SPGGI.* – Spb., 2003. – 39s.
- [4] Yurjev G.S. X-Ray Diffraction Study of Detonation Nanodiamonds / G.S. Yurjev, V.Yu. Dolmatov // *Journal of Superhard Materials*. 2010. V. 32. No. 5. pp. 311–328.

УДК 551.24:553.81

**СТРУКТУРНО-ТЕКТОНИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ
РАЗМЕЩЕНИЯ ПРОЯВЛЕНИЙ КИМБЕРЛИТОВОГО
МАГМАТИЗМА В ПРЕДЕЛАХ ВИЛЮЙСКО-
МАРХИНСКОЙ ЗОНЫ (ЗАПАДНАЯ ЯКУТИЯ)**

Надежда Шахурдина, Елена Проценко

Научно-исследовательское геологическое предприятие АК «АЛРОСА»
(ПАО), 678170, Россия, г. Мирный, Чернышевское шоссе, 16

**STRUCTURAL-TECTONIC MANAGEMENT
PLACEMENT FACTORS
OF KIMBERLITE MAGMATISM WITHIN THE VILYUI-
MARKHA ZONE (WESTERN YAKUTIA)**

Nadezhda Shakhurdina, Elena Protsenko

Geo-Scientific Research Enterprise ALROSA (PJSC),
16, Chernyshevskoe shosse, Mirny, 678170, Russia

Annotation. The results of the analysis of the density of explosive disturbances performed using geoinformation technologies within the Vilyui-Markhinsky mineralogenous zone, are considered. The data obtained are in good agreement with the structural analysis of the upper part of the kimberlite-bearing sequence. The compiled scheme of the density of discontinuous violations can be used in predictive constructions.

1. Введение

Кимберлитоконтролирующая роль Вилуйско-Мархинской зоны разломов, обрамляющей северо-западный борт Палеовилуйского авлакогена (ПВА), признается многими исследователями. В ее пределах открыты три алмазодносных кимберлитовых поля – Мирнинское, Накынское и Слюдякарское, а также многочисленные россыпи и россыпепроявления алмазов.

Вилуйско-Мархинская минерагеническая зона (ВММЗ) занимает площадь порядка 70 тыс. км², ее протяженность составляет до 800 км, а ширина варьирует от 30-50 км на юге до 160 км на северо-восточном фланге (Рисунок). Несмотря на значительный объем алмазопроисковух

работ, выполненных в пределах ВММЗ, большинство геологов считают ее перспективы в отношении коренной алмазности далеко не исчерпанными.

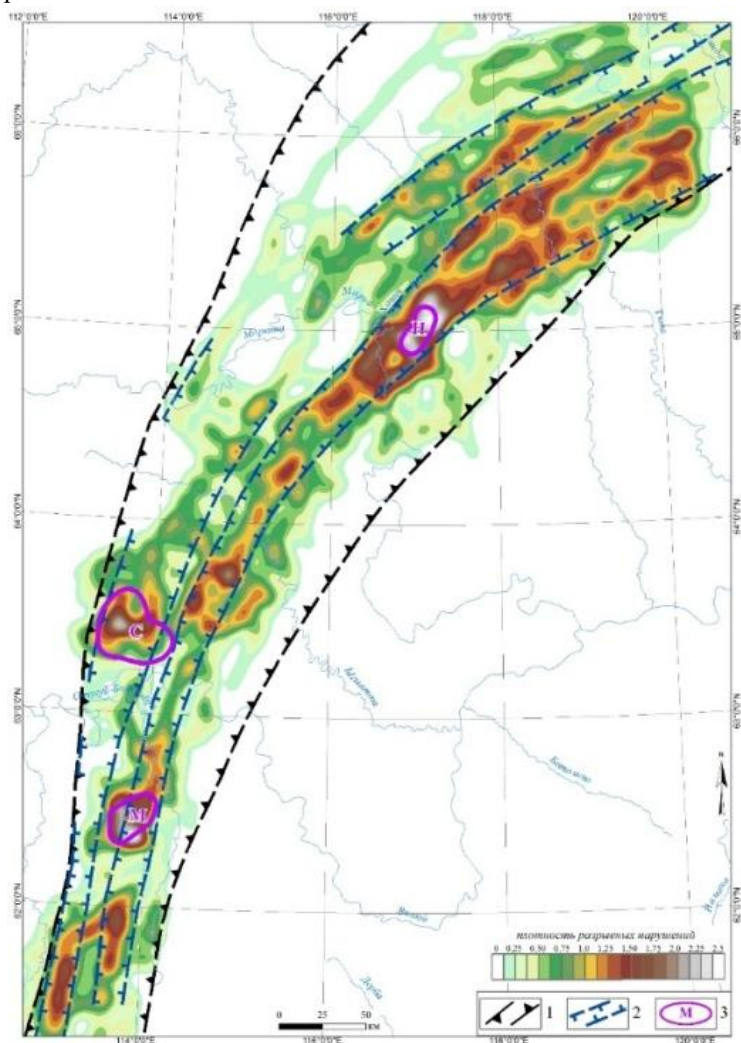


Рисунок. Схема плотности разрывных нарушений Вилюйско-Мархинской зоны. 1-Вилюйско-Мархинская минерагеническая зона; 2-подзоны ВММЗ; 3- продуктивные кимберлитовые поля (Н–Накынское, М–Мирнинское, С–Сюльдюкарское)

Многочисленными исследованиями доказано, что кимберлитовые поля располагаются в узлах пересечения разнонаправленных разломных зон (линеаментов) [1; 2; 3]. Но при этом, значительная ширина самой Виллойско-Мархинской зоны, а также секущих зон, трассирующихся со стороны Палеовиллойского авлакогена, при недостаточно уверенном выделении последних, не позволяет надежно оконтуривать площади ранга «кимберлитовое поле» на слабоизученных перспективных территориях ВММЗ.

2. Основной раздел

Целью настоящих исследований стало изучение плотности разломных нарушений на площади ВММЗ и выделение в ее пределах участков повышенной проницаемости нижнепалеозойских пород, благоприятных для кимберлитовнедрения.

Фактическим материалом для выполненных исследований стали данные о разрывной тектонике Виллойско-Мархинской минерагенической зоны, полученные в результате разномасштабных геологосъемочных и поисковых работ, сейсморазведки и аэромагнитных съемок, выполненных специалистами геологоразведочного комплекса АК «АЛРОСА». Все выделенные дизъюнктивные дислокации, часть из которых залечена дайками долеритов, были объединены в цифровой линейный слой «разрывные нарушения», который и использовался для дальнейшего анализа.

На базе модуля Spatial Analyst Density программы ArcGIS ArcMap 10.6.1 была построена схема плотности разрывных нарушений на территорию ВММЗ (Рисунок). Радиус поиска, в пределах которого рассчитывалась плотность, выбран экспериментально 10 км, как наиболее оптимальный, размер ячейки для выходного набора данных- 200. Из выполненных построений видно, что в целом на исследуемой территории плотность дизъюнктивов варьирует от 0,05 до 2,5 км/км², причем разломы по площади распределены неравномерно. Области повышенной плотности разрывных дислокаций протягиваются в виде широкой, практически непрерывной полосы в центральной части зоны и фрагментарно фиксируются на ее западном фланге. Они хорошо согласуются с подзонами ВММЗ, выделенными в результате структурного анализа верхней части кимберлитовмещающей толщи [4, 5]. Подзоны представляют собой площади с широким развитием пликативных дислокаций на фоне общего моноклинального залегания нижнепалеозойских образований на борту ПВА. К центральной подзоне приурочены высокоалмазные Мирнинское и Накынское

кимберлитовые поля, к западной – среднеалмазоносное Сюльдюкарское кимберлитовое поле. Еще одним идентификационным признаком подзон, установленным в ходе настоящих исследований, можно считать повышенную плотность разрывных нарушений в их пределах. Выполненные построения позволили уточнить границы подзон, протрассировать их на фланги ВММЗ, где подзоны выделялись условно (неуверенно). Плотность разрывных нарушений в пределах подзон составляет от 0,25 до 2,0 км/км², достигая своих максимальных значений (2,5 км/км²) в пределах кимберлитовых полей.

3. Выводы

Полученные результаты еще раз свидетельствуют о том, что участки, наиболее благоприятные для проявлений кимберлитового магматизма, локализуются в тектонически хорошо проработанных структурах, с большой плотностью разрывных дислокаций.

Составленная схема плотности разрывных нарушений может быть использована при прогнозных построениях для более уверенного оконтуривания площадей для постановки поисковых работ.

4. Литература:

[1] Khar'kiv A.D., Zinchuk N.N., Kryuchkov A.I. Korennyye mestorozhdeniya almazov mira. M.: Nedra, 1998. 555 s.

[2] Gorev N.I., Gerasimchuk A.V. Spetsializirovannyye tektonicheskiye karty pri prognozirovaniy korennykh mestorozhdeniy almazov na Sibirskoy platforme: metodika sostavleniya i analiza // Rudy i metally, 2017. № 4. S. 25-41.

[3] Antipin I.In., Antipin I.I. Srednemashtabnoye almazoprognozirovaniye na primere Tsentral'no-Sibirskoy subprovintsii // Rudy i metally, 2018. № 1. S. 4-10.

[4] Gorev, N.I. Tektonicheskiye aspekty stroyeniya Vilyuysko-Markhinskoy zony, ikh ispol'zovaniye pri prognozirovaniy kимберлитovykh poley / N.I. Gorev, A.V. Gerasimchuk, E.V. Protsenko, A.V. Tolstov // Nauka i obrazovaniye. – 2011. – № 3. – S.5-10.

[5] Protsenko, E.V. Tektonicheskiye kriterii kимберлитovykh poley Vilyuysko-Markhinskoy mineragenicheskoy zony / E.V. Protsenko, N.I. Gorev // Nauchno-metodicheskiye osnovy prognoza, poiskov, otsenki mestorozhdeniy almazov, blagorodnykh i tsvetnykh metallov. Sbornik tezisov dokladov IKH Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii (17-19 aprelya 2019 g., Moskva, FGBU «TSNIGRI»). – M.: TSNIGRI, 2019. – S. 39-40.

ПРИРОДА ОСОБЕННОСТЕЙ РАСПРОСТРАНЕНИЯ КИМБЕРЛИТОВ И КАРБОНАТИТОВ

Владимир Шкодзинский

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

NATURE OF DISTRIBUTION FEATURES OF KIMBERLITES AND CARBONATITES

Vladimir Szkodzinski

Diamond and Precious Metals Geology Institute, Siberian Branch, Russian
Academy of Sciences, 39 Lenina ave., Yakutsk, 677000, Russia

Annotation. New data on the hot accretion of the Earth explain the features of the distribution of kimberlites and carbonatites. Their placement only ancient platforms is due to the formation from residual melts of peridotite and picrite layers of the global magmatic ocean, which arose as a result of impact heat generation during accretion. Their connection with traps is due to beginning of the rise of mantle magmas only at the last stages of crystallization of this ocean. The reason for the rarity of kimberlites in sineclises and absence in oceanic regions is extension of peridotite layer by plumes.

1. Введение

Выяснение природы закономерностей распространения кимберлитов и карбонатитов имеет ключевое значение для успешного прогноза и поисков связанных с ними месторождений алмаза и редких элементов. К настоящему времени накоплен огромный эмпирический материал по особенностям положения этих пород в различных регионах [1]. Однако природа этих особенностей остается неясной.

2. Природа закономерностей распространения

Наиболее непонятна причина приуроченности кимберлитов и карбонатитов к древним платформам и обычно отсутствия их в океанических и складчатых областях (правило Клиффорда). Чаще всего предполагается возникновение кимберлитовых и карбонатитовых

расплавов в результате низких степеней частичного плавления вещества поднимающихся плюмов, предварительно метасоматически обогащенного некогерентными компонентами гипотетических флюидных потоков. Однако, массовый плюмовый магматизм более характерен для океанических областей. Поэтому в них, казалось бы, наиболее широко должны быть распространены кимберлиты и карбонатиты.

Вследствие очень высоких давления и температуры в мантии не могут существовать открытые трещины и поры, необходимые для движения флюидов. Крайне высокая вязкость вещества мантии ($10^{20} - 10^{25} \text{ Н}\cdot\text{м}^{-1}\cdot\text{с}^{-1}$) исключает возможность всплыwania в них капель флюида. Присутствие летучих компонентов на многие сотни градусов понижает температуру плавления. Поэтому в случае существования флюидной фазы верхняя мантия полностью расплавилась бы, что не согласуется с геофизическими данными. Присутствующие в некоторых мантийных минералах флюидные включения наблюдаются в условиях земной поверхности. В мантии они должны быть полностью растворены в расплаве под влиянием высоких P и T . Поэтому их существование не доказывает присутствие флюидов в мантии, как обычно предполагается. Крайне высокая вязкость слабо подплавленных пород препятствует возможности отделения из них выплавок, что подтверждается результатами изучения анатектических мигматитов [2] и экспериментальными данными. Традиционные предположения о магмообразовании путем частичного плавления является крупнейшим заблуждением. Они основаны на принятой в петрологии гипотезе холодной гомогенной аккреции Земли. Это гипотеза находится в грубом противоречии с эмпирическими геологическими данными.

Полученные в последнее время многочисленные доказательства горячей гетерогенной аккреции [2] полностью объясняют главные особенности распространения кимберлитов и карбонатитов. При таком образовании Земли на ранней стадии ее эволюции существовал возникший в результате импактного плавления слоистый по составу магматический океан. Увеличение плотности от верхнего кислого слоя к нижнему перидотитовому (от 2,3 до примерно 2,8 г/см³) препятствовало возникновению в нем обширной конвекции. Поэтому он медленно затвердевал сверху вниз в результате кондуктивных теплопотерь.

Из кислого верхнего слоя образовалась кислая континентальная кора с возрастом 3,8 – 1,8 млрд. лет. Медленная кристаллизация нижних слоев

привела к формированию мантийной литосферы древних платформ. Из остаточных расплавов пикритового слоя возникли щелочно-ультраосновные карбонатитсодержащие магмы. Кимберлитовые магмы сформировались из остаточных расплавов придонного перидотитового слоя. Кристаллизация магматического океана сверху вниз объясняет более древний средний возраст карбонатитов (688 млн. лет) по сравнению с кимберлитами (157 млн. лет) [2]. Накопление в остаточных расплавах расплавофильных компонентов обусловило большое содержание в этих породах летучих, щелочей и других литофильных элементов. Раздвижение растекавшимся веществом плюмов континентальной литосферы при образовании океанических областей является причиной обычно отсутствия в последних кимберлитов и карбонатитов.

Для кимберлитов и отчасти для карбонатитов характерна ассоциация с близкими по возрасту траппами. Это обусловлено тем, что в случае еще жидкого состояния магматического океана земной поверхности не могли достигать основные магмы, возникавшие ниже его дна. В это время поднимались только богатые литофильными компонентами расплавы основного слоя магматического океана. Подлитосферные магмы траппов начали внедряться лишь после значительного затвердевания пикритового и перидотитового слоев магматического океана и начала образования последних щелочно-ультраосновных и кимберлитовых остаточных расплавов. Тектонические деформации литосферы, возникавшие при внедрении огромных объемов магм траппов (до миллионов кубических километров), способствовали всплыванию этих расплавов. Это подтверждается существованием прямой зависимости количества кимберлитов и карбонатитов от площади распространения траппов на древних платформах.

Очевидно, что к краям платформ мощность литосферы должна чаще всего уменьшаться за счет эрозии астеносферными течениями его нижнего перидотитового слоя. Это объясняет максимальное развитие кимберлитов на расстоянии 200 – 400 км от ближайшего края платформ, тогда как карбонатитсодержащие комплексы, зарождавшиеся выше перидотитового слоя, чаще всего удалены от этих краев менее чем на 200 км (рисунок).

Удивительной особенностью кимберлитов и отчасти карбонатитов является преимущественная связь их с субмеридиональными линеаментами [1]. Это должно быть обусловлено существованием

западного дрейфа континентов, сопровождавшегося возникновением субмеридиональных зон растяжения на границах с участками ускорения этого дрейфа. Дрейф обусловлен воздействием на литосферу силы Кориолиса, возникавшей в поднимающихся мантийных плюмах. Такой же генезис, видимо, имеют и многочисленные субмеридиональные надвиги на границах различных блоков на Анабарском и Алданском щитах.

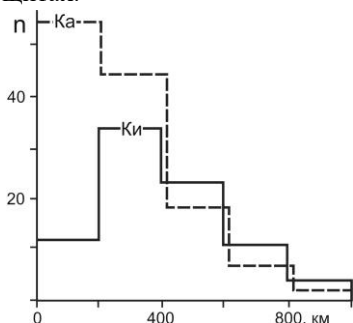


Рисунок. Гистограммы распределения карбонатитовых массивов (Ka) и кимберлитовых полей (Ки) в зависимости от расстояния до ближайших краев платформ. Построены по данным [1].

Растекание вещества плюмов под литосферой сопровождалось раздвижением ее самого нижнего перидотитового слоя. Это объясняет редкость кимберлитов в синеклизах и в складчатых областях.

Вследствие возникновения алмазоносных кимберлитов в самых нижних частях литосферы они размещались лишь в тех ее участках, где мощность ее была максимальной, то есть присутствовали «литосферные корни». Такие участки имеют обычно повышенную мощность кристаллической коры, пониженный геотермический градиент и незначительное количество магматических пород [2].

3. Заключение

Таким образом, только новейшие данные о горячей аккреции Земли позволяют объяснить главные особенности распространения кимберлитов и карбонатитов.

4. Литература

- [1] Belov, S.V., Lapin, A.V., Tolstov, A.V., Frolov, A.A. Minerageny of platform magmatism (traps, carbonatites, kimberlites). Novosibirsk: Pub. SO RAN, 2008. 537 p. (in Russian).
- [2] Shkodzinskiy, V.S. Global petrology on modern data of hot heterogeneous accretion of the Earth. Yakutsk: Pub. SVFU, 2018. 244 p. (in Russian).

УДК 551.345

**ИНЖЕНЕРНО-ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ
КОРИДОРОВ ТРАСС ТРУБОПРОВОДОВ
ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ**

Степан Варламов, Павел Скрябин

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

**ENGINEERING-GEOCRYOLOGICAL STATE OF THE
ROUTE CORRIDORS PIPELINES
IN CENTRAL YAKUTIA**

Stepan Varlamov, Pavel Skryabin

Melnikov Permafrost Institute, Siberian Branch, Russian Academy of
Sciences, 36 Merzlotnaya st., Yakutsk, 677010, Russia

Annotation. The results of long-term geocryological studies performed with scientific support of design and survey, construction works and during the operation of water and gas pipelines are presented. The observation results demonstrate significant increases in mean annual temperature (T_0) of the upper permafrost layers, as well as in seasonal thaw depth (ξ) following fires and post-fire clearing. It is established that the depth of seasonal soil thawing in technogenic landscapes increases annually. Sometimes talik zones are formed. In places where underground ice occurs, the degradation of permafrost begins.

Keywords: permafrost, ground temperature, active layer thickness, monitoring, pipeline, terrain disturbance.

1. Введение

В связи с реализацией программы водо- и газоснабжения территории Республики Саха (Якутия) Институт мерзлотоведения им. П.И.

Мельникова СО РАН с 1993 г. выполняет инженерно-геокриологические исследования на действующих коридорах трасс водовода Нижний Бестях – водохранилище Мундулах и участка газопровода Таас Тумус - Якутск. Были организованы наблюдательные полигоны для установления эволюции инженерно-геокриологического состояния грунтов вдоль трассы трубопроводов в слое годовых теплооборотов. Основная цель исследований заключается в оценке температурного режима грунтов в естественных, нарушенных условиях и развития криогенных процессов.

Прилегающие к водоводу и газопроводу территории характеризуются сложными геокриологическими условиями: распространением многолетнемерзлых пород, надмерзлотных вод, подземных льдов и развитием криогенных процессов [1, 2 и др.]. Геотемпературный мониторинг охватывает естественные и техногенные ландшафты. Работы проводятся в соответствии с требованиями метода природных аналогий на основе организации длительных натурных исследований.

2. Результаты

В Центральной Якутии со второй половины 60-х годов прошлого века наблюдается один из наиболее высоких в России трендов повышения среднегодовой температуры воздуха, достигающий $0,08 \text{ }^\circ\text{C}/\text{год}$ [3]. Последнее десятилетие XX века стало самым теплым ($-8,7 \text{ }^\circ\text{C}$). Такая же тенденция сохраняется и во второе десятилетие наступившего века.

Исследование в зоне влияния водовода Нижний Бестях – водохранилище Мундулах охватили 3 типа местности: пойменный, песчано-грядовый и межаласный. В пойменном типе местности минимальные T_0 наблюдались в экстремально малоснежные годовые периоды (1996-1998 и 2010-2013 гг.), максимальные температуры отмечались под влиянием экстремально многоснежных годов (1999-2001 и 2005-2007 гг.), когда мощность снежного покрова превышала норму в 2 раза и более. Экстремальные наводнения 2006 и 2011 г.г. сопровождалась намывом песков толщиной до 0,3 м на поверхности поймы, что способствовало понижению T_0 на 1,6-2,0 $^\circ\text{C}$. Термический режим грунтов в песчано-грядовом типе местности определяются экстремальными метеорологическими параметрами холодного сезона и режимом осадков в теплый сезон, а также влиянием техногенных воздействий. На склонах техногенного участка установлено развитие водной эрозии в виде суффозии, промоины и оврага. В межаласном типе

местности в мохово-брусничном лиственничном лесу за 25 лет наблюдений (1993-2018 гг.) T_0 имеет тренд повышения составляет 0,03 °С/год. На просеке трассы водовода по сравнению с естественными условиями T_0 на глубине 5 м повысилась на 1,4 °С, а ξ увеличилась на 1,1 м и достигла 3,0 м. При залегании повторно-жильных льдов на глубинах 1,6-2,4 м обусловили деградацию мерзлой толщи, просадку поверхности на 0,5-1,0 м и развитию начальной формы термокарста, представляющей серьезную опасность устойчивости грунтового основания водовода.

Тепловое состояние грунтов в зоне влияния газопровода Таас Тумус–Якутск изучается с 2003 г. в межлассном типе местности в лиственничном лесу и на гари.

В естественных условиях на фоне чередования холодных, теплых и близких к норме среднегодовых температур воздуха, под влиянием экстремально сухих и влажных летних сезонов до 2008 г. наблюдается увеличение ξ до 2 м и начала формирования надмерзлотных вод сезонноталого слоя (СТС) под воздействием заболачивания окружающего пирогенного участка. Затем до 2015 г. отмечается постепенное восстановление мощности СТС, которая к 2016-2018 гг. составила 1,0 м. В лесу в 2009 г. T_0 повысилась на 2,5 °С. Затем малоснежные зимы 2010 и 2011 гг. привели к понижению T_0 на 1,4 °С. В последующие годы T_0 стабилизировалась и изменялась незначительно в пределах -2,7...-3,1 °С. В конце теплого сезона 2018 г. распределение температуры грунтов по глубине 10 м показывает, что она почти восстановилась до состояния 2009 г.

На гари с вырубкой ξ к 2008 гг. увеличилась по сравнению с естественным условием почти в 3 раза и формировался сезонномерзлый слой мощностью 2,3-2,4 м. Под этим слоем до верхней границы мерзлой толщи, залегающей на глубине 3,2 м, образовался талый слой, мощностью 0,8 м. В малоснежные зимы 2010-2012 гг. отмечено полное промерзание этого слоя, но в 2013-2016 гг. экстремально теплые зимы вновь привели к формированию талика малой мощности и в последние две зимы это слой промерз. На гари T_0 в 2009 г. повысилась по сравнению с 2003 г. на 2,7 °С. В конце теплого сезона распределение температуры грунтов по глубине 2018 г. показывает, что она всего лишь на 0,1-0,3 °С ниже, чем ее максимальных экстремальных значений 2015 г. Наблюдается начальная стадия формирования полигональной формы рельефа в виде просадки.

3. Благодарности

Статья подготовлена при поддержке грантов РФФИ 18-41-140008 и 18-45-140029.

4. Литература

[1] Varlamov S.P., Skachkov Yu.B., Skryabin, P.N. 2002. Ground Temperature Regime in Permafrost Landscapes of Central Yakutia. Yakutsk: Permafrost Institute Press, 218 pp.

[2] Skryabin P.N., Varlamov S.P. 2013. Ground thermal regime in disturbed landscapes of Central Yakutia. Kriosfera Zemli XVII (3): pp. 44-49.

[3] Skachkov Yu.B. 2009. Recent variations in main climatic elements at Yakutsk. Proceedings of the Eighth Siberian Workshop on Climate and Ecological Monitoring, Tomsk, Russia, October 8-10, 2009. Tomsk: Agraf-Press, pp. 83-84.

УДК 551.58

ПРИЧИНА АНОМАЛЬНОГО СПЕКТРАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ АОТ НАД ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТЬЮ ЯКУТИИ В НОЯБРЕ 2006 Г.

Михаил Васильев^{1,2}

¹ Институт космофизических исследований и аэронауки им. Ю.Г. Шафера СО РАН – ОП ФГБУН ФИЦ «Якутский научный центр СО РАН», 677027, г. Якутск, пр. Ленина 31, Россия

² ФГАОУ ВО Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, 677000, Россия, г. Якутск, ул. Белинского, 58

THE REASON FOR ANOMALOUS SPECTRAL DISTRIBUTION OF AOD OVER THE CENTRAL PART OF YAKUTIA IN NOVEMBER 2006

Mikhail Vasiliev^{1,2}

¹ Yu.G. Shafer Institute of Cosmophysical Research and Aeronomy of SB RAS, 677027, Yakutsk, 31 Lenin Ave., Russia

² M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, 58 Belinsky st., Yakutsk, 677000, Russia

Annotation. The paper provides an analysis of the reverse paths of air mass distribution to identify industrial areas contributing to air pollution over the central part of Yakutia. Information on atmospheric air pollution over the central part of Yakutia is provided by the anomalies in the spectral distribution of the monthly average values of the aerosol optical depth (AOD) at the end (November) - beginning (February) of winter, revealed in [1]. For the period November and February, the months of 2004-2017 days with average daily AOD values were considered, relative to which an analysis was made of the return paths of the air mass distribution according to HYSPLIT data with a possible content of pollutants.

Keywords: HYSPLIT, spectral distribution, air pollution, air masses, Yakutia.

1. Введение

В аномалиях спектрального распределения АОТ прослеживается закономерность в начале май, середине – июль-август и конце – сентябрь-октябрь пожароопасного сезона в Якутии, а так же в начале (ноябрь) и конце (февраль) зимы [1]. Возможно, в зимний (ноябрь, февраль) период аномалии спектрального распределения АОТ связаны с так называемым явлением «Арктической дымки» [2], характеризующейся трансграничным переносом загрязняющих веществ, в основном, техногенного происхождения. Цель данной работы – провести подробный анализ экспериментальных данных и выявить возможную причину аномального спектрального распределения АОТ над центральной частью Якутии в ноябре 2006 г.

2. Методы и материалы исследования

Для достижения поставленной цели в работе проведен подробный анализ данных с использованием ранее полученной информации на солнечном фотометре по аномалиям спектрального распределения АОТ [1]. Аномалии спектрального распределения АОТ наблюдались в ноябре 2005, 2006 и 2008 гг., а так же феврале 2017 г. Пространственный и временной анализ траектории распространения воздушных масс осуществлен с помощью модели HYSPLIT (<http://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT.php>).

3. Результаты и обсуждение

Подробный анализ среднесуточных значений АОТ позволил установить, что аномальных спектральных распределений в ноябре 2005, 2008 гг. и феврале 2017 г. не наблюдалось. С учетом отсутствия данных АОТ на длине волны 340 нм – 5, 16, 18, 21 и 23 ноября 2006 г. выявлено, что аномальное спектральное распределение АОТ в ноябре 2006 г. наблюдается (рисунок 1). Из рисунка 1 видно, что значение АОТ=0.11 на $\lambda=340$ нм меньше чем АОТ=0.12 ($\lambda=380$ нм).

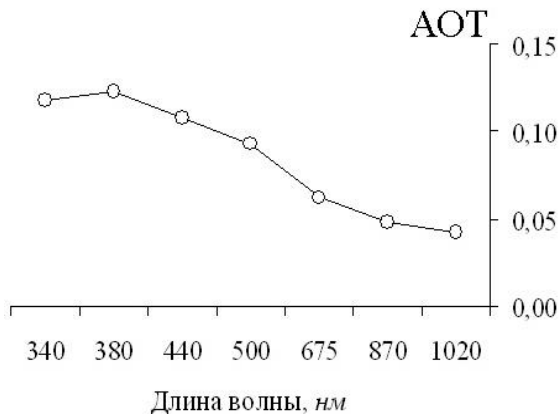


Рисунок 1. Аномальное спектральное распределение АОТ в ноябре 2006 г. над центральной частью Якутии с учетом отсутствия данных 5, 16, 18, 21 и 23 ноября на длине волны 340 нм.

Аномалии спектрального распределения АОТ наиболее часто регистрируются в случаях вторжения техногенного и пылевого аэрозоля (размеры частиц более 10 мкм) в атмосферу. Проведен анализ среднесуточных значений параметра Ангстрема (A) для $\lambda=340/440$ нм, $\lambda=500/870$ нм, $\lambda=440/675$ нм, $\lambda=380/500$ нм и $\lambda=300/500$ нм и $\lambda=440/870$ нм. Параметр A характеризует дисперсность аэрозольных частиц. Значения, близкие к нулю, означают преобладание крупных частиц: в случаях, когда $A > 1$ велика доля высокодисперсных частиц (наличие дыма). В ноябре 2006 г. среднее значение параметра A на $\lambda=340/440$ нм составило 0.45, тогда как для остальных λ среднее значение $A > 1$. Проведен анализ обратных траекторий воздушных масс (например, рисунок 2) по данным модели HYSPLIT.

NOAA HYSPLIT MODEL
 Backward trajectories ending at 2300 UTC 11 Nov 06
 CDC1 Meteorological Data

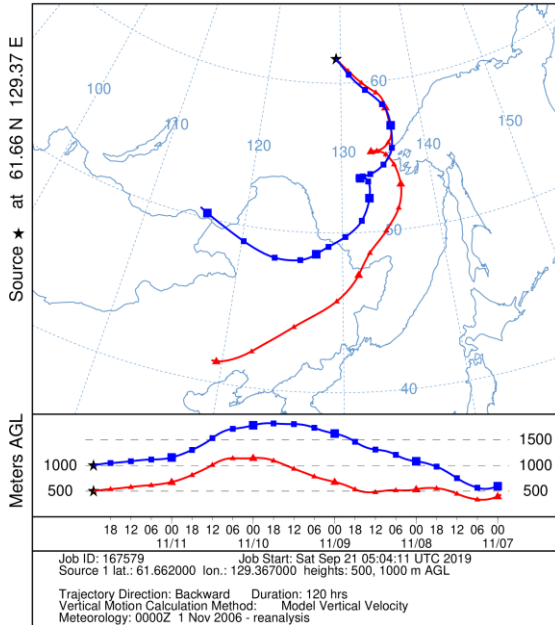


Рисунок 2. Обратные траектории воздушных масс (HYSPLIT) с 7-11 ноября 2006 г. Интервал по времени с 6-часовым шагом с момента дня наблюдения АОТ 11 ноября. Звездой черного цвета отмечено месторасположение ст. Якутск (СИМЕЛ СЕ-318). Цветовая градация обратных траекторий воздушных масс по высоте – 500 м (красная линия), 1000 м (синяя линия).

4. Выводы

Таким образом, возможно, аномалия спектрального распределения АОТ в ноябре 2006 г. связана с промышленными источниками загрязнения атмосферного воздуха исходящими от Иркутской области, Красноярского и Забайкальского краев, а так же северо-восточной части Китая.

5. Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации бюджетной темы П.16.1.7.

0375-2018-0004 (номер государственной регистрации № АААА-А17-117021450054-8).

6. Литература:

[1] Vasiliev M.S., Nikolashkin S.V., Titov S.V. Special features of the spectral distribution of AOD by measurements in Yakutsk (AERONET) for the period 2004-2017 // Proc. SPIE 11208, 25th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics, 112086H (18 December 2019); doi: 10.1117/12.2536520.

[2] Shaw G.E. The Arctic Haze Phenomenon // Bull. Amer. Meteor. Soc. 1995. V. 76. P.2403-2414.

УДК 551.5

ДИНАМИКА АОТ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ ПО ДАНЫМ MERRA-2 ЗА ПЕРИОД 1980-2018 гг.

Михаил Васильев^{1,2}

¹ Институт космофизических исследований и аэронауки им. Ю.Г. Шафера СО РАН – обособленное подразделение ФГБУН ФИЦ «Якутский научный центр СО РАН», 677027, г. Якутск, пр. Ленина 31, Россия

² ФГАОУ ВО Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, 677000, Россия, г. Якутск, ул. Белинского, 58

AOD DYNAMICS IN CENTRAL YAKUTIA ACCORDING TO MERRA-2 DATA FOR THE PERIOD OF 1980-2018

Mikhail Vasiliev^{1,2}

¹ Yu.G. Shafer Institute of Cosmophysical Research and Aeronomy of SB RAS, 677027, Yakutsk, 31 Lenin Ave., Russia

² M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, 677000, Yakutsk, 58 Belinsky str., Russia

Annotation. The paper considers the dynamics of the aerosol optical depth (AOD) over the central part of Yakutia according to the MERRA-2 reanalysis data for the period 1980-2018. For the period under review, in the annual AOD course over the central part of Yakutia, a number of positive extrema were

identified corresponding to the extremes of the total forest fire activity (FFA) in Yakutia. However, there is also a discrepancy between the extremes of AOD (the central part of Yakutia) and the total FFA in Yakutia. The discrepancy between the positive extremes between AOD and forest fires is associated with the propagation paths of air masses containing smoke aerosol. At the moments of observation of the maximum values of AOD, it is necessary to consider the burning areas of the forest, including neighboring regions. The use of information on the propagation paths of air masses containing fumed aerosol smoke makes it possible to identify a causal relationship between perturbations of AOD and fumes from the burning areas of the forest.

Keywords: MERRA-2, aerosol, forest fires, Yakutia.

1. Введение

Известно, что крупномасштабные задымления от лесных пожаров ухудшают экосистему, меняют аэрозольный и газовый состав атмосферного воздуха. В данной работе рассматривается динамика годового хода АОТ в Центральной Якутии за период 1980-2018 гг. по данным реанализа MERRA-2.

2. Методы и материалы исследования

В Центральной Якутии мониторинг АОТ проводится солнечным фотометром CIMEL CE-318 (ст. Якутск – координаты прибора: 61,662N; 129,367E). Были использованы данные АОТ уровня 2 версии 3 (длина волны $\lambda=500$ нм (<https://aeronet.gsfc.nasa.gov/>)). Среднемесячные значения АОТ реанализа MERRA-2 (<https://gmao.gsfc.nasa.gov/reanalysis/MERRA-2/>) получены с помощью численной модели атмосферы на основе ассимилированных данных разнообразных спутниковых и наземных измерений. Информация по ЛА в Якутии (общая выгоревшая площадь S , Га) предоставлена ГБУ РС (Я) «Якутская база авиационной охраны лесов». Пространственный и временной анализ траектории распространения воздушных масс от очагов горения лесного массива осуществлен с помощью модели HYSPLIT (<http://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT.php>). В качестве индекса солнечной активности (СА) использовались среднегодовые значения чисел Вольфа (<http://www.astro.oma.be/en/>).

3. Результаты и обсуждение

За период 2004–2017 гг. проведен сравнительный анализ годового хода АОТ между данными MERRA-2 & CIMEL CE-318. Сравнивали абсолютные значения АОТ (MERRA-2) с пространственным разрешением $0,5^{\circ} \times 0,625^{\circ}$ вокруг точки наземного наблюдения. Коэффициент корреляции Пирсона R между данными за рассматриваемый период равен 0,85 с уровнем значимости $P=99\%$ при критическом значении $r_{\text{крит.}}=0,48$. На рисунке 1 представлен годовой ход АОТ, чисел Вольфа и ЛА. За период 1980–2016 гг. корреляция между АОТ и лесными пожарами практически отсутствует – R находится на уровне 0,1. Наблюдаются положительные экстремумы между АОТ (центральная часть Якутии) и общей выгоревшей площадью лесного (и не лесного) массива в Якутии в 1992, 1996, 1998, 2002, 2008 и 2014 гг.

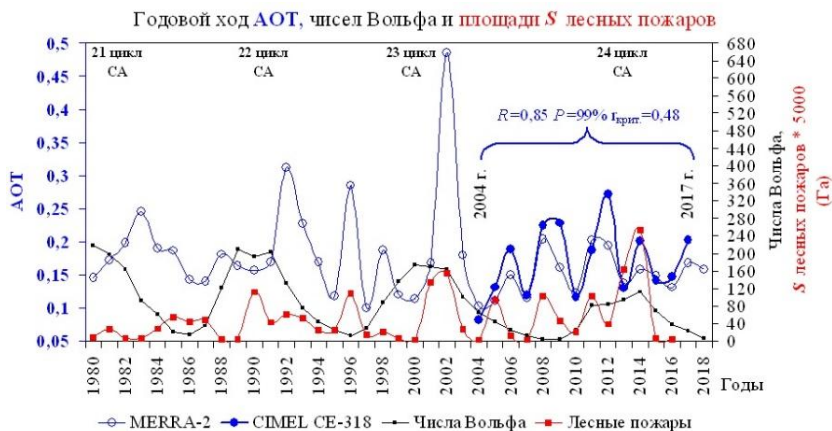


Рисунок 1. Годовой ход АОТ (центральная часть Якутии – данные MERRA-2 (1980–2018 гг.), CIMEL CE-318 (2004–2017 гг.)), чисел Вольфа и общей площади S лесных пожаров в Якутии (1980–2016 гг.).

В работе [1] показано, что при наличии максимального значения АОТ=0,526 19.04.2009 г. в Якутии не наблюдались лесные пожары. В соседних регионах наблюдалась ЛА, а по данным HYSPLIT было установлено, что дымы от очага горения обнаруженного 17 апреля в Амурской области спутниковым мониторингом, охватили месторасположение солнечного фотометра 19.04.2009 г. Максимальное среднегодовое значение АОТ=0,48 в 2002 г. связано с наличием

дымового аэрозоля от очагов горения лесного массива, основная масса которых была сосредоточена в центральной части Якутии.

. Выводы

Таким образом, всесторонняя информация и экспериментальные данные разнообразных метеорологических элементов могут позволить выявлять причину возмущения АОТ над локальными пунктами наблюдения на обширных территориях. На протяжении 21-24-го циклов СА (рис. 1) в периоды фаз роста, спада и минимума в годовом ходе АОТ наблюдаются максимальные значения. Данный факт требует проведения дальнейших исследований.

5. Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации бюджетной темы П.16.1.7. 0375-2018-0004 (номер государственной регистрации № АААА-А17-117021450054-8).

6. Литература:

[1] Vasiliev M.S., et al. Atmospheric transparency over Central Yakutia from the sun-sky photometer data in 2004-2017 // Proc. SPIE 11208, 25th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics, 112086G (18 December 2019); doi: 10.1117/12.2536405.

УДК 528.8

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ ОТ ГРОЗ В ЯКУТИИ ПО ДАНЫМ MODIS/TERRA, AQUA & WWLLN

Михаил Васильев^{1,2}

¹ Институт космофизических исследований и аэронавтики им. Ю.Г. Шафера СО РАН – ОП ФГБУН ФИЦ «Якутский научный центр СО РАН», 677027, Россия, г. Якутск, пр. Ленина, 31

² ФГАОУ ВО Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, 677000, Россия, г. Якутск, ул. Белинского, 58

METHOD FOR DETERMINING THE FORMATION OF FOREST FIRES FROM THUNDERSTORMS IN YAKUTIA ACCORDING TO MODIS/TERRA, AQUA & WWLLN DATA

Mikhail Vasiliev^{1,2}

¹ Yu.G. Shafer Institute of Cosmophysical Research and Aeronomy of SB RAS, 677027, Yakutsk, 31 Lenin Ave., Russia

² M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, 58 Belinsky st., Yakutsk, 677000, Russia

Annotation. The paper considers a remote method for determining the occurrence of forest fires (FF) from thunderstorms in Yakutia. FF data (Npix - the number of «fire» pixels) was obtained using a MODIS/Terra, Aqua spectroradiometer (confidence level from 80-100%) of the FIRMS (<https://earthdata.nasa.gov/data/near-real-time-data/firms>). Lightning discharge data - WWLLN (World Wide Lightning Location Network, <http://wwlln.net/>). An analysis of lightning discharges was carried out for a period from 1-10 days to the date of fire detection. The spatial comparison of the centers of lightning discharges and FF was carried out with a circle radius of 10 km having a center relative to the burning center. A comparison of the percentage of FF from thunderstorms according to the remote sensing method with the information provided by the Aviation Forest Protection (the Republic of Sakha (Yakutia) is carried out.

Keywords: forest fires, thunderstorms, remote sensing, Yakutia.

1. Введение

Известно, что устойчивое существование видового состава лесного массива и его развитие зависит от очагов горения лесного массива, которые являются важнейшим эколого-эволюционным фактором. Основными причинами возникновения ЛП являются антропогенный и естественный (грозы) и факторы [1]. В данной работе представлен дистанционный метод определения возникновения ЛП от гроз в Якутии по данным MODIS/Terra, Aqua & WWLLN с использованием геоинформационного продукта ArcView.

2. Методы и материалы исследования

Алгоритм детектирования ЛП (продукт MOD14/MID14) основан на данных получаемых в диапазоне 4 км (каналы MODIS №№ 21, 22) и 11 км (канал MODIS № 31) с пространственным разрешением 1 км. Метод измерения и точность определения местонахождения грозового разряда с помощью WWLLN представлены в работе [2]. ГБУ РС (Я) «Авиалесоохрана» обнаруживает ЛП с помощью данных дистанционного зондирования Земли, лесоавиационных работ, местного населения, наблюдательных пунктов и наземного патрулирования. При этом причинами возникновения ЛП могут быть: «в результате нарушения гражданами (включая местное население и туристов) правил пожарной безопасности в лесах», «от линейных объектов (линии электропередач, железных и автомобильных дорог, трубопроводов и иных линейных объектов)» и «от гроз». Стоит отметить, что причину возникновения ЛП от гроз ГБУ РС (Я) «Авиалесоохрана» в сводках указывает «условно» если не выявлена иная причина.

3. Результаты и обсуждение

Огонь внутри лесного напочвенного материала находящегося в стадии тления, причиной которого явилась молния, может находиться внутри ствола определенное время, пока не наступят благоприятные условия его развития в ЛП. Период скрытого горения в таком случае может достигать 10 дней. Дистанционный метод определения возникновения ЛП от гроз основан на анализе грозовых разрядов за период от 1-10 дней до даты обнаружения пожара. Пространственное сопоставление очагов грозовых разрядов и ЛП проводилось с радиусом окружности 10 км имеющий центр относительно очага горения (рисунок 1). Радиус окружности 10 км определен исходя из неточности дистанционных методов обнаружения месторасположения ЛП и гроз. На рисунке 1 представлен дистанционный метод определения возникновения ЛП от гроз. За период июнь-август 2009 г. на территории Якутии было зафиксировано 5638 «пожарных» пикселей и 25865 грозовых разрядов. Грозные разряды в 2009 г. могли стать причиной 16% ЛП. За период июнь-август 2010 г. на территории Якутии было зафиксировано 7105 «пожарных» пикселей и 70904 грозовых разрядов. Грозные разряды в 2010 г. могли стать причиной 29% ЛП. По данным ГБУ РС (Я) «Авиалесоохрана» в 2009 г. и 2010 г. было выявлено 55% и 56% соответственно причин возникновения ЛП от гроз.

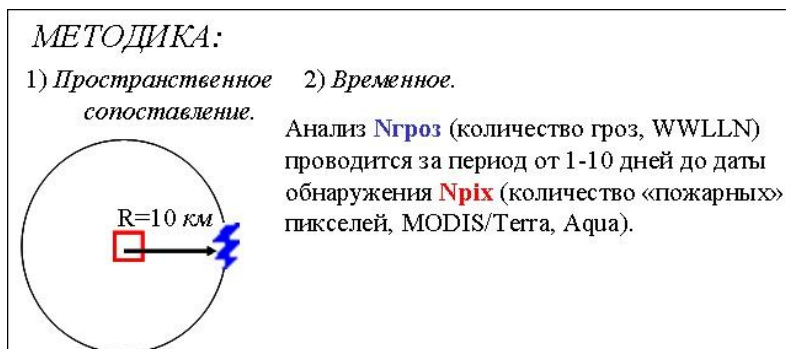


Рисунок 1. Дистанционный метод определения возникновения ЛП от гроз по данным MODIS/Terra, Aqua & WWLLN, где R – радиус окружности.

4. Выводы

Планируется применить дистанционный метод определения возникновения ЛП от гроз в Якутии для дальнейших исследований. Необходимо выявить целесообразность проведения сравнительного анализа с данными ГБУ РС (Я) «Авиалесоохрана». Связано это с несовпадением количества «пожарных» пикселей и обнаруженных очагов горения «Авиалесоохраной». Возможно, на первоначальном этапе необходим кластерный анализ «пожарных» пикселей, например в радиусе 1 км. Тем не менее, в отсутствие методик выявления ЛП в Якутии, причиной которых является гроза, дистанционный метод, представленный в работе является актуальным.

5. Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации бюджетной темы П.16.1.7. 0375-2018-0004 (номер государственной регистрации № АААА-А17-117021450054-8).

6. Литература:

[1] Васильев М.С., Каримов Р.Р. Исследование возможных причин возникновения лесных пожаров в Якутии по данным дистанционных наблюдений // В мире научных открытий. Красноярск: Научно-инновационный центр. 2014. № 4(52). С. 161-171.

[2] Козлов В.И., Муллаяров В.А., Каримов Р.Р. Пространственное распределение плотности грозových разрядов на Востоке России по данным дистанционных наблюдений // Современные проблемы дистанционного зондирования из космоса. 2011. Т. 8. № 3. С. 257-262.

УДК 551.79

**ОСОБЕННОСТИ КРИОЛИТОЛОГИЧЕСКОГО
СТРОЕНИЯ НИЖНЕПАЛЕОЛИТИЧЕСКОЙ
СТОЯНКИ ДИРИНГ (ЦЕНТРАЛЬНАЯ ЯКУТИЯ)**

Анжела Васильева, Мария Павлова, Ирина Климова
ФГБУН Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН,
677010, Россия, г. Якутск, ул. Мерзлотная, 36

**FEATURES OF THE CRYOLITOLOGICAL STRUCTURE
OF THE LOWER PALEOLITHIC PARKING DEERING
(CENTRAL YAKUTIA)**

Anzhela Vasilieva, Maria Pavlova, Irina Klimova
Melnikov Permafrost Institute, Siberian Branch, Russian Academy of
Sciences, 36 Merzlotnaya st., Yakutsk, 677010, Russia

Annotation. The results of cryolithological studies are presented, in which the ancient paleoliths of Deering-Yuryakh are located, existing within the 120-meter basement terrace of the river Lena. It was established that the root basement of Cambrian limestones and the Late Quaternary sedimentary cover composed of deposits of the Bestyakh formation with transitional deflation horizon, alluvial and dune packs are distinguished in the terrace structure. For facies sediment types, particle size distribution was determined and mineralogical composition features were noted.

1. Введение

Стоянка древнейшего палеолита Дири́нг-Юря́х (61°12' с.ш., 128°28' в.д.) располагается на правом берегу р. Лена, в 140 км выше по течению от г. Якутск, в пределах 120-метровой цокольной (предположительно, табагинской) террасы [1]. В строении террасы выделяется коренной

цоколь нижнекембрийских известняков видимой мощностью около 100 м и четвертичный чехол осадочных отложений (от 5 до 20 м).

В июне 2019 года проведены полевые работы с целью уточнения геологического строения и генезиса вмещающих отложений стоянки древнейшего палеолита Дириг-Юрях. В пределах района исследования заложена серия разрезов с подробным описанием и опробированием. Для 29 образцов выполнен гранулометрический рассев и статистическая обработка по методу Р.Л. Фолка и В.С. Уорда [4]. В программе Gradistat посчитаны следующие показатели: средний размер – x (мкм), коэффициент сортировки – σ , асимметрия – α , эксцесс – τ (безразмерные величины) [3]. Для 20 проб выполнен минералогический анализ иммерсионным методом.

2. Основной раздел

На основании полученных данных установлено следующее строение стоянки Дириг-Юрях (рисунок 1):

В основании разреза до 101,5 м абсолютной высоты над уровнем моря залегает коренной цоколь кембрийских известняков.

Бестяхская свита. В интервале абсолютных высот 101,5-109,5 м вскрываются отложения бестяхской свиты, представленные переслаиванием песков среднезернистых ($x = 321,35 \pm 76,82 \mu\text{m}$) охристых, включающие примесь гальки и гравия, с песками среднезернистыми светло-коричневыми, сильно криотурбинованные. Пачка прорезана песчаной жилой толщиной около 4 м и глубиной проникновения до 2 м, заполненной песком светло-серым мелкозернистым с вертикальной слоистостью.

В интервале абсолютных высот 105,5-109,5 м наблюдается мерзлый диапир грибообразной формы, сложенный переслаиванием супеси и песка мелкозернистого, осложненный микроплойчатой складчатостью.

Отложения бестяхской свиты характеризуются умеренной сортировкой материала ($\sigma = 1,7 \pm 0,19$), симметричным распределением частиц ($\alpha = -0,04 \pm 0,14$), эксцесс (τ) составляет $1,233 \pm 0,31$, свидетельствующий о небольшом выносе песчаного материала. В минералогическом составе преобладает кварц (35-65%) и полевые шпаты (15-35%), отмечено высокое содержание биотита (1-11 %) и гидроокислов железа (2-29 %).

В интервале абсолютных 109,5-110,5 м залегает *дефляционный слой*, сложенный песками среднезернистыми ($x = 267,1 \pm 62,42 \mu\text{m}$) с примесью мелкого гравия, гальки и ветрогранников. Отложения характеризуются

умеренной сортировкой материала ($\sigma=1,74\pm 0,21$), симметричным распределением частиц ($\alpha = -0,09\pm 0,12$), эксцесс (τ) составляет $1,006\pm 0,37$, указывающий на узкий гранулометрический диапазон. В минералогическом составе присутствует кварц (до 60%) и полевые шпаты (30%).

Аллювиальные отложения. В интервале абсолютных высот 110,5-112 м залегают аллювиальные отложения, представленные переслаиванием песков мелкозернистых палевых косослоистых, включающие мелкий гравий, и супесей пылеватых темно-серых горизонтально-слоистых.

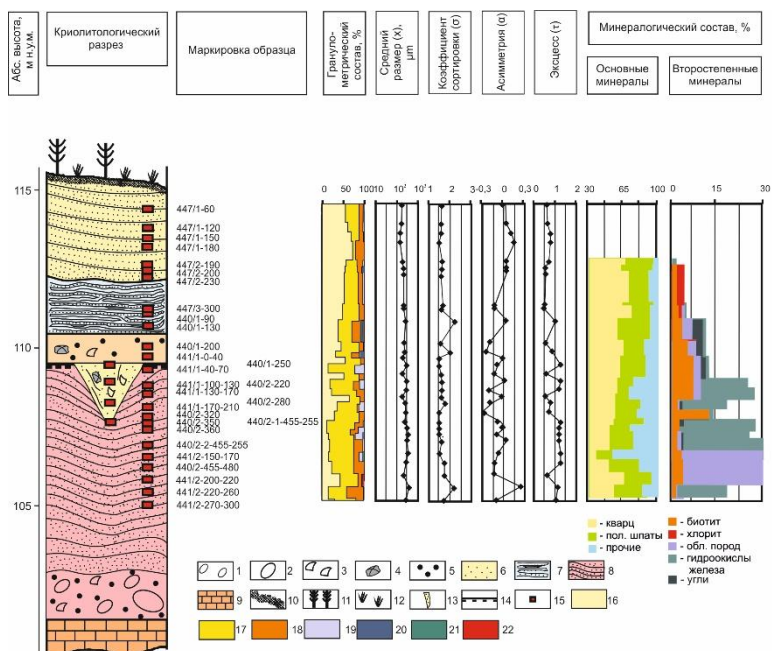


Рисунок 1. Опорный разрез стоянки Диринг-Юрях, в 140 км выше по течению от г. Якутск

Литология: 1 – мелкая галька; 2 – валун; 3 – мелкий гравий; 4 – ветрогранник; 5 – дресва; 6 – мелкий песок; 7 – супесь с тонкими прослоями суглинки; 8 – средний песок с диопировой криотурбацией; 9 – известняки; 10 – почвенно-растительный слой; 11 – деревья; 12 – кустарники; 13 – песчаная жила; 14 – поверхность интенсивной дефляции; 15 – точка отбора проб. Гранулометрия: 16 – 0,1-0,25 мм; 17 – 0,25-0,5 мм; 18 – <0,1 мм; 19 – 0,5-1; 20 – 1-2 мм; 21 – 2-3 мм 22 – 5-7 мм.

Гранулометрический состав отложений (4 образца) следующий: средний размер зерен $x = 229,9 \pm 23,35$ μm , коэффициент сортировки $\sigma = 1,84 \pm 0,25$, асимметрия $\alpha = 0,011 \pm 0,08$, эксцесс $\tau = 0,904 \pm 0,28$. Минералогический состав следующий: кварц (62-67 %), полевые шпаты (3-33 %).

Дюнные отложения, залегающие в интервале абсолютных высот 112-117 м, представлены песками мелкозернистыми ($x = 207,25 \pm 16,89$ мкм) перекрестно-слоистыми. Характеризуется умеренной сортировкой материала ($\sigma = 1,68 \pm 0,06$), асимметрия $\alpha = 0,106 \pm 0,05$, эксцесс $\tau = 0,849 \pm 0,10$. В минералогическом составе преобладает кварц (57-71 %) и полевые шпаты (24-33 %).

3. Выводы

Таким образом, полученные данные позволили уточнить геологическое сложение 120-метровой цокольной террасы, в пределах которой располагается стоянка Диринг-Юрях. Установить, что в ее строении выделяется коренной цоколь и трехчленный позднечетвертичный осадочный чехол. Отметить особенности фациальных типов рыхлых осадков, представленные отложениями бестяхской свиты с переходным дефляционным горизонтом, аллювиальными и дюнными пачками.

4. Благодарности

Исследования проведены при поддержке грантов РФФИ РС(Я) № 18-45-140012_p_a, Интеграционной программы СО РАН II.1 блок 3.

5. Литература:

- [1] Mochanov, Yu.A., Fedoseeva, S.A. Essays On Preliterate History of Yakutia. Stone Age; Academy of Sciences, Sakha Republic (Yakutia)// Center of Arctic Archaeology and Human Paleocology. Yakutsk, 2013, vol. 1, 504 p.
- [2] Waters, M.R. et al. Diring Yuriakh: a Lower Paleolithic site in central Siberia // Science, 1997, vol. 275, pp.12811–284.
- [3] Blott, S.J., Pye, K. Gradistat: a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments // Earth Surface Processes and Landforms, 2001, vol. 26, pp. 1237–1248.
- [4] Folk, R.L. Petrology of sedimentary rocks. Texas, Hemphill Publ. Company Austin, 1980, 350 p.

УДК 504.53.054

МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННО-ПРЕОБРАЗОВАННЫХ ПОЧВ ДАЛДЫНСКОГО КИМБЕРЛИТОВОГО ПОЛЯ

Татьяна Васильева, Яна Легостаева

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

THE MINERALOGICAL COMPOSITION OF NATURE AND TECHNOGENIC TRANSFORMATION SOILS OF DALDYN KIMBERLITE FIELD

Tatiana Vasileva, Yana Legostaeva

Diamond and Precious Metals Geology Institute, Siberian Branch, Russian
Academy of Sciences, 39 Lenina ave., Yakutsk, 677000, Russia

Annotation. The article discusses the mineralogical composition and thermogravimetric characteristics of the zonal types of Daldyn kimberlite field soils. We discuss the signs of possible impact on the mineralogical composition of soils as a result of the technogenic transformation of the industrial site territory.

1. Введение

Формирование техногенно-преобразованных ландшафтов при добыче и переработке месторождений полезных ископаемых представляет собой процессы современной седиментации и диагенеза, ускоренные по сравнению с природными и непосредственно связанные с антропогенно-техногенным воздействием. При этом техногенное воздействие на окружающую среду включает, в том числе, и загрязнение почвенного покрова, и привнос минералов не характерных для данного типа почв, нарушение почвенного профиля, которое связано с удалением или истощением органогенного горизонта, его пертурбацией, отсыпкой или консервацией почв отходами от переработки породы. Все это приводит к ухудшению водно-физических свойств, засолению почв и потере гумуса [1].

Настоящая работа представляет предварительные результаты исследований минералогического состава природных почв

Западноякутской алмазоносной провинции на примере территории Далдынского кимберлитового поля и техногенно-преобразованных почв и почвоподобных образований промышленной площадки горно-обогатительного комбината.

2. Обсуждение полученных результатов

Территория Далдынского кимберлитового поля представлена зональными почвами природных не нарушенных северо-таежных ландшафтов – разные подтипы криоземов, в качестве интразональных – аллювиальные почвы и глееземы. За более чем пятидесятилетний период отработки алмазных месторождений на территории Западной Якутии сформировались техногенно-преобразованные ландшафты, приуроченные к территориям промышленных площадок.

Изучение минералогического состава выполнено методом рентгенофазового анализа на дифрактометре D2 PHASER, съемка образцов проводилась на $\text{CuK}\alpha$ излучении, при напряжении трубки 30 кВ и силе тока 10 мА, интервал съемки 4,5-65° ($2\theta^\circ$), для диагностики минералов использовали базу данных PDF-2. Препараты для съемок готовились из порошковых проб, для некоторых образцов проводилась дополнительная обработка (насыщение этиленгликолем, прокаливание при температуре 350°C и 550°C в течение часа) для более точной идентификации слоистых силикатов (разделения минералов группы каолинита в присутствии минералов группы хлорита и идентификации смешаннослойных и разбухающих минералов группы монтмориллонита). Дополнительно проводился термический анализ на анализаторе STA 449C Jupiter (режим съемки: от комнатной температуры до 1000°C в инертной среде аргона) (аналитик Емельянова Н.Н. ИГАБМ СО РАН).

Минералогический состав природных почв Далдынского кимберлитового поля в основном наследуется от материнской породы. Основным минералом породы являются карбонаты – кальцит и доломит (чаще встречается преобладание второго над первым), далее следуют кварц и алюмосиликаты, их состав достаточно однообразен и представлен, минералами из группы полевых шпатов и слюд, в некоторых образцах присутствуют минералы из группы хлорита. Минералогический состав природных почв характеризуется карбонатно-кварцевым составом (в основном доломитовым) с небольшим количеством минералов из группы полевых шпатов, хлоритов и слюд.

При этом содержание доломита уменьшается вверх по профилю, практически таким же образом изменяется количество полевых шпатов и минералов из группы хлорита и слюд. По данным термического анализа для этих почв характерно наличие одного эндоэффекта в области 25-130 °С и двух групп экзоэффектов в области 200-400 °С и 700-900 °С: первый эффект обусловлен выделением адсорбированной воды, два других – двухступенчатым разрушением органических кислот почв [2, 3].

Техногенное воздействие на почвы включает внесение минералов характерных для кимберлитов – минералы из группы серпентина, оливина и пироксена и происходит формирование минеральных новообразований гипса, смешаннослойных минералов и минерала из группы монтмориллонита. Например, на площадках, расположенных от 1,5 до 3 км севернее от карьера «Удачный» по данным рентгенофазового анализа присутствуют минералы группы серпентина и пироксена, происходит образование гипсовой корки на поверхности почвы. Непосредственно рядом с хвостохранилищем I очереди обогатительной фабрики основными минералами являются минералы группы серпентина, пироксена и хлорита. Прилегающая территория характеризуется присутствием минералов из группы серпентина, оливина и амфибола, кальцитом, ильменитом.

Возле карьера тр. «Зарница» наблюдаются совершенно другие изменения в минералогическом составе: почва практически полностью состоит из кварца, остальные минералы (полевые шпаты, слюда и хлорит) присутствуют в качестве небольшой примеси. На почвах близлежащих территорий по данным рентгенофазового анализа не наблюдается изменений, но по данным термического анализа мы отмечаем резкое уменьшение потери адсорбированной воды, уменьшение или отсутствие экзотермических пиков связанных со сгоранием и разрушением органических соединений почв.

Таким образом, в почвенном профиле на участках, подверженных прямому техногенному воздействию, отмечены минералы кимберлитовых пород, которые не характерны для этих почв и не встречаются даже в почвах, сформированных непосредственно в пределах кимберлитового поля. Поэтому можно предположить, что присутствующие минералы из групп серпентина, пироксена и оливина по своей сути не являются признаком специфичного техногенного минералообразования. А их появление в почвенном профиле

техногенно-преобразованных почв связано исключительно с прямым воздействием наземных техногенных хранилищ – отвалов пустых пород или хвостохранилищ.

На поверхности почв в зоне прямого воздействия техногенных ландшафтов выявлены новообразования гипса.

Велика вероятность, что на этой территории могут развиваться новые почвы. Для этих почв будет характерен свой набор минералов, не типичный на общем фоне физико-химических и геохимических составляющих, несвойственных для генезиса зональных почв северо-таежной климатической зоны.

3. Выводы

На основании исследования можно сделать вывод, что природные почвы наследуют состав подстилающих карбонатных пород. Основными минералами почвенного покрова являются кварц, карбонаты (преимущественно доломит), полевые шпаты, минералы группы хлорита и слюд. Вверх по профилю их количество уменьшается, в то время как количество кварца - увеличивается.

В техногенно-преобразованных почвах по данным рентгенофазового анализа привносятся из кимберлитовых пород минералы из групп серпентина, пироксена и оливина, в качестве новообразованных выступают – гипс и, вероятно, минерал из группы монтмориллонита и смешаннослойный минерал. Минералы кимберлитовых пород изменяют геохимические параметры почв и сорбционные свойства почвенного материала, но не ведут к появлению новообразований или образованию высокоподвижных форм токсичных соединений.

4. Благодарности

Работа выполнена по проекту НИР 0381-2019-0003. Авторы выражают благодарность за помощь и советы к.г.-м.н. Н.В. Заякиной, за проведение термоанализа Н.Н. Емельяновой.

5. Литература:

- [1] Korkina Ye.A. Samovoostanovleniye narushennykh tekhnogenezom pochv Srednego Priob'ya. Nizhnevartovsk: NVGU, 2015, 158 s.
- [2] Gorbunov N.I., Tsuryupa I.G., Shurygina Ye.A. Rentgenogrammy, termogrammy i krivyeye obezvozhvaniya mineralov, vstrechayushchikhsyav pochvakh i glinakh. Moskva: Akademiya nauk. 1952, 185 s.

[3] Starykh S.E., Shneye T.V., Odintsova I.G., Alpatova I.N. Termicheskiy analiz gumusovykh veshchestv otkhodov pryadil'nykh kul'tur // Sovremennyye tendentsii v nauchnom obespechenii APK Verkhnevolzhskogo regiona. Ivanovo: Izdatel'sko-poligraficheskiy kompleks «PresSto», 2018. S. 412-421.

УДК 502.55:6656(571.56)

ПРОБЛЕМЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННЫХ ПОЧВ

Юлия Глязнецова, Ираида Зуева, Сара Лифшиц, Ольга Чалая,
Ньюргустаана Попова

ФИЦ «ЯНЦ СО РАН» ФГБУН Институт проблем нефти и газа СО РАН,
677980, Россия, г. Якутск, ул. Петровского, 2

PROBLEMS OF REMEDIATION OF OIL- CONTAMINATED SOILS

Yuliya Glyaznetsova, Sara Lifshits, Iraida Zueva, Olga Chalaya,
Nyurgustaana Popova

Institute of Oil and Gas Problems Siberian Branch of the Russian Academy of
Sciences, 2 Petrovsky st., Yakutsk, 677980, Russia

Annotation. The paper presents data from 7-year monitoring of disturbed lands and estimation the effectiveness of measures for biological treatment of oil-contaminated soils. The effect of the clean-up works was clearly observed annually only during the summer season. The increase in the level of pollution by the beginning of each next season is most likely due to the migration of oil from the underlying soil horizons to the near-surface ones, which is confirmed by the data of the chemical composition of the samples. This could shade the positive effect of remediation work.

1. Введение

Обеспечение устойчивого функционирования и восстановления экосистем, нарушенных в результате деятельности предприятий нефтегазового комплекса, является приоритетной задачей охраны окружающей среды. Несмотря на высокие требования к минимизации загрязнений и переходу к наиболее экологически безопасным

технологиям очистки нефтезагрязненных почв и грунтов, существует риск нарушения и загрязнения почв нефтью и нефтепродуктами, что влечет за собой негативные последствия для природной среды. К сожалению, все еще применяются такие методы ликвидации разливов нефти как сжигание, засыпка загрязнённых территорий грунтом или песком, что является не допустимым [1].

В связи с этим актуальными являются вопросы, связанные с ликвидацией нефтяных разливов и разработкой экологически эффективного способа рекультивации нарушенных земель в условиях Крайнего Севера.

Целью данной работы являлась оценка качества очистки нефтезагрязненных почв биологическим способом «in-situ» непосредственно на месте разлива без перемещения грунта. Для этого применялся комплекс физико-химических анализов [2].

2. Результаты и обсуждение

Объектом исследований являлся участок территории с нефтезагрязненной почвой, где в 2010-2012 г.г. проводились испытания разработанного в Институте биопрепарата для очистки нефтезагрязненных почв. Мониторинг данного участка проводился на протяжении 7 лет.

После обработки почв биопрепаратом в первый год (2010) было установлено снижение концентрации нефти ($C_{\text{нп}}$) в почве, степень деструкции за 3,5 месяца составила 59 %. В последующие годы: в 2011 г. 49%, в 2012 г. 54%. Снижение концентрации нефти сопровождалось изменениями в химическом составе нефтезагрязнения. Это выразалось в уменьшении количества нефтяных углеводородов и увеличении доли кислородсодержащих соединений, что свидетельствовало о биохимическом окислении нефтяных углеводородов.

За 7 лет мониторинга данного участка, было установлено, что практически ежегодно к началу нового сезона (к маю последующего года) концентрация нефти снова возрастала (рисунок 1). Так, к маю 2013 г. при отсутствии новых разливов содержание нефти увеличилось в 2,5 раза по сравнению с исходным в 2010 г.

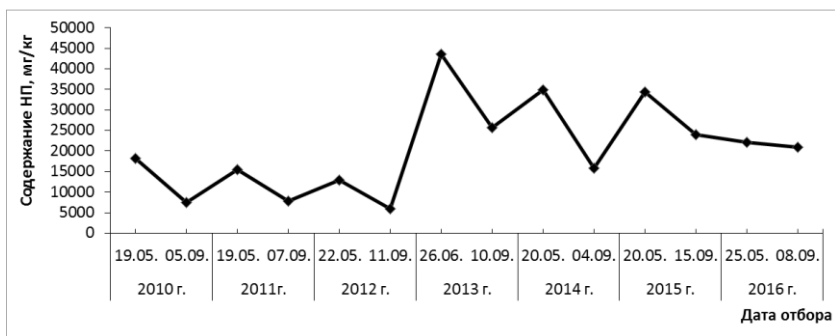


Рисунок 1. Динамика изменения содержания нефти в почве.

Для установления причины ежегодных колебаний уровня загрязнения в 2016 г. были отобраны пробы почв данного участка с различной глубиной: от поверхности до 100 см. Из таблицы 1 видно, что с глубиной содержание нефти увеличивается, а в составе почвенных экстрактов возрастает количество углеводородных компонентов, а среди них – метаново-нафтеновых (Me-Na) углеводородов и уменьшается содержание смол и асфальтенов. На это же указывают относительные коэффициенты поглощения структурных групп, рассчитанных по результатам ИК-Фурье спектроскопии: D'_{720} – длинные метиленовые группы, D'_{1710} – карбонильные группы (таблица 1).

Таблица 1

Геохимический состав проб почв.

Глубина, см	$S_{НП}$, мг/кг	Групповой состав		УВ состав	Спектральные коэффициенты	
		УВ	Смолы+ Асф-ны	Me-Na	D'_{720}	D'_{1710}
10	20990	67,7	32,3	50,4	0,108	0,084
30	38810	67,6	32,3	–	–	–
50	33678	76,0	21,0	54,6	0,123	0,047
80	43477	75,7	24,3	–	0,124	0,050
100	42917	75,2	24,8	58,5	0,130	0,043

Как известно, наибольшую активность углеводородокисляющие микроорганизмы (УОМ) проявляют в верхнем почвенном слое (0-20 см). На глубине нефтяные углеводороды не доступны для действия

биопрепарата, поскольку входящие в его состав аэробные УОМ способны утилизировать нефть только в аэрируемом почвенном слое. Из-за недостатка кислорода воздуха и ультрафиолета их активность резко падает и процессы биodeградации практически не протекают, что подтверждается результатами проанализированных проб почв (таблица 1). Таким образом, можно предположить, что загрязнение исследуемого участка могло быть результатом вертикального распространения разлитой нефти по глубине почвенного профиля или засыпки поверхности участка незагрязненным грунтом. Анализ результатов семилетних наблюдений показал, что ежегодное увеличение концентрации нефти связано с тем, что нефть при сезонном оттаивании грунта начинает мигрировать из более глубоких горизонтов к поверхности, являясь при этом вторичным источником загрязнения, снижая эффект очистных мероприятий.

3. Выводы

Как показала оценка результатов положительный эффект применения биологического способа очистки почв не всегда очевиден. В данном случае эффективность способа отчетливо прослеживалась только в течение одного сезона. В последующие годы миграция нефти из нижележащих слоев почвы, где ее содержание было в 2 раза больше, чем на поверхности, снижала эффект результата выполненных работ.

4. Благодарности

Работа выполнена в рамках проекта АААА-А17-117040710036-4 «Научные основы разработки методологии экологического мониторинга и реабилитации нарушенных экосистем криолитозоны на объектах нефтегазодобывающих комплексов».

5. Литература:

- [1] Technology remediation of soils contaminated with oil and oil products. Reference book. Moscow: REFNA, NNA "Natural Resources", 2003. 238 pp. (in Russian).
- [2] Yu S Glyaznetsova, I N Zueva, O N Chalaya. Control of biological treatment of disturbed lands of cryolithozone at oil spills // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Volume 272, 2 (2019). Section one.

УДК 631.414.3

СОРБЦИОННЫЕ СВОЙСТВА МЕРЗЛОТНЫХ ПОЧВ ПО ОТНОШЕНИЮ К СВИНЦУ

Анна Гололобова, Айталига Габышева
ФГАОУ ВО Северо-Восточный федеральный университет им. М.К.
Аммосова, 677000, Россия, г.Якутск, ул. Белинского, 58

SORPTION PROPERTIES OF FROZEN SOILS IN RELATION TO LEAD

Anna Gololobova, Aytalina Gabysheva
M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, 58 Belinsky st., Yakutsk,
677000, Russia

Annotation. The sorption properties of frozen soils (Republic of Sakha (Yakutia)) with lead under static conditions were studied. The results of determining the parameters of the sorption of lead from aqueous solutions of lead nitrate by soil are presented in the work. Soil suspensions were used in the experiment, from which aliquots were selected to determine the residual concentration of lead ions by atomic absorption spectrometry. Based on the result, it claims that the frozen soils have high sorption ability in relation to lead.

1. Введение

В качестве предмета исследования выбран свинец, относящийся к I классу опасности и характеризующийся высокой токсичностью, мутагенным и канцерогенным эффектом. Загрязнение почв свинцом носит долговременный характер. Поэтому изучение поглотительных свойств почв по отношению к свинцу при различном уровне загрязнения является актуальной задачей в научном и практическом аспекте [1, 2].

Объектами исследования послужили мерзлотные почвы Якутии - мерзлотный палево-бурый оподзоленный и криозем гомогенный неоглеенный. Данные типы почв характеризуются небольшой мощностью, слабой дифференциацией почвенного профиля, мерзлотным водным режимом и наличием льдистой мерзлоты.

Параметры сорбции и механизмы поглощения свинца почвами европейской части России рассмотрены в работах Мотузовой Г.В.,

Ладонина Д.В., Пинского Д.Л., Минкиной Т.М., Шумилова М.А. и др. В литературных источниках данные об исследовании сорбции свинца мерзлотными почвами, сформированными на территории Республики Саха (Якутия) единичны (Макаров В.Н., Легостаева Я.Б., Гололобова А.Г.) [3, 4].

Учитывая опасность загрязнения почв тяжелыми металлами в результате интенсивного техногенного освоения территорий Якутии и слабую изученность данного вопроса, целью работы являлось определение сорбционной способности мерзлотных почв к химическому загрязнению на примере свинца.

Эксперимент сорбции ионов свинца почвой из водного раствора $Pb(NO_3)_2$ изучали в статических условиях при температуре 293 ± 1 К в соответствии со схемой рисунка 1.

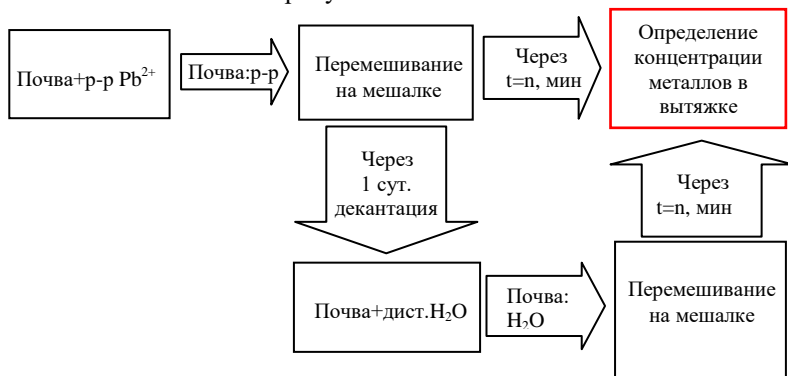


Рисунок 1. Схема эксперимента по изучению адсорбции и десорбции ионов металлов

Равновесную концентрацию свинца в растворе определяли атомно-абсорбционным методом на МГА-915 производства ГК ЛЮМЭКС.

Статистическую обработку данных выполнили в Microsoft Excel 2010, Statistica 6.0, OriginPro 8.5.1.

2. Основной раздел

Мерзлотный палево-бурый оподзоленный тип почвы обладает среднекислой и слабокислой реакцией среды (pH 4,4-5,9). Содержание гумуса имеет резко убывающий характер распределения по почвенному профилю с максимальной концентрацией в верхнем органогенном

горизонте. В гранулометрическом составе доминируют фракции размером 1,0-0,25 мм.

Криозем гомогенный неоглеенный характеризуется среднекислой и слабокислой реакцией среды (рН 4,7-5,9). По распределению содержания гумуса по почвенному профилю имеет бимодальный характер с двумя пиками в верхнем органогенном и нижнем минеральном горизонте. В гранулометрическом составе преобладают фракции размером 0,25-0,05 мм.

Результаты исследований эксперимента по сорбции свинца представлены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты исследования сорбции свинца мерзлотными почвами

№	№ точки	Глубина, см	Концентрация Pb в растворе, мг/кг	Степень сорбции, %
1	Мерзлотный палево-бурый оподзоленный	2(6)-8(11)	14,07	88,25
2		8(11)-26(35)	17,46	85,42
3		26(35)-44(48)	39,74	66,81
4		44(48)-57(63)	7,00	94,16
5		57(630-98)	6,89	94,25
6	Криозем гомогенный неоглеенный	0-4(9)	2,33	98,06
7		4(9)-23(41)	3,23	97,30
8		23(41)-52(67)	0,49	99,59
9		52(67)-92	0,57	99,53

Поглощение свинца существенно зависит от типа почв. В условиях эксперимента криозем гомогенный неоглеенный связывает больше свинца (от 97,3 до 99,6 %), чем мерзлотная палево-бурая оподзоленная почва (от 66,8 до 94,3 %). Максимальное поглощение свинца наблюдается в минеральной части почвенного профиля. Вероятно, относительно высокие показатели сорбции свинца обусловлены высоким содержанием органического вещества и мелкодисперсных фракций с размером <0,25 мм.

Анализ кинетики сорбции, на примере криозема гомогенного неоглеенного показывает, что процесс адсорбции свинца почвенным материалом идет быстрее, чем процесс десорбции. При адсорбции наблюдается насыщение ионами свинца почвенным материалом с первых минут (99 %). Наибольшая степень адсорбции наблюдается на

25-30 мин, а наибольшая степень десорбции - после первых 20 мин. Это можно объяснить тем, что ионы свинца довольно прочно связываются с почвенными компонентами. Однако если учесть высокую токсичность этих ионов, даже такая сравнительно небольшая подвижность может иметь серьезные экологические последствия.

3. Выводы

Экспериментальные исследования сорбционных свойств мерзлотных почв по отношению к свинцу позволили сделать следующие выводы:

1. Криозем гомогенный неоглеенный характеризуется относительно высокими параметрами сорбции свинца по сравнению с мерзлотной палево-бурой оподзоленной почвой;
2. Максимальное поглощение свинца происходит в минеральной части почвенного профиля мерзлотных почв;
3. Мерзлотные почвы в обычных условиях способны поглощать и депонировать практически полностью техногенные выбросы ионов свинца за небольшой временной интервал.

4. Литература:

- [1] Kabata-Pendias, A. Trace Elements in Soils and Plants. 4th Edition. Boca Raton, FL: CRC Press, 2011, 548 p.
- [2] Sosorova, S.B., Merkusheva, M.G. and Ayushina, T.A. Estimation of sorption capacity of the soils of Western and South-Western Transbaikalia toward lead // Land and Water resources: Environmental and Economic Monitoring of state and Management Models: Conference materials. Ulan-Ude, 2015, pp. 248-252.
- [3] Makarov, V.N. Lead in the Biosphere of Yakutia. Yakutsk: Publishing of the Institute of permafrost SD RAS, 2002, 113 p.
- [4] 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 / 17th international multidisciplinary scientific geoconference, SGEM 2017 Conference Proceedings, 2017, Vol. 17, Issue 32, 655-662 pp, DOI: 10.5593/sgem2017/32 /S13.085

УДК 628.1

ПРИРОДНЫЕ ЗАГРУЗОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОДЫ

Ньургуйаана Егорова¹, Александр Александров², Петр Пермяков^{1,3}

¹ ФГАОУ ВО Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, 677000, Россия, г. Якутск, ул. Белинского, 58

² ФИЦ «ЯНЦ СО РАН» ФГБУН Институт проблем нефти и газа СО РАН, 677980, Россия, г. Якутск, ул. Петровского, 2

³ ФИЦ «ЯНЦ СО РАН» Институт физико-технических проблем Севера, 677890, Россия, Якутск, Октябрьская, 1

NATURAL LOADING MATERIALS FOR WATER TREATMENT

Nurguana Egorova¹, Aleksander Aleksandrov², Petr Permyakov^{1,3}

¹ M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, 58 Belinsky st., Yakutsk, 677000, Russia

² Institute of Oil and Gas Problems Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 2 Petrovsky st., Yakutsk, 677980, Russia

³ V.P. Larionova Institute of physical and technical problems of the North Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 1 Otyabrky st., Yakutsk, 677980, Russia

Annotation. The article deals with loading materials for water purification in water supply. Brief characteristics of the physicochemical and mechanical properties of zeolite, quartz sand and shungite of local and other regions of Russia are given. It is shown that they meet regulatory requirements for use as a filter material in the preparation of drinking and domestic production water supply in wastewater treatment plants.

1. Введение

В последние годы, в связи с освоением Арктических районов, увеличилась потребность питьевой воды. 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, активированный уголь и т.д.

Целью данной работы является исследование характеристик местных загрузочных материалов для очистки воды в водоснабжении.

2. Фильтрующие материалы

Основные фильтрующие материалы, которые применяются на практике, можно разделить на природные и искусственные [1]. К природным фильтрующим материалам относятся кварцевый песок, цеолит, шунгит, горелые породы с загрузками керамзита и т.д. К искусственным зернистым материалам – керамзит, алгопорит, активированный уголь и т.д.

В таблице приведены характеристики основных зернистых фильтрующих материалов, применяемых на практике водоподготовки. Анализ данной таблицы позволяет сделать вывод, что фильтрующие материалы в зависимости от крупности зерна обладают различной и резко отличающейся друг от друга пористостью, плотностью, истираемостью, измельчаемостью и т.д.

В качестве исходных местных загрузочных материалов использованы кварцевый песок проявления Едейское и цеолит месторождения Хонгуруу (Якутия, Россия), а также шунгит (Карелия, Россия).

Кварцевый песок. Для станции водоподготовки хозяйственно-питьевого водоснабжения традиционным видом фильтрующего материала является кварцевый песок, который обладает соответствующими физико-механическими и эксплуатационными показателями (чистота, грязеемкость, задерживающая способность, высокая твердость, износостойкость и кислотостойкость дробленых частиц кварцевого песка).

Данные физико-механических и химических свойств кварцевого песка проявлений Едейское составляют: гранулометрический состав (фракция, 0,5-3,0 мм) – 40-45%; плотность – 2,6 г/см³; истираемость – 0,4-0,5 %; измельчаемость – 4,5 % и среднее содержание: SiO₂ – не менее 80,8 %; CaO+MgO – не более 0,5 % [2].

Таблица

Физико-механические свойства загрузочных природных материалов по требованиям [1]

Фильтрующий материал	Крупность зерен, мм	Насыпная объ. Масса, кг/м ³	Плотность, г/см ³	Пористость, %	Механическая прочность, %		Коэф. ф. Формы зерен
					Истираемость	Измельчаемость	
Кварцевый песок	0,6-1,8	-	2,6-2,65	40-42	0,5	4	1,17
Цеолит		1,9-1,2	1,7-2,1	5	0,27-0,46	3	
Шунгит			1,5-2,4	10			
Горелые породы	1,00	1250	2,4	60	0,46	3,12	2,1

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.

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 [3].

Усредненный химический состав цеолитов по двум типам сырья (%): SiO₂ – 66,43; TiO₂ – 0,18; Al₂O₃ – 12,03; Fe₂O₃ – 0,92; FeO – 0,26; MnO – 0,03; MgO – 1,47; CaO – 2,50; Na₂O – 1,75; K₂O – 1,35; P₂O₅ – 0,14; п.п.п. – 6,2.

Физико-механические характеристики цеолита месторождений Хонгуруу: плотность – 2,2 г/см³; истираемость – 0,27-0,49 %; измельчаемость – 2,1-3 %; пористость – 52-57 % [3].

Шунгит – это природный минерал с организованной определенным образом кристаллической решеткой, основой которой является углерод. Обладает бактерицидными, высокореакционными и другими свойствами, которые до конца не изучены [4].

Физико-механические и химические свойства шунгита из Карелии: размер зерен – 0,25 мм; объем пор – 0,039-0,135 см³/г; плотность -1180-2010 кг/м³; пористость -1,6-43,3 % и содержание углерода – 93-98 % [4].

3. Выводы

Результаты исследований местного кварцевого песка, природного цеолита (Якутия) и шунгита (Карелия) показывают, что они соответствуют основным физико-механическим, химическим и гигиеническим нормативным требованиям для применения в качестве фильтрующего материала при подготовке питьевого и хозяйственно-производственного водоснабжения в водоочистных сооружениях.

4. 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. Quartz sand as a potential filter material in drinking water treatment in Yakutia // Water Treatment. Water treatment. Water Supply, 2010, No. 9, pp. 52-56 (in Russian).
- [3] 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).
- [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, 66-68 pp (in Russian).

УДК 551.345:550.837.7

**ВЛИЯНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ
ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ МЕРЗЛЫХ
ТОЛЩ НА ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ
МЕТОДОВ**

Владимир Ефремов

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

**INFLUENCE OF THE PERMAFROST
GEOELECTRICAL STRUCTURE ON APPLICATION OF
GEOPHYSICAL METHODS**

Vladimir Efremov

Melnikov Permafrost Institute, Siberian Branch, Russian Academy of
Sciences, 36 Merzlotnaya st., Yakutsk, 677010, Russia

Annotation. One of the problems is connected with the effect of thin conductive layer, when clay deposits of low thickness are blocked by much thicker and wetter sands and sandy silts. The resistivity of sands and sandy silts rises 2-10 times as a result of the phase transition of significant quantity of moisture to ice. The effect of thin conductive layer results to oscillation of values and reduces the depth of sounding. Preliminary profiling to identify the zones free from the presence of this effect will considerably increase the accuracy and depth of sounding. Another problem is related to the phenomenon of electromagnetic emission in frozen ground which causes volumetric changes associated with phase transitions. The spectrum of frequencies of electromagnetic emission is in the range of 1-500 kHz and creates handicaps for VLF, RMT and other methods using the given frequencies. To avoid this problem, it is recommended that surveys are not conducted during the spring and autumn when the active layer thaws or freezes causing electromagnetic emission in frozen ground.

1. Введение

Настоящая работа основана на результатах радиоимпедансных зондирований мерзлых грунтов в Якутии [1], РМТ мониторинга в Якутске (РМТ-М) и нацелена на повышение точности и глубины РМТ зондирований. Используемые радиоимпедансные и РМТ зондирования проводятся симметричными незаземленными приемными линиями [1] с использованием искусственных и естественных (РМТ) электромагнитных полей, что существенно повышает их производительность и экономическую целесообразность.

2. Основные результаты и их обсуждение

Одной из особенностей геоэлектрического строения мерзлых толщ является наличие в рыхлых отложениях тонких проводящих слоев (ТПС). ТПС это, в основном, тонкодисперсные отложения и, отчасти, водоносные, талые и засоленные отложения. Слои, представленные такими отложениями, имеют низкое удельное электрическое сопротивление (УЭС) в пределах 10-100 Ом·м. Если они перекрыты мощными льдистыми средне- и крупнодисперсными отложениями, имеющими УЭС от 1000 до 100000 Ом·м, то создается эффект тонкого проводящего слоя. Эффект характеризуется переотражениями энергии поля от ТПС, ведущими к осцилляции значений. Наличие ТПС вызывает понижение кажущегося сопротивления и увеличение фазы поверхностного импеданса, что приводит к уменьшению толщины скин-слоя, и, тем самым, к уменьшению глубины зондирования.

По результатам численного моделирования и натурных зондирований, значения фазы импеданса, превышающие 50 градусов, соответствуют наличию ТПС и в диапазоне частот 10-1000 кГц и могут служить индикатором его присутствия. Для примера, в таблицы 1 показано, что повышение значений фазы импеданса, соответствует уменьшению глубины зондирования.

Таблица 1

Данные радиоимпедансных зондирований на ФАД «Виллой»

Фаза импеданса, град.	58	67	51	62	72	54	47	47	58
Глубина зондирования, м	32	27	63	43	23	31	53	64	29

С учетом этого обстоятельства предлагается РМТ зондирования проводить в выделенных зонах, на которых предварительным профилированием, на одной из принимаемых частот СДВ диапазоне радиоволн (10-30 кГц), по измерениям фазы импеданса установлено отсутствие ТПС.

Другая проблема связана с явлением электромагнитной эмиссии мерзлых грунтов, вызванной объемными изменениями, происходящими в них в результате фазовых переходов влаги, при их растеплении и промерзании. Последние имеют сезонный характер и сезонность электромагнитной эмиссии мерзлых грунтов прослеживается на кривых мониторинга кажущегося сопротивления вблизи Якутска (рисунок 1). Видим, что отскакивающие значения кажущегося сопротивления на частоте 22,3 кГц соответствуют периодам растепления мерзлых грунтов деятельного слоя (апрель, май) и их промерзания (октябрь, ноябрь).

Здесь электромагнитная эмиссия мерзлых грунтов наблюдалась, по данным РМТ-М, лишь на частотах 6-100 кГц, создавая помехи на 22,3 кГц. На более высоких частотах (171, 549 и 864 кГц) значения кажущегося сопротивления изменяются плавно, естественным образом. На 22,3 кГц помехи отсутствуют в июле-сентябре.

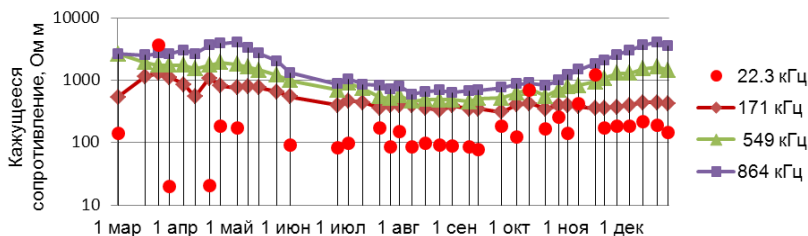


Рисунок 1. Сезонные изменения сопротивления на мерзлых песках.

3. Выводы

Проведение РМТ зондирований в свободных от наличия эффекта ТПС зонах, выделенных на участке предварительным профилированием на частоте СДВ диапазона, позволит значительно повысить точность и глубину зондирований.

Помехи от электромагнитной эмиссии, вызванной объемными изменениями при фазовых переходах влаги мерзлых грунтов, снижают точность измерений при РМТ зондированиях. Для их устранения

рекомендуется проводить измерения в отсутствие как интенсивного протаивания, так и промерзания грунтов.

4. Литература:

[1] Efremov, V.N. Radioimpedance sounding of frozen ground. Yakutsk, Russia: Melnikov Permafrost Institute SB RAS, 2013, 204 pp. (in Russian).

УДК 550.4

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ГЕОХИМИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПОЧВО-ГРУНТОВ ПОСЛЕ СНЯТИЯ ТЕХНОГЕННОЙ НАГРУЗКИ

Владимир Иванов, Татьяна Чжан

ФГАОУ ВО Северо-Восточный федеральный университет им. М.К.

Аммосова, 677000, Россия, г.Якутск, ул. Белинского, 58

INVESTIGATION OF CHANGES IN GEOCHEMICAL CONDITIONS OF SOIL-SOILS AFTER REMOVAL OF TECHNOGENIC LOAD

Vladimir Ivanov, Tatiana Chzhan

M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, 58 Belinsky st., Yakutsk, 677000, Russia

Annotation. Consideration of changes in geochemical conditions on the study site after removal of technogenic load are considered. A comparative assessment of the ecological-geochemical situation, determined by the correlation of natural and technogenic factors, is given.

1. Введение

Исследование характера засоленности мерзлых почво-грунтов является значимым. Это объясняется, во-первых, тем, что засоление – одно из главных генетических свойств и мелиоративных особенностей почв аридных и семиаридных областей. Во-вторых, засоленность – один из основных признаков неблагоприятного экологического состояния земель.

2. Основная часть

Исследуемая территория находится на левом берегу р. Лены в 3-х км к югу от Якутска, на 2-ой надпойменной левобережной террасе. В геологическом отношении территория до глубины 2 – 4 м представлена суглинками и супесями, глубже залегают мелкозернистые пески. На пониженных заболачиваемых участках отмечается заиленность и заторфованность грунтов с включениями растительных остатков. Растительность исследуемого района типична для среднетаёжной подзоны зоны тайги.

Питание вод слоя сезонного оттаивания исследуемой территории происходит за счет инфильтрации атмосферных осадков, поглощения поверхностных вод и процессов конденсации. По химическому составу воды ССО чаще всего гидрокарбонатные кальциево-магниевого с минерализацией 0,1-0,2 г/л.

На исследуемой территории в 1990-х годах находился летний загон крупного рогатого скота, являвшимся главным очагом загрязнения. Для получения наиболее полной информации о характере режима уровня и химического состава подземных вод, температуры и засоленности грунтов по площади полигона и в вертикальном разрезе пород Институтом мерзлотоведения в 1990-1992 годах была оборудована наблюдательная сеть из спаренных гидрогеологических и геотермических скважин. Для изучения миграции и накопления солей в надмерзлотных водах подошвенного талика было заложено два профиля скважин. Формирование наблюдательной сети проводилось параллельно с зондировочным бурением. Для сравнительного анализа температурного режима грунтов в нарушенных и ненарушенных условиях была заложена фоновая геотермическая скважина на восточной окраине рассматриваемого участка. Проведенные исследования определили зоны очень сильной, сильной и средней засоленности сульфатно-хлористого и хлористо-сульфатного типа.

В начале 2000-х годов загон был закрыт, и наблюдения за состоянием почво-грунтов не проводились. Скважины наблюдательной сети со временем пришли в негодность.

Для изучения изменения геохимических условий на изучаемом участке в летний период 2019 года вблизи скважин в верхнем слое почво-грунтов было отобрано 29 проб для определения удельной электрической проводимости, рН и содержания растворимых компонентов в пробах. Результаты анализов водной вытяжки показали, что тип засоленности не

изменился и остался сульфатно-хлористый и хлористо-сульфатный. Зоны очень сильной, сильной и средней засоленности не обнаружены, зона слабой засоленности значительно уменьшилась.

3. Выводы

Эколого-геохимическая обстановка существенно определяется соотношением природных и техногенных факторов. Во время действия источника загрязнения почво-грунты изучаемой территории были в значительной степени засолены. После снятия техногенной нагрузки за последние два десятка лет почво-грунты в большей степени восстановились.

4. Благодарности

Авторы выражают признательность Павловой Надежде Анатольевне зав. лабораторией подземных вод и геохимии криолитозоны института мерзотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН за оказанную помощь при проведении данного исследования и за консультацию написании настоящей статьи.

УДК 556.3:543(571.5)

ПОПУТНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИРОДНЫХ ВЫСОКОМИНЕРАЛИЗОВАННЫХ РАССОЛОВ ГЛУБОКИХ ГОРИЗОНТОВ ПРИ ОТРАБОТКЕ ПОДЗЕМНЫМ СПОСОБОМ КИМБЕРЛИТОВОЙ ТРУБКИ УДАЧНАЯ В КАЧЕСТВЕ ГИДРОМИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

Александр Ильин¹, Екатерина Синчук²

¹ Виллойская ГРЭ АК «АЛРОСА» (ПАО), г. Мирный

² Виллойская ГРЭ АК «АЛРОСА» (ПАО), г. Удачный

ASSOCIATED USE OF NATURAL HIGHLY MINERALIZED BRINES OF DEEP HORIZONS DURING UNDERGROUND MINING OF THE UDACHNAYA

KIMBERLITE PIPE AS A HYDROMINERAL RAW MATERIALS

Aleksandr Ilin¹, Ekaterina Sinchuk²

¹ Vilyuiskaya Geol-Prosp. Expedition, J-SC «ALROSA», Mirny,

² Vilyuiskaya Geol-Prosp. Expedition, J-SC «ALROSA», Udachny

Annotation. The paper presents the results of the study and analysis of natural brines entering the mine workings of the Udachny underground mine and having a regional area distribution. Brines have a calcium chloride composition with a total mineralization value from 102,9 to 372,6 g/dm³. The results of detailed studies of the microelement composition allowed us to evaluate brines as hydromineral raw materials.

Key words: ground brines, chemical composition, deep-seated horizons, Udachnaya kimberlite pipe, underground mine, hydromineral raw materials.

1. Введение

Отработка месторождения кимберлитовой трубки Удачная открытым способом прекращена в 2015 г., в настоящее время добыча алмазов продолжается подземным способом.

Как в карьере, так и в руднике отработка месторождения осложнена притоком природных ненарушенных хлоридных рассолов (среднекембрийский водоносный комплекс – далее СВК) в шахту на глубину свыше 700 м (-365...-465 м абс. отм.). На сегодняшний день водоприток в руднике «Удачный» варьирует от 314,8 м³/ч до 460,6 м³/ч, среднегодовое значение составляет 368,7 м³/ч. Минерализация дренажных рассолов изменяется от 263 г/дм³ до 310 г/дм³. За время проведения горных работ в карьере и руднике трубки Удачная (с 1983 по 2019 годы) общий объем откачанных рассолов составил более 40 млн. м³. Подземные рассолы – источник широкого спектра микроэлементов в уникальных концентрациях, имеющих как промышленное, так и бальнеологическое значение.

2. Геолого-гидрогеологические условия

Кимберлитовая трубка Удачная расположена на левом склоне ручья Пиропового – правого притока р. Далдын. Географические координаты

месторождения: 112°18'16" – 112°19'22" в.д., 66°26'16" – 66°26'32" с.ш. Трубка приурочена к узлу пересечения субширотной системы разломов с разломом северо-западного простирания. Она состоит из двух рудных тел: западного и восточного, разделенных массивом осадочных пород верхнего кембрия [1].

Согласно гидрогеологическому районированию, кимберлитовая трубка Удачная расположена в пределах Оленёкского криоартезианского бассейна в северо-восточной части Сибирской платформы. Вмещающие ее осадочные породы представлены преимущественно карбонатами – известняками песчанистыми и глинистыми, кавернозными доломитами, мергелями, встречаются и сульфатные породы. В геокриологическом отношении регион относится к области сплошного распространения многолетнемерзлых пород, с криолитозоной уникальной мощности (более 1000 м) и низкой отрицательной температурой пород (до -7,8 °С на подошве слоя годовых теплооборотов). Гидрогеологический разрез Оленёкского бассейна формируют подземные воды верхне- (ВВК), средне-, нижнекембрийского и протерозойского водоносных комплексов, обводненные зоны кимберлитовых трубок и трапповых формаций, межмерзлотные и подмерзлотные криопэги хлоридного кальциевого состава [2].

3. Результаты химического анализа рассолов рудника «Удачный»

Для безопасной отработки месторождения подземным способом рассолы, дренируемые рудником, собираются в зумпфы, после чего водоводом доставляются на участки закачки. Отвод рассолов осуществляется в толщу многолетнемерзлых пород в зоне тектонических нарушений, формируя при этом техногенный талик, за динамикой которого ведутся режимные наблюдения с начала эксплуатации участка. По сети наблюдательных и эксплуатационных скважин ведется мониторинг температурного, гидрохимического и гидродинамического режимов подземных вод.

За время работ на руднике неоднократно были выявлены повышенные содержания в подземных водах редких химических элементов.

В связи с чем в марте-апреле 2019 года были отобраны 5 проб и переданы в Институт нефтегазовой геологии и геофизики имени А.А. Трофимука СО РАН (ИНГТ СО РАН) для выполнения полного химического анализа. Места отбора проб следующие: 1 проба (СВК) с глубины 800 м непосредственно в руднике «Удачный», 2 пробы с глубин

200 и 250 м (интервал распространения техногенного талика) с наблюдательной скважины № 211л и 2 пробы с глубин 230 и 280 м (ВВК) с наблюдательной скважины № 216л. Скважины относятся к режимной сети участка закачки «Левобережный», который введен в эксплуатацию с 2014 года. Пробы по наблюдательным скважинам необходимы для анализа и оценки поведения рассолов при контакте с толщей многолетнемерзлых пород и длительном накоплении на участке закачки. По результатам химического анализа в рассолах рудника «Удачный» изучено распределение 74 химических элементов, многие из которых содержатся в незначительных концентрациях. Средняя минерализация изученных проб составляет 202,43 г/дм³, по составу рассолы относятся к хлоридным натриево-кальциевым. Полученные результаты аналитических исследований позволили выделить элементы содержания которых превышают принятые кондиции для промышленного извлечения (Таблица 1) [3].

Таблица 1

Содержание химических элементов в рассолах рудника «Удачный»¹

Компоненты		Промышленные концентрации, мг/дм ³	Содержание в рассоле, мг/дм ³				
Название элемента	Символ элемента		ПР «Удачный», гор. - 465 м абс.отм.	№ 216л гл. 230 м	№ 216л гл. 280 м	№ 211л гл. 200 м	№ 211л гл. 250 м
Бор	B	50,0	192,03	22,66	23,35	19,12	65,47
Бром	Br	200,0	5572,0	2078,0	2010,0	1297,0	2927,0
Калий	K	1000,0	12670,2	3018,2	3419,7	2180,1	5401,2
Кальций	Ca	18000,0	84100,0	25590,0	25000,0	20100,0	40120,0
Литий	Li	10,0	158,85	45,63	50,35	38,49	79,08
Магний	Mg	2067,0	12900,0	13150,0	14600,0	3497,8	6750,0
Марганец	Mn	7,0	4,39	8,57	13,52	1,30	2,01
Рубидий	Rb	3,0	11,81	1,71	2,11	1,41	4,04
Селен	Se	3,4	9,50	3,83	4,03	2,25	4,43
Стронций	Sr	300,0	1058,70	436,00	518,47	314,93	545,52

Из таблицы видно, что концентрации большинства микроэлементов в дренажном рассоле рудника с гор. -465 м (абс. отм.) в разы больше, чем в пробах наблюдательных скважин (за исключением *Mn*). Это

¹ По материалам ИНГГ СО РАН.

обусловлено разубоживанием концентраций микроэлементов в закачиваемых рассолах включениями льда толщи многолетнемерзлых пород, а также линзами криопэггов с меньшей минерализацией. Среди изученных химических микроэлементов наиболее высокие перспективы для целей промышленного извлечения из рассолов следует связывать с бромом (содержание в рассоле больше установленных кондиций в 27,9 раза), литием (выше в 15,9 раза) и калием (выше в 12,7 раза). Из более редких элементов для добычи из подземных рассолов следует отметить *Rb*, *Se* и *Sr*, содержания которых превышают промышленные кондиции в три раза. С учетом среднегодового дебита дренажных рассолов рудника «Удачный» 368,7 м³/ч объем дренируемых вод составляет 2 849 тыс. м³ в год. В течение года из рассолов можно извлечь (тонн): *Ca* – 271 627, *Mg* – 41 665, *K* – 40 922, *Br* – 17 996, *Sr* – 3 419, *B* – 620, *Li* – 513, *Rb* – 38,2, *Se* – 30,7. При этом можно использовать методику селективного извлечения микроэлементов для промышленной добычи, что увеличит рентабельность проекта.

4. Выводы

Таким образом эксплуатационные запасы подземных природных рассолов, попутно извлекаемых при отработке подземным способом кимберлитовой трубки Удачна» являются надежной сырьевой базой для организации попутной добычи и комплексной переработки ряда щелочных, земельно-щелочных металлов и гидроминерального сырья, промышленного производства бора, брома, калия, кальция, лития, магния, рубидия, селена и стронция. При этом попутное извлечение компонентов не потребует экономических затрат на подъем рассола на поверхность, так как это входит в стоимость подземной разработки месторождения. Для оценки экономического эффекта от попутного извлечения и дальнейшей переработки подземных рассолов необходимо продолжить настоящие исследования с учетом имеющегося мирового опыта подобных работ.

5. Литература:

[1] Aleexeev S.V., Alexeeva L.P., Trifonov N.S., Il'in A.V. Deep-seated brines of the kimberlite pipe Udachnaya // The groundwater of Eastern Russia. Novosibirsk, 2018, pp. 47-52.

[2] Aleexeev S.V., Vahromeev A.G., Kocupalo N.P., Ryabcev A.D. Industrial brines of the Siberian platform. Irkutsk: Geographer, 2014, 162 pp.

[3] Kosachuk G.P., Burakova S.V., Budrevich N.A., Melnikova E.V., Butochkina S.I. The content of useful components in the brines of the Nepco-Botuobinskoye deposits and their industrial significance// Vesti Gazovoy nauki. Moscow, 2011, pp. 151-157.

УДК 551.89

**ПЕРИГЛЯЦИАЛЬНЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ АБАЛАХСКОЙ
ПОВЕРХНОСТИ: КРИОЛИТОЛОГИЧЕСКОЕ
СТРОЕНИЕ И ОБСТАНОВКА ФОРМИРОВАНИЯ**

Анна Куть, Валентин Спектор

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

**PERIGLACIAL SEDIMENTS OF ABALAKH PALTE:
CRYOLITHOLOGICAL PROFILE AND
SEDIMENTATION ENVIRONMENT**

Anna Kut, Valentin Spector

Melnikov Permafrost Institute, Siberian Branch, Russian Academy of
Sciences, 36 Merzlotnaya st., Yakutsk, 677010, Russia

Annotation. The paper deals with periglacial deposits of the Abalakh erosion-accumulative terrace (Central Yakutia). A cryolithological description of a 94.5-meter section of the well is provided. Various textural features on the surface of quartz grains indicate the formation of deposits in a water environment, the conditions of which varied from a dynamic water flow to a stagnant reservoir. The source is processed loose sediments of short-range transport that have undergone water treatment. The question here is the situation of the transfer of particles taken from the upper part of the section, from the deposits of the ice complex. Processes of cryogenic weathering, Aeolian transport and accumulation in the conditions of the reservoir took part in the formation of the pack of deposits of the ice complex.

1. Введение

Абалахская эрозионно-аккумулятивная поверхность занимает центральную наиболее высокую часть Лено-Амгинской равнины. Накопление отложений и формирование поверхности произошло в условиях медленного тектонического опускания территории с некоторыми кратковременными поднятиями в каргинское время в результате дегляциации [1, 2]. Генезис отложений, слагающих абалахскую террасу, приводится в работах Соловьева П.А. [3], Катасонова Е.М. и Иванова М.С. [4], Иванова М.С. [1].

Один из методов фациального анализа, используемый для реконструкции обстановки осадконакопления, является метод микроморфологического анализа поверхности кварцевых зерен. Этот метод позволяет уточнить как происходил перенос отложений и в какой обстановке протекали процессы накопления на последнем этапе седиментации. К сожалению, в литературе не было найдено данных о проведении подобных исследований для отложений Лено-Амгинского междуречья в целом. Таким образом, цель исследований, представленных в настоящей работе – анализ обстановки осадконакопления отложений, слагающих разрез абалахской террасы для сопоставления текстурных элементов поверхности кварцевых зерен и соответствующим им условиям среды транспортировки и аккумуляции осадка.

2. Результаты

В составе рассматриваемых отложений по разрезу были выделены зерна различной степени окатанности и матовости поверхности [5]. Распределение зерен достаточно равномерное. Зерна класса *EM/EI* в нижней части значительно преобладают. Для среднезернистых песков в интервалах 91,18-91,65 и 79,66-80,1 м их содержание достигает 94 и 88% соответственно. Также 52% частиц этого класса было установлено в чередующихся алевритах, песках мелко- и тонкозернистых в интервале глубин 70,37-70,75 м. Выше по разрезу их содержание значительно сокращается (до 4-12%) и возрастает количество зерен класса *O* до 64% на глубине 20 м. В нижней части разреза зерна класса *NU* отсутствуют. Выше по разрезу их содержание составляет 24-28%. Что касается

разрушенных зерен (*C*) их присутствие характерно также для верхней части разреза и изменяется на разных глубинах от 4 до 20%.

Для отложений был установлен широкий набор диагностических элементов. Здесь были отмечены раковистые сколы, поверхность истирания, блоки расклинивания, аркообразные ступени, серпообразные трещины и V-образные микроуглубления. Раковистые сколы различного размера были отмечены как на хорошо окатанных зернах (*EM/EL*), так и на поверхности угловатых и разрушенных зерен. В целом, по разрезу содержание частиц с раковистыми сколами изменяется в следующих пределах: встречаются на 66,7-42,9% (*NU*), 7,7-42,9% (*O*) и 30,8-52,9% зерен (*EM/EL*). Распространенность аркообразных ступеней по разрезу весьма неравномерно. Для зерен класса *EM/EL*, преимущественно в основании разреза, достигает 70,6%. 16,7-71,4% и 66,6% на поверхности зерен класса *NU* и *C* соответственно. Для зерен *in situ* (*O*) проявление незначительно – 6,3-7,1%. Блоки расклинивания были отмечены на более чем половине изученных зерен преимущественно в основании разреза 23,1-55,6% для зерен класса *EM/EL*. Этот же элемент был отмечен на поверхности зерен класса *NU* и *C* – 14,3 и 33,3% соответственно. Ступенчатость развита менее чем на 50% зерен различных классов: 14,3-42,9% (*NU*), 6,3-15,4% (*O*), 20-33,3% (*C*) и 23,1-47,1% (*EM/EL*). Значительное распространение имеют серпообразные углубления. Они были отмечены на более чем 60% зерен всех классов. На 100% изученных зерен развиты V-образные углубления и поверхность истирания. Здесь также важно отметить, что вторичные диагностические элементы, описанные выше, дублируют элементы, сохранившиеся от предыдущей обстановки осадконакопления.

3. Выводы

Изложенные выше данные позволяют сделать следующие выводы:

1. Полученные результаты позволяют утверждать аллювиальный генезис песчаной пачки в нижней части разреза и озерно-аллювиальный генезис алевритов и суглинков в верхней части разреза. Полученные результаты в целом вписываются в схему развития рельефа Лено-Алданского междуречья.
2. Рассматриваемый разрез представляет собой толщу, переработанными в водной обстановке осадками, динамика которой

менялась от руслового потока до застойного водоема с последующим накоплением выше по разрезу. Источником стали рыхлые осадки ближнего переноса, прошедшие водную обработку.

3. На этапе формирования пачки аллювиальных песков в основании разреза был отмечен значительный привнос частиц со следами эоловой обработки. Это может указывать на большую роль эоловых процессов в формировании рельефа Центральной Якутии и имели место быть в период формирования тобольского горизонта в среднем плейстоцене.

4. Появление частиц группы С (до 30% поверхности покрыто свежими сколами и поверхностями раскола) может указывать на развивающиеся в отложениях озерного комплекса, накопление которого относится к позднему плейстоцену (зырянский горизонт), и среднеплейстоценовых отложениях озерно-аллювиального комплекса (самарско-тазовоского горизонта) постседиментационные процессы криогенного выветривания. Этот момент детально будет изучен в последующих публикациях.

4. Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и ГФЕН Китая в рамках научного проекта № 18-55-53054

5. Литература:

- [1] Ivanov M.S. Cryogenic structure of quaternary sediments in Lena-Aldan depression. Novosibirsk: Nauka, 1984, 127 pp (in Russian).
- [2] Spektor V.V. Genesis of cryolithogenic complex within Lena-Amga interfluvial plain. Dissertation for the degree of geography. Yakutsk. MPI, 2003 (in Russian).
- [3] Soloviev P.A. Quaternary sediments of the Northern part of the Lena-Amga interfluvial plain. In the book: Materials of USSR quaternary period symposium. V. III, USSR, 1961, pp. 186-194 (in Russian).
- [4] Katasonov E.M., Ivanov M.S., Cryolithology of the Central Yakutia. Guidebook for Lena and Aldan rivers. Yakutsk, 1973/ 37 p (in Russian).
- [5] Cailleux, A., 1942. Les actions éoliennes périglaciaires en Europe. Mémoires de la Société géologique de France, 41 pp.

УДК 504.53

МИГРАЦИЯ СОЛЕЙ В ПРОФИЛЕ ПОЧВ И ТЕХНОЗЕМОВ В ЗОНЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ОБЪЕКТОВ АЛМАЗОДОБЫЧИ В ЯКУТИИ

Яна Легостаева, Олеся Шадринова

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

MIGRATION OF SALTS IN THE SOIL PROFILE AND TECHNOZEMS IN THE ZONE OF IMPACT OF DIAMOND MINING OBJECTS

Yana Legostaeva, Olesya Shadrinova

Diamond and Precious Metals Geology Institute, Siberian Branch, Russian
Academy of Sciences, 39 Lenina ave., Yakutsk, 677000, Russia

Annotation. Migration and accumulation of salts in the soil profile in natural, man-made soils and technozems are considered in the article.

1. Введение

Горное производство технологически взаимосвязано с процессами воздействия человека на окружающую среду с целью обеспечения сырьевыми и энергетическими ресурсами различных сфер хозяйственной деятельности [1]. Добыча полезных ископаемых неизбежно предполагает отторжение значительных площадей природных ландшафтов, в основном под хвостохранилища, отвалы пустых пород, участки разработки россыпных месторождений, линейные сооружения и т.д. Оказывается мощное воздействие на водные экосистемы и недра [2]. Все это в комплексе влечет за собой формирование новых негативных факторов, оказывающих значительное влияние на экосистему.

Миграция и аккумуляция легкорастворимых солей в почвенном профиле являются источником формирования в них солевых горизонтов, вызывающих засоление. Основной целью исследований является выявление закономерностей внутрипрофильного распределения

основных катионов и анионов в зональных типах почв Западной Якутии и технозомах.

2. Результаты и обсуждения

Исследования проводились на территории Айхальского ГОКа АК «АЛРОСА», расположенного на территории Западной Якутии в зоне сплошного распространения многолетнемерзлых пород в суровых климатических условиях.

Определение состава солей в почвенных образцах проводилось по анализу водной вытяжки. Расчет токсичных солей выполнен по общепринятым в почвоведении методикам [3].

Почвенный покров территории Западной Якутии характеризуется пестротой и микрокомплексностью. Смена основных типов почв подчиняется характеру широтного распространения, рельефу и геологическим условиям района. Зональные типы почв территории исследования – криоземы – мелкопрофильные (в среднем, 0,4 м), сильно щебнистые, тиксотропные, тяжелого грансостава.

В современном ландшафтном срезе на территории исследований по условиям водной миграции микроэлементов окислительная среда преимущественно кислая переходная к кальциевому классу (H^+ - Ca^{2+}) и кислая глеевая (H^+ - Fe^{2+}), или, но значительно реже – карбонатная глеевая (Ca^{2+} - Fe^{2+}). Главными типоморфными индикаторами выступают H^+ , HCO_3^- и органические кислоты при достаточно активном участии катионов кальция и железа [4].

Почвы природных ландшафтов представлены криоземами и карболитоземами, В водорастворимом комплексе первые позиции занимают SO_4^{2-} и ионы Na^+ и K^+ . Реакция среды от нейтральной до щелочной. Криозем типичный характеризуется слабокислой рН в верхней органогенной части и нейтральной или слабощелочной в нижней минеральной части почвенного профиля. Распределение основных ионов полностью подчиняется закономерности распределения значений рН. Криозем перегнойный отличается слабокислой рН, относительно высоким содержанием органики до 4,5% практически равномерно распределенной по почвенному профилю. Отмечается незначительное накопление в верхней органогенной части почвенного профиля Ca^{2+} и Mg^{2+} . Литозем грубогумусированный типичный формируется на каменистых развалах нижнетриасовых туфопесчаников и

туфоалевролитов. Мелкопрофильная, сильнощебнистая почва с достаточно ровным внутрипрофильным распределением основных ионов. Карбо-литоземы характеризуются относительно высоким содержанием органики. Почвы вскипают в минеральной части профиля, в водорастворимом комплексе доминируют SO_4^{2-} , Na^+ и K^+ . В целом, почвы природных ландшафтов характеризуются накоплением легкорастворимых солей, преимущественно сульфатов, в верхней части профиля.

Антропогенно-измененные почвы – это почвы, где полностью сохранен природный облик почв и не нарушены основные морфологические признаки почвенного профиля. Например, «захоронение» почв под техногенными насыпями, отвалами, «консервация» под слоем разлившейся пульпы, сохранение оазисов естественной растительности между техногенными комплексами и т.д. В таких почвах образуется горизонт X, как правило, состоящий из влажной, плотной серо-сизой глины. В водорастворимом комплексе отмечена высокая концентрация практически всех основных ионов с резким понижением их содержания вниз по самому почвенному профилю. В иных образцах выявляется некоторая аккумуляция SO_4^{2-} , Ca^{2+} и $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ в органогенном горизонте на глубине 13-20 см, что согласуется с распределением почвенной органики по профилю. Отличительной чертой таких почв является появление не характерной для природных почв района исследования высокой концентрации Cl^- в верхней части профиля. В почвах, подверженных антропогенному воздействию зафиксирован сульфатный, хлоридно-сульфатный и хлоридный тип засоления. По степени засоленности отмечаются очаги сильного и очень сильного засоления. На основе факторного анализа общей выборки и группировки образцов почв и грунтов по степени воздействия можно предположить, что доминирование хлоридов в водорастворимом комплексе является результатом антропогенного воздействия.

Техногенно-поверхностные образования представлены грунтами отвалов пустых пород и хвостохранилищ. В водорастворимом комплексе литостратов после сульфатов преобладает кальций. Что, возможно, и объясняет активные процессы самозарастания, отмеченные на них. Подобно почвам естественных ландшафтов литостраты не засолены, либо слабо засолены и имеют преимущественно сульфатный и местами хлоридно-сульфатный тип засоления. Реакция среды нейтральная. В

грунтах отвалов и хвостохранилищ отмечаются сульфатный и хлоридно-сульфатный тип и от слабой до сильной степени засоления. Реакция среды щелочная и сильнощелочная равномерно по всему профилю. В водорастворимом комплексе доминируют сульфаты, ионы калия и натрия.

3. Выводы

Маркером техногенного воздействия на почвенный покров исследуемой территории является активное развитие процессов засоления почв, подвергшихся прямому воздействию. Характерной чертой развития засоления почв территории является формирование засоленного профиля в разной степени интенсивности проявления процесса. Первичное засоление носит слабо выраженный сульфатный или сульфатно-хлоридный характер с формированием поверхностного засоленного горизонта. При миграции солей вниз по почвенному профилю, формируется надмерзлотный солевой горизонт, который в последующем может быть причиной вторичного засоления почвенного профиля (например, в особо засушливые сезоны). В природном состоянии ряд расположения ионов в почвах с отсутствием процессов засоления представляет собой: $\text{SO}_4^{2-} > \text{K}^+ + \text{Na}^+ > \text{HCO}_3^- > \text{Ca}^{2+} > \text{Cl}^- > \text{Mg}^{2+}$. В водорастворимом комплексе сильно засоленных почв и грунтов на первую позицию выходят K^+ , Na^+ и Cl^- .

4. Литература:

- [1] Stepanov Yu.A., Chasovnikova S.N., Korchagina T.V. Otsenka ekologicheskoi situatsii v Kemerovskoi oblasti pri vozdeistvii tekhnogennykh massivov // Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta, 2004. Vol. 2 (66), pp. 50-54.
- [2] Pozdnyakov A.I., Volpert Y.L. Analysis of diamond-mining industry impact on the environment in the North-West Yakutia // Problemy regionalnoy ekologii, 2008, vol. 2, pp. 24-28 (in Russian).
- [3] Pankova N.I., Bazilevich E.I. Opyt klassifikatsii pochv po zasoleniyu // Pochvovedenie, vol.11, pp. 3-16.
- [4] Legostaeva Y.B. Ecological importance of microelement soil composition of Daldynskiy kimberlitic Field // Problemy regional'noj ekologii, 2008, vol. 2, pp. 15-20 (in Russian).

УДК 574:631.4

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ СИТУАЦИЯ В РАЙОНЕ АЙХАЛЬСКОГО ГОКА

Яна Легостаева¹, Инга Козлова², Владимир Попов³, Даниил Ноев³

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

² 634050, г. Томск, ул. Ленина, 36, Национальный исследовательский
Томский государственный университет, Россия

³ ФГАОУ ВО Северо-Восточный федеральный университет им. М.К.
Аммосова, 677000, Россия, г. Якутск, ул. Белинского, 58

GEOECOLOGICAL SITUATION IN THE TERRITORY OF AYKHAL MINING

Yana Legostaeva¹, Inga Kozlova², Vladimir Popov³, Daniil Noev³

¹ Diamond and Precious Metals Geology Institute, Siberian Branch, Russian
Academy of Sciences, 39 Lenina ave., Yakutsk, 677000, Russia

² National Research Tomsk State University, 36 Lenina st., Tomsk, 634050,
Russia

³ M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, 58 Belinsky st., Yakutsk,
677000, Russia

Annotation. The work presents the geoeological situation in the area of the Aikhal GOK, due to the physical-geographical and mining-geological conditions, industrial infrastructure and diamond mining.

1. Введение

В пределах Алакит-Мархинского кимберлитового поля Далдыно-Алакитского алмазоносного района Айхальским горно-обогатительным комбинатом (ГОК) добывается порядка 30 % алмазов компании АЛРОСА в карьерах «Юбилейный» и «Комсомольский», руднике «Айхал». Добыча началась с месторождения Айхал в 1961 г., также рядом был основан поселок Айхал, население которого в настоящее время составляет порядка 15 тыс. человек, а ближайшим от него городом является г. Удачный расположенный в 60 км севернее.

2. Основной раздел

В региональном тектоническом плане территория находится в области сочленения северо-восточного борта Тунгусской синеклизы с юго-западным крылом Анабарской антеклизы двух крупных структур Сибирской платформы, осложнённой системой Далдыно-Оленекской зоны разломов, кимберлитовым и трапповым магматизмом [1]. В геологическом строении архейский кристаллический фундамент покрыт осадочным чехлом мощностью до 3 км. Он выполнен венд-нижнепалеозойскими терригенно-карбонатными и верхнепалеозойскими-нижнемезозойскими терригенными породами, представленными в основном известняками и доломитами и их глинистыми, мергелистыми разностями. Четвертичные отложения представлены элювиально-делювиальными, делювиальными и аллювиальными образованиями. Техногенные отложения представлены грунтами отвалов вскрыши и пустых пород, а также хвостохранилищ оборотного водоснабжения обогатительных фабрик.

Территория расположена в пределах восточной части Вилуйского плато Среднесибирского плоскогорья. Абсолютные отметки водоразделов изменяются от 655 до 755 м. Рельеф траппового плато холмистопологоувалистый с абс. отм. 400-500м и относительными превышениями над ближайшими водотоками 100-250 м.

Речная сеть района имеет радиальный центробежный рисунок. Она представлена в основном верховьями реки Марха с ее левыми притоками Сохсоолох, Чукука, Ойуур-Юрэгэ (абс.отм. устья 351 м), рекой Алакит (приток р. Оленек) с ее правыми притоками руч. Сохсоолох, р. Сытыкан, р. Моркока с левым притоком руч. Тегюрюк. Реки маловодны, в зимний период обычно перемерзают. По характеру режима реки относятся к восточно-сибирскому типу. Воды гидрокарбонатные с минерализацией до 0,5 г/л. Распространены также озёра суффозионно-эрозионного и термокарстового генезиса глубиной 2 - 3 м.

В климатическом отношении территория, расположенная в 70 км южнее от северного полярного круга, относится к субарктическому поясу сибирской области. Климат резко континентальный с суровой продолжительной зимой и коротким летом, среднегодовая температура - 11 °С. Среднеголетняя норма осадков составляет 475 мм. Снежный покров образуется в начале октября и сходит в мае, его мощность в естественных понижениях рельефа достигает 2-3 м, а на водоразделах до 1 м.

Слой сезонного протаивания изменяется от 0,2 до 3 м. На территории

отмечены следующие проявления криогенных процессов и явлений: солифлюкция, термокарст, морозное пучение, морозное трещинообразование, термоэрозия и морозное выветривание. Мощность криолитозоны составляет 720 м. По характеру взаимоотношения мёрзлых и подземных вод выделяются надмерзлотные, межмерзлотные и подмерзлотные воды. Район расположен в северной части Верхневиллойского криоартезианского бассейна, относящейся к системе Тунгусского артезианского бассейна [2]. В толще осадочного чехла выделяют нижнеордовикский межмерзлотный, верхнекембрийский подмерзлотный (ВВК), среднекембрийский (СВК) и нижнекембрийский водоносные комплексы. Мощность многолетнемерзлых пород составляет 340 - 450 м, и они являются кровлей верхнекембрийского водоносного комплекса. Подземные воды ВВК представляют собой рассолы хлоридно-кальциево-магниевого и хлоридно-натриево-магниевого состава с минерализацией до 350 г/л. В микрокомпонентном составе рассолов высокое содержание стронция, лития, бора. Водовмещающие породы имеют низкие фильтрационные параметры, водопроницаемость изменяется от 0,01 до 0,35 м²/сут. СВК вскрыт на глубине 1100 м и имеет мощность 800 м, представлен хлоридными рассолами с минерализацией до 403 г/л. Ландшафты данной территории относятся к Верхневиллойской столово-останцевой провинции северотаёжных редкостойных кустарничково-мохово-лишайниковых листовничников в зоне сплошного распространения многолетнемерзлых пород [3]. Среди зональных типов местности распространены: приводораздельный элювиальный, склоновый делювиально-солифлюкционный, мелкодолинный типы. В почвенном покрове доминируют разные подтипы криоземов (O-CR-Cg), литоземы (AO-C), карболитоземы (H-(C) - M_{Ca}) и глееземы (AO-GC) [4].

Промышленная инфраструктура района определяется производственно-хозяйственной деятельностью Айхальского ГОКа, работающего круглогодично. Несомненно, что освоение алмазных месторождений связано с существенным техногенным воздействием на природную среду, загрязнением и трансформацией северо-таёжных ландшафтов в техногенные в зоне прямого воздействия промышленных объектов: карьеров, отвалов вскрышных пород, обогатительных фабрик, хвостохранилищ, полигонов закачки дренажных рассолов, подземных хранилищ. При геологических поисковых работах применяются буровые, геофизические, горные работы, прорубается сеть просек. В ходе жизнедеятельности в эксплуатацию вводятся инженерно-

технические коммуникации водо- и теплоснабжения, ЛЭП, расширяются поселки, сеть автодорог. Все работы проводятся с учётом природных условий, прежде всего, горно-геологических, в том числе, геокриологические, инженерно-геологические и гидрогеологические и физико-географические, среди которых наиболее важны климатические, геоморфологические и гидрологические условия. Эколого-геохимическая ситуация характеризуется как умеренно и высоко опасная по суммарному показателю загрязнения почв, что связано как с природной геохимической аномалией, так и техногенной аномалией развития процессов поверхностного засоления почв.

Изменения химического состава почв и вод, в свою очередь, находят свое отражение в биогеохимических параметрах экосистем района в целом, увеличивая концентрацию химических элементов, прежде всего, в растениях-эдификаторах

3. Выводы

Таким образом, поиск и анализ сопряжения физико-географических условий с различными аспектами освоения алмазных ресурсов даёт возможность совершенствования организации высокотехнологичного производства по добыче и переработке алмазонасного сырья и охраны окружающей среды в условиях Севера. В свою очередь, их недооценка может привести к обострению территориальных, производственных и социальных проблем самого различного характера, что становится особенно актуальным при разработке коренных месторождений ниже подошвы многолетнемерзлых пород.

4. Литература:

- [1] Ivanov D.V., Tolstov A.V., Ivanov V.V. Strukturno-tektonicheskie kriterii poiskov kimberlitovyh tel v Alakit-Marhinskom pole // Rudy i metally. – 2019. – №2. – S.55-60.
- [2] Drozdov A.V., Iost N.A., Lobanov V.V. Kriogidrogeologiya almaznyh mestorozhdenij Zapadnoj Yakutii. – Irkutsk: Izd-vo IGTU. – 2008. – 507 s.
- [3] Danilov Yu.G. Landshafty Yakutii: monografiya / Yu.G. Danilov. – Yakutsk: Izdatel'skij dom SFVU, 2016. – 76 s.
- [4] Legostaeva Ya.B., Ksenofontova M.I., Popov V.F. Geoekologicheskij monitoring na territorii podzemnyh poligonov utilizacii vysokomineralizovannyh vod v Zapadnoj Yakutii // Ekologiya i promyshlennost' Rossii. – 2019. – Tom 23. – № 4. – S.58-63.

УДК 539.3:624.04

**СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПОЧВ И ДОННЫХ
ОСАДКОВ АРКТИЧЕСКОГО РЕГИОНА
(НИЖНЕКОЛЫМСКИЙ РАЙОН РС(Я)) ПО
УГЛЕВОДОРОДНЫМ КОМПОНЕНТАМ**

Сара Лифшиц, Юлия Глязнецова, Ольга Чалая, Ираида Зуева,
Ньюргустаана Попова

ФИЦ «ЯНЦ СО РАН» ФГБУН Институт проблем нефти и газа СО РАН,
677980, Россия, г. Якутск, ул. Петровского, 2

**CURRENT STATE OF SOILS AND BOTTOM
SEDIMENTS IN THE ARCTIC REGION
(NIZHNYKOLYMSKY DISTRICT
OF THE REPUBLIC OF SAKHA (YAKUTIA))
ON HYDROCARBON COMPONENTS**

Sara Lifshits, Julia Glyaznetsova, Olga Chalaya, Iraida Zueva, Nyurgustaana
Popova

Institute of Oil and Gas Problems Siberian Branch of the Russian Academy of
Sciences, 2 Petrovsky st., Yakutsk, 677980, Russia

Annotation. Initial studies in the Nizhnekolymsky district of the Republic of Sakha (Yakutia) showed that soils and bottom sediments in territories experiencing high technogenic load (oil depots) were mainly contaminated with oil. It has been established that in the conditions of the Arctic zone, oil components retain the ability to migrate, as a result of which the area of oil pollution expands, capturing new previously unpolluted territories. It is shown that a small amount of hydrocarbon pollutants is sufficient for the soils of the Arctic region so that the surrounding natural background begins to acquire a technogenic character. Therefore, information on the natural geochemical background of soils and bottom sediments is required now, before intensive technogenic intervention occurs, in order to develop effective ways to restore the Arctic zone from oil pollution and assess the quality of treatment activities.

1. Введение

В настоящее время особенно возрос интерес к Арктическому региону, как потенциальному источнику углеводородного сырья. Известно, что добыча, транспортировка, переработка нефти неизбежно связаны с различного рода разливами, утечками, авариями, вследствие чего теряется 2–3% мировой добычи нефти. Можно предположить, что в условиях Арктики величина потерь будет еще выше, т.к. в условиях экстремально низких температур вероятность возникновения аварийных ситуаций резко возрастает [1]. Вследствие этого уже сейчас, до интенсивного техногенного вмешательства необходима информация о природном геохимическом фоне почв и донных осадков в Арктическом регионе по углеводородным компонентам с целью разработки эффективных способов восстановления нефтезагрязненных территорий и оценки качества проводимых очистных мероприятий.

2. Методы и объекты исследований

Исследования проводились в Нижнеколымском районе Республики Саха (Якутия). На реке Колыма только на территории Якутии располагается три крупных нефтебазы и морской порт Зеленый мыс, что усиливает риск загрязнения окружающей среды нефтью, попадание нефти в речное русло и далее в прибрежную часть Восточно-Сибирского моря (ВСМ). Пробы для исследований были отобраны в конце августа 2018 и 2019 гг. в прибрежной зоне ВСМ, в районе береговой линии нижнего течения реки Колыма, правый берег (почвы чистых территорий и территорий, несущих высокую техногенную нагрузку: нефтебазы, причал, морской порт). Пробы почв отбирали с глубины 0-20 см в соответствии с нормативными документами. Для определения содержания нефти и нефтепродуктов в почвах и донных осадках использовали метод холодной хлороформной экстракции. Степень загрязнения определяли по выходу хлороформных экстрактов (ХЭ) в сравнении с геохимическим фоном. Более подробную информацию о характере нефтезагрязнения получали путем исследования ХЭ методами ИК-Фурье спектроскопии (ИК-Фурье спектрометр “Protege 460” фирмы “Nicolet”), осадочно-адсорбционной хроматографии и хроматомасс-спектрометрии (хроматомасс-спектрометр Agilent 5973N).

3. Результаты исследований и их обсуждение

Результаты исследований показали, что в пробах, отобранных с действующей Нижнеколымской нефтебазы и нефтебазы «Нижние кресты» поселка Петушки (эксплуатация ее была прекращена в 2007 году), автозаправки выходы ХЭ составили $2.722 \div 12.298$ %, что значительно превышает таковые для фоновых проб почв ($0.011 \div 0.053$ %). Столь высокие превышения выходов ХЭ над фоновыми могут свидетельствовать о загрязнении почв нефтью или нефтепродуктами. В остальных пробах выходы ХЭ оказались близки фоновым значениям ($0.004 \div 0.055$ %). Чтобы определить возможное загрязнение этих проб нефтью, выделенные ХЭ были более детально исследованы.

Анализ ИК-спектров ХЭ показал, что некоторые пробы с выходами ХЭ на уровне геохимического фона в следовых количествах загрязнены нефтью. Это пробы, отобранные в Морском порту Зеленый Мыс, с причала реки Колыма (поселок Черский) и донные осадки возле нефтебазы «Нижние кресты» поселка Петушки. Спектры этих проб в отличие от фоновых имеют полосы поглощения в области $1600, 810, 750$ см^{-1} , характерные для ароматических структур нефтяных углеводородов. В этих же пробах содержание углеводородных фракций в составе ХЭ оказалось выше ($23,5 \div 55,5$ %), чем в фоновых ($15,3 \div 20,9$ %). В сравнение с фоном в индивидуальном составе углеводородных фракций значительно возросла доля относительно высокомолекулярных углеводородов. Распределение n-алканов приобрело бимодальный характер. Наряду с максимумом в распределении n-алканов, лежащим в высокомолекулярной области nC_{31} , что характерно для геохимического фона, появился второй максимум в относительно высокомолекулярной области nC_{15} , характерный для отбензиненных нефтей и нефтепродуктов. Даже проба почвы, отобранная в качестве фоновой в лесу приблизительно за 500м от Нижнеколымской нефтебазы, также оказалась в следовых количествах загрязнена нефтью. Это свидетельствует о присущей для нефтезагрязнения высокой миграционной способности. По-видимому, характерные для криолитозоны многочисленные циклы замерзания – оттаивания способствуют десорбции нефтяных компонентов и их дальнейшей миграции с тальми и мерзлотными водами. Выходы ХЭ чистых проб арктических почв и донных осадков очень малы. Вследствие этого

достаточно даже небольшого количества углеводородных поллютантов для загрязнения почв и донных осадков в следовых количествах нефтью. В результате природный геохимический фон приобретает техногенный характер.

Процессы самовосстановления почв в Арктической зоне протекают очень медленно, т.к. микробиологическая активность почв в условиях длительного периода низких температур невелика. Так на территории бывшей нефтебазы «Нижние Кресты», которая уже более 10 лет не функционирует, сохраняется высокий уровень нефтезагрязнения. Как показали геохимические и микробиологические исследования, окислительная деструкция нефтяных углеводородов на этой территории протекает преимущественно под влиянием физико-химических факторов среды, а не микробиологического окисления.

Все это свидетельствует о том, что освоение Арктического региона должно сопровождаться научно-обоснованными экологическими изысканиями. Вследствие этого уже сейчас, до интенсивного техногенного вмешательства необходима информация о природном геохимическом фоне почв и донных осадков с целью разработки эффективных способов восстановления Арктической зоны от нефтезагрязнений и оценки качества проводимых очистных мероприятий.

4. Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, Проект №18-45-140009 р_а.

5. Литература:

[1] Makhutov NA, Bolshakov AM, Zakharova MI, Glyazentsova YS, Zueva IN, Chalaya ON, Lifshits SK. HSE in the Arctic: Forecasting of emergency situations at oil and gas facilities and emergency petroleum products' spill response in Arctic climatic conditions. PST [Internet]. 2019Aug.31 [cited 2020Feb.5];3(1):52-1. Available from: <https://pipeline-science.com/index.php/PST/article/view/102>

РАЗВИТИЕ ТЕРМОКАРСТА В УСЛОВИЯХ СОВРЕМЕННОГО КЛИМАТА В ЮГО-ЗАПАДНОЙ ЯКУТИИ

Василий Лыткин^{1,2}, Игорь Сыромятников^{1,2}

¹ Институт гуманитарных исследований и проблем малочисленных народов севера СО РАН, Россия, г. Якутск, ул. Петровского, 1

² ФГБУН Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, 677010, Россия, г. Якутск, ул. Мерзлотная, 36

THERMOCARST DEVELOPMENT IN THE CONDITIONS OF MODERN CLIMATE IN SOUTH- WEST YAKUTIA

Vasily Lytkin^{1,2}, Igor Syromyatnikov^{1,2}

¹ The Institute for Humanities Research and Indigenous Studies of the North SB RAS, Russia, Yakutsk, Petrovskogo St., 1

² Melnikov Permafrost Institute, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, 36 Merzlotnaya st., Yakutsk, 677010, Russia

Annotation. In recent decades, the global climate is changing, which leads to a change in the natural environment, including the permafrost zone. Currently, thawing of permafrost is spreading in Yakutia, which leads to the development of termokarst. The most vulnerable in this regard are the southern boundaries of the distribution of the ice complex, the study of which is very relevant. To study the distribution and dynamics of cryogenic processes, the most suitable is photogrammetric research methods, which include the use of unmanned aerial vehicles. This approach was applied to study the development of cryogenic processes in the village of Yunkur (Olekminsky district, Republic of Sakha (Yakutia)). In the created orthomosaic of the settlement with a resolution of 1.5 cm / pcl, foci of thermokarst distribution were identified and their statistical indicators were calculated.

1. Введение

Термокарст относится к криогенным процессам, в результате которого образуются характерные формы рельефа, в результате таяния льдистых мерзлых грунтов или ледового комплекса [1]. Исследование динамики и распространения современных термокарстовых форм важно с точки зрения использования их, как одного из основных индикаторов деградации многолетнемерзлых грунтов. Они связаны с ландшафтными преобразованиями при изменении климата [2, 3]. В настоящее время термокарст наиболее активен в открытых природных и антропогенных ландшафтах. В результате современного потепления климата происходит процесс разрушения защитного слоя, который защищает многолетнемерзлые грунты от оттаивания [4]. Это приводит к быстрому развитию термокарстовых процессов [5]. В этом отношении наиболее уязвимыми являются южные границы распространения ледового комплекса [6].

Один из эффективных методов изучения термокарста, является использование дистанционных методов исследований с применением спутниковых и аэрофотоснимков в сочетании с подробными полевыми наблюдениями [3]. Но иногда, такие исследования имеют ограничения при изучении степени развития термокарста, так как мелкие формы рельефа не полностью дешифрируются из-за низкого разрешения снимков. В последние годы стали активно использовать, в том числе для исследования термокарста [7], беспилотные летательные аппараты, которые могут создавать ортотрансформированные изображения и цифровые модели местности (ДТМ) с очень высоким пространственным разрешением $<1,0$ м.

Целью данного исследования является изучение степени развития термокарста в селе Юнкюр (Олекминский район) и его морфологических особенностей с применением аэрофотоснимков высокого разрешения, полученных с помощью БПЛА.

2. Результаты исследований

Ключевой участок исследований расположен на территории с. Юнкюр Олекминского района РС (Я). Здесь многолетнемерзлые породы имеют островной характер распространения с мощностью около 100 м. В пределах первой надпойменной террасы и высокой поймы развиты повторно-жильные льды с мощностью до 12 м. На этом участке с площадью $3,2 \text{ км}^2$ был создан ортофотоплан с помощью беспилотного

летательного аппарата DJI Mavic 2 Pro. Полеты производились с высоты 200 м над поверхностью. Для более высокой географической привязки ортофотоплана была создана сеть реперных точек, которые привязывались GNSS системой Trimble 5700 с точностью до нескольких сантиметров. Полученные снимки обрабатывались в специализированном программном обеспечении. Созданный ортофотоплан имел разрешение 1,5 м/пкс. Для картографирования и дешифрирования, полученного изображения, использована программное обеспечение ArcMap 10.5.

В результате обработки снимка на исследуемой территории были выявлены очаги современного термокарста с общей площадью 0,7 км² (рисунок 1). Они образованы былларами, которые являются первым этапом развития термокарста. Они здесь образуют полигонально-западинный микрорельеф. Некоторые полигоны в диаметре достигают до 10 метров. Глубина западин составляет от нескольких сантиметров до 50 см.

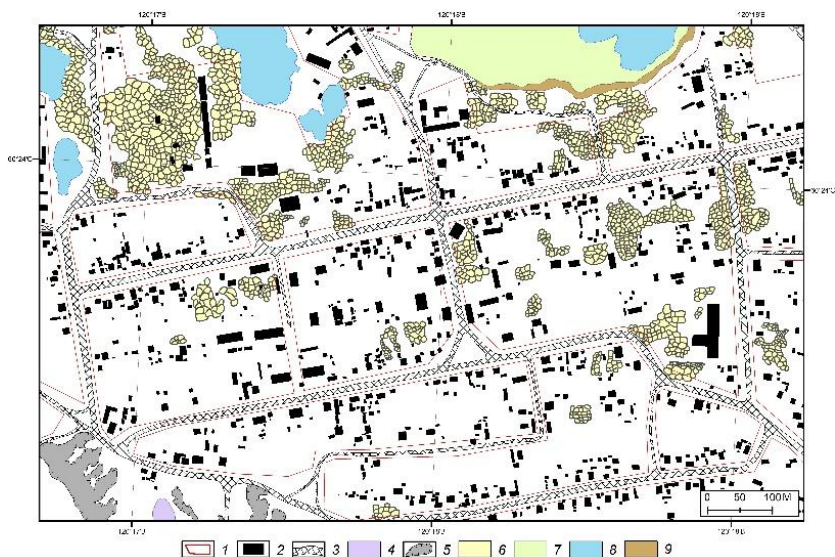


Рисунок 1. Картограмма развития термокарстовых процессов на территории села Юнкюр. 1. Дворовые территории; 2. Здания и сооружения; 3. Грунтовые дороги; 4. Карьер; 5. Овраг; 6. Быллары; 7. Алаас; 8. Озеро; 9. Байджарах.

3. Выводы

В селе Юнкюр были выявлены современные процессы развития термокарста, которые занимают 21% от общей площади поселения. Они представлены былларами, диаметр которых достигает до 10 метров. Применение БПЛА при исследовании термокарстовых процессов дает широкий диапазон возможностей из-за высокого качества изображений.

4. Благодарности

Исследование выполнено за счет средств гранта Российского научного фонда (проект #19-78-10088)

5. Литература:

- [1] Kachurin, S.P. Thermokarst in the USSR. Moscow: USSR Academy of Sciences Publishing House, 1961, 291 pp.
- [2] Fedorov, A.N., Konstantinov, P.Y. Recent Changes in Ground Temperature and the Effect on Permafrost Landscapes in Central Yakutia // Ninth International Conference on Permafrost, 2008, vol.1, pp. 433-438.
- [3] Fedorov A.N., Gavriliev, P.P., Konstantinov, P.Y., Hiyama, T., Iijima, Y., Iwahana, G. Estimating the water balance of a thermokarst lake in the middle of the Lena River basin, eastern Siberia // Ecohydrology, 2014, vol. 7, iss. 2., pp. 188-196.
- [4] Shur, Y., Hinkel, K.M., Nelson, F.E. The transient layer: Implication for geocryology and climate-change science // Permafrost and Periglacial Process, 2005, vol. 16, pp. 5-17.
- [5] Grosse, G., Romanovsky, V., Jorgenson, T., Anthony, K.W., Brown, J., Overduin, P.P. Vulnerability and feedbacks of permafrost to climate change // EOS Trans. AGU, 2011, vol. 92, pp. 73-74.
- [6] IPCC, 2019: IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N.M. Weyer (eds.)]. In press.
- [7] Saito, H., Iijima, Y., Basharin, N. I., Fedorov, A. N., & Kunitsky, V. V. Thermokarst Development Detected from High-Definition Topographic Data in Central Yakutia // Remote Sensing, 2018, vol. 10(10), pp. 1579.

УДК 550.424

БЛАГОРОДНЫЕ МЕТАЛЛЫ В БИОСФЕРЕ ЯКУТСКА

Владимир Макаров

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

NOBLE METALS IN THE BIOSPHERE OF YAKUTSK

Vladimir Makarov

Melnikov Permafrost Institute, Siberian Branch, Russian Academy of
Sciences, 36 Merzlotnaya st., Yakutsk, 677010, Russia

Annotation. The distribution of precious metals of gold, silver and partially platinum in the environment of Yakutsk is considered: the atmosphere, natural waters, soils and rocks. Noble metals form geochemical anomalies in the studied natural environments, mainly in the central part of the city. The content of Ag in atmospheric aerosols is at the level average for Russian cities, Au is an order of magnitude higher, and Pt in suspended solids is higher than the clarke of the lithosphere. Au and Ag are scarce in natural waters, but are concentrated in the bottom sediments of lakes. Modern (Holocene) alluvial deposits are geochemically specialized in Au and Ag, the content of which exceeds clarke values. The features of the formation of geochemical fields of precious metals in seasonally thawed and frozen deposits of the cultural layer are established. A functional dependence of the concentration of Au and Ag in the soil of the cultural layer on the duration of anthropogenic impact is observed. The maximum thickness of geochemical anomalies of noble metals in ancient soils of the cultural layer reaches 4 m.

1. Введение

Благородные металлы - золото и серебро известны человечеству несколько тысячелетий; об этом свидетельствуют многочисленные изделия, найденные в древних захоронениях, и примитивные горные выработки, сохранившиеся до наших дней. В отличие от этих металлов платина известна европейцам всего 500 лет, с середины XVI века.

2. Результаты исследований

Благородные металлы очень редкие (Au, Pt) и редкие (Ag) химические элементы. Их распространенность в окружающей природной среде показана в таблице 1

Таблица 1

Распространенность благородных металлов в окружающей природной среде

Компоненты природной среды	Ед. изм.	Au	Pt	Ag	Источник
Кларк земной коры	мг/т	4,3	9	73	[1]
Кларк осадочных пород	-«-	1	2-7	100	
Почвы	-«-	1-2	20	50	[2, 3]
Зола растений	-«-	0,5-2	12-56	30	[4, 5]
Подземные воды криолитозоны	мкг/л	<0,012	-	0,29	[6]
Подземные рудных месторождений	-«-	0,1-0,2	0,15	1-50	[7]
Речные воды	-«-	0,002	0,03	0,2	[8, 9,10]
Океанический воздух	нг/м ³	$2,3 \cdot 10^{-3}$	-	$2,3 \cdot 10^{-2}$	[11]
Воздух (Южный полюс)	-«-	$4 \cdot 10^{-5}$	-	$4 \cdot 10^{-4}$	

Современные (голоценовые) аллювиальные отложения в долине р. Лены (Туймаада), представляющие собой почвообразующий субстрат, являются исходным поставщиком продуктов гипергенного выветривания и имеют исключительное значение для формирования современного элювия и почв. Отложения Qal геохимически специализированы на Au и Ag, содержание которых превышает кларковые значения и во многом определяет минералогический и химический состав современного элювия, почв и грунтов культурного слоя (КС), взвешенных веществ в атмосфере города [12].

Распределение благородных металлов в компонентах биосферы Якутска (атмосфере, гидросфере и литосфере) приведено в таблице 2.

Благородные металлы образуют геохимические аномалии в изученных природных средах, преимущественно в центральной части города.

Взвешенные вещества в городском воздухе, как аэрозоли, так и пыли, обогащены серебром, золотом и платиной.

Au и Ag редки в природных водах, но концентрируются в донных отложениях озер.

Таблица 2

Среднее содержание Au, Pt и Ag в окружающей среде Якутска

Природная среда	Ед. изм.	Au	Pt	Ag
Атмосфера (взвешенные вещества)				
Аэрозоли	нг/м ³	0,057	-	0,42
Пыль	мг/кг	-	0,016	0,19 (3,0)
Гидросфера				
Озера	мкг/л	-	-	0,030
Подземные воды (J ₁ водоносный комплекс)	-“-	<0,002	-	<0,003
Литосфера				
Аллювиальные отложения, Qal	мг/кг	0,0051	-	0,085
Донные отложения озер	-“-	-	-	0,130
Почвы				
Почво-грунты	мг/кг	0,0016	-	0,014

Примечание: «-» нет данных

3. Выводы

Полученные геохимические данные позволяют проследить особенности формирования геохимических полей благородных металлов в сезонноталых и мерзлых отложениях КС. Концентрация Au и Ag в «древних» (>200 лет) грунтах значительно выше, чем в незатронутых техногенезом аллювиальных отложениях. Аномалии Au и Ag охватывают как промерзающие, так и мерзлые грунты КС (>200 лет) и прослеживаются до кровли аллювиальных отложений. Глубже, в многолетнемерзлых аллювиальных отложениях концентрации Au и Ag не превышают фоновых значений. В молодых грунтах города возрастом 30-40 лет формируются слабоаномальные концентрации Au и Ag, не проникающие в грунты глубже 0,2-0,5 м. Наблюдается функциональная зависимость концентрации (среднее геометрическое и максимальное) Au и Ag в грунтах КС от продолжительности техногенного воздействия. В самых старых 250-350-летних грунтах КС средняя концентрация Au и Ag в 2-3 раза выше, чем в более молодых (рисунки).

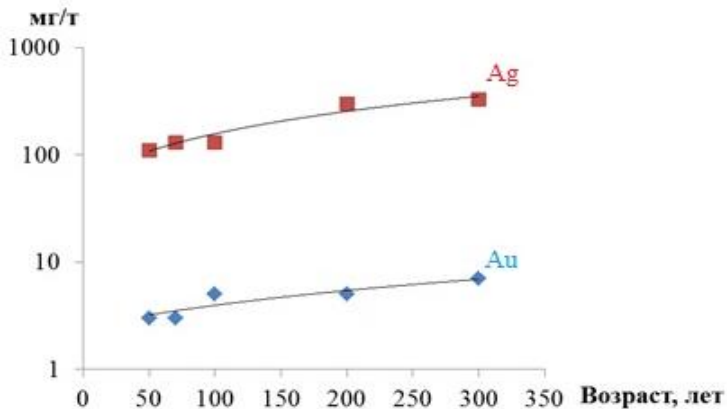


Рисунок. Зависимость концентрации Au и Ag в грунтах КС от возраста техногенного воздействия

4. Литература:

- [1] Vinogradov A.P. Average contents of chemical elements in the main types of igneous rocks of the earth's crust. - Geochemistry. - 1962. - No. 7. - P. 555-571.
- [2] Kabata-Pendias A. and Pendias H. Microelements in soils and plants. - М.: Mir, 1989. 425 p.
- [3] Bowen H. J. M. Environmental Chemistry of the Elements. - London - New York: Academic Press, 1979. - 333 p.
- [4] Kovalevsky A.L. Features of the formation of ore biogeochemical halos. - Novosibirsk: Nauka, 1975. 115 p.
- [5] Bowen H. J. M. Trace Elements in Biochemistry. □ New York: Academic Press, 1966. - 241 p.
- [6] Shvartsev, S. L. Hydrogeochemistry of the zone of hypergenesis. - М.: Nedra, 1978.- 287 p.
- [7] Goleva G.A. Hydrogeochemistry of ore elements. М.: Nedra, 1977. 216 p.
- [8] Gordeev V.V. River runoff into the oceans and features of its geochemistry. - М.: Nauka, 1983. - 160 p.
- [9] Ivanov V.V. Ecological geochemistry of elements: Reference: in 6 books. - М.: Nedra, 1997. - Book. 5: Rare d-elements. - 576 p.

- [10] Martin J. M. and Meybeek M. Elemental mass-balance of material carried by major world rivers. - Marine Chemistry, 1979, vol. 7, N 2, p. 173-206.
- [11] Savenko V.S. The average elementary chemical composition of ocean aerosol // Geochemistry. - 1988. - No. 8. P. 1084-1089.
- [12] Makarov V.N. Silver in the lithogenic environment of Yakutsk. - Science and technology in Yakutia. - 2018 - No. 2. - P. 1-6.

УДК 551.510.42

ВЗВЕШЕННЫЕ ВЕЩЕСТВА В АТМОСФЕРЕ ЯКУТСКА

Владимир Макаров, Николай Торговкин
ФГБУН Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН,
677010, Россия, г. Якутск, ул. Мерзлотная, 36

WEIGHTED SUBSTANCES IN THE ATMOSPHERE OF YAKUTSK

Vladimir Makarov, Nikolay Torgovkin
Melnikov Permafrost Institute, Siberian Branch, Russian Academy of
Sciences, 36 Merzlotnaya st., Yakutsk, 677010, Russia

Annotation. On the territory of the city, a geochemical study of suspended solids (SS) in the surface atmosphere, soil and snow cover was carried out. The basic physical and chemical properties (content of chemical elements, mineralogical and particle size distribution) of suspended substances in the atmosphere are determined. SS in the surface atmosphere are polydisperse and are a combination of solid particles of different sizes. About 70% of the amount of SS in the atmosphere is related to dust itself, aerosuspensions occupy 20%, and medium-finely dispersed about 10%. Polydispersed SS contain toxic elements: Mn, Co, Cu, Cd, Pb, Zn. The most environmentally hazardous are medium-finely dispersed particles with a high content of elements of the 1st and 2nd toxicity classes Cd, Pb and Cu.

Keywords: suspended particles, urban atmosphere, dispersion, trace elements, toxicity

1. Введение

Загрязняющие воздух взвешенные вещества (ВВ) - это дым, сажа, пыль и капельки жидкости, образующиеся при хозяйственной деятельности (сгорании топлива) и присутствующие в воздухе. Достоверно установлена связь между уровнем ВВ в атмосферном воздухе и увеличением суточной смертности. Влияние ВВ на здоровье проявляется широким спектром биологических эффектов ~ от увеличения частоты кашля и других симптомов со стороны верхних и нижних дыхательных путей, обострения бронхиальной астмы, возрастания частоты случаев бронхита до увеличения случаев смертности от заболеваний органов дыхания и сердечно-сосудистых заболеваний.

Автотранспорт – главный источник загрязнения окружающей среды города, вклад в общую эмиссию которого достигает 72%. Основными стационарными загрязнителями атмосферного воздуха Якутска являются преимущественно предприятия теплоэнергетического комплекса.

Уровень загрязнения ВВ, измеряемый обычно в микрограммах на кубический метр, является одним из важнейших показателей качества воздуха, которым дышат люди. Взвешенные вещества - недифференцированная по составу пыль (аэрозоль), содержащаяся в воздухе населенных пунктов; показатель вредности - резорбтивное действие, класс опасности – 3, наряду с такими токсичными металлами как V, W, Mn, Ge и др. Величина ПДК (мг/м³): максимальная разовая – 0,5, среднесуточная – 0,15 [1].

2. Методика исследований

Для получения информации о количестве, происхождении и химическом составе ВВ авторами на территории города было проведено геохимическое изучение почв, пыли в снежном покрове и приземной атмосфере. Изучение содержания ВВ в зимней атмосфере города было выполнено путем определения количества твердых выпадений в снежном покрове. Были использованы данные Якутского УГМС о состоянии атмосферного воздуха на территории г.Якутска.

Аналитическая обработка геохимических проб проведена в ИМЗ СО РАН, в ЦГЛ АО "Якутскгеология" и в ИПТМ РАН. Геохимические пробы направлялись на химический, приближенно-количественный

атомно-эмиссионный спектральный, атомно-абсорбционный и масс-спектрометрический анализы.

3. Результаты и обсуждение

Взвешенные вещества представляют собой собирательное понятие, включающее твердые частицы, атмосферные аэрозоли, непосредственно поступающие в воздух, и те частицы, которые образуются в процессе превращения газов. Размер частиц в воздухе колеблется от 0,01 микрон (мкм) до 100 мкм. Концентрация взвешенных веществ в воздухе города в течение десятилетнего периода (2008-2018 гг.) постоянно превышала ПДК_{сс}. Среднегодовые концентрации ВВ в течение этого времени были в 1,8 раз выше санитарных норм, в летний период – в 2,1, зимний – в 1,6 раз).

По нашим данным ВВ в приземной атмосфере Якутска полидисперсны и представляют собой совокупность твердых частиц разного размера. В разных частях города дисперсный состав ВВ, в основном относится к собственно пыли, фракция PM_{10-100} – около 70% (PM – аббревиатура “particulate matter”, цифра показывает содержание всех частиц диаметром 10-100 мкм). Частицы крупной фракции $PM_{>100}$ – аэросуспензии, распределяются неравномерно занимая в среднем около 20% объема ВВ, но в местах наибольшей транспортной нагрузки объем крупной фракции возрастает до 43%. PM_{10} средне-мелкодисперсной фракции распределены наиболее равномерно, их количество в среднем составляет около 10% ВВ. Адсорбируя на своей поверхности токсичные вещества, PM_{10} могут находиться во взвешенном состоянии несколько суток и переноситься на десятки (иногда сотни) километров от источника воздействия, представляя серьезную угрозу для здоровья населения [7]. Частицы этой фракции наиболее опасны, поскольку могут проникать в глубокие отделы легких, вплоть до альвеол и задерживаться там. Минералогический состав основной массы ВВ (PM_{10-100}) в летней атмосфере города представлен кварцем, карбонатами и полевыми шпатами (около 95%). Основная масса атмосферной пыли формируется в результате выдувания материала придорожных почв, применения противогололедной песчаной подсыпки, выпадений аэрозолей из атмосферы, воздействия транспортных средств и инфраструктуры [5].

Важное значение имеет химический состав ВВ, обуславливающий фиброгенное, раздражающее, токсическое, аллергическое, канцерогенное действие на организм. ВВ насыщенные токсичными

элементами быстро проникают в организм и вызывают острые отравления.

Химический состав выпадающих из атмосферы частиц сильно различается в зависимости от их размера и происхождения. Соотношение микроэлементов во ВВ приземной атмосферы позволяет определить типоморфный комплекс микроэлементов в составе наиболее распространенных (PM_{10-100}) и наиболее опасных (PM_{10}) гранулометрических фракций в атмосфере Якутска.

Во ВВ фракции PM_{10-100} наблюдается преимущественное присутствие спектра сидерофильных элементов - Ti, Mn, Co, Ni, Zn, Ga, Sr, Zr, Sn, La, W. В более дисперсных частицах PM_{10} концентрируются халькофильные - Cu, Cd, Pb, Sc, Y. Остаются инертными, присутствующими примерно в равных концентрациях в различных фракциях ВВ, литофильные - Be, V, Cr, Nb, Mo, Ag.

Как в PM_{10-100} , так и в PM_{10} присутствуют элементы третьего (Mn), второго (Co, Cu) и даже первого класса токсичности (Cd, Pb, Zn), средняя концентрация которых в ВВ превышает санитарные нормы для почв. Особенно неблагоприятны с санитарно-экологической точки зрения дисперсные ВВ в которых накапливаются Cd, Pb и Cu (ул. Лермонтова, Жорницкого на пересечении с окружным шоссе).

Важно отметить, что доля биологически доступных форм Ag, Co, Mn, Mo и Sb в PM_{10} составляет 40–60%, Cu, Ni и Zn – 60–80%, а Cd, Pb и Tl – более 80% [4].

4. Заключение

Высокие темпы урбанизации, рост численности населения и автомобилизации привели к загрязнению атмосферного воздуха Якутска, формированию специфической среды с техногенными аномалиями загрязняющих веществ. Чистота воздуха — один из основных факторов качества жизни. Поэтому одной из первоочередных задач окружной администрации Якутска является разработка и реализация программы борьбы с запыленностью территории города.

5. Литература:

[1] GN 2.1.6.1338-03 Maximum allowable concentrations (MPC) of pollutants in the atmospheric air of populated areas. М.: Ministry of Health of Russia. - 2003 (with changes 03.11.05 and 02.02.08).

- [2] Konstantinov A.P. Ecology and health: mythical and real dangers // Ecology and life, 2012, No. 8 - Pages 86-88.
- [3] Revich B.A., Bykov A.A. Assessment of the risk of mortality of the Russian population from industrial pollution of the air basin. Forecasting problems. М.: 1989, no. 3. Page 147-162.
- [4] Falta T., Limbeck A., Koellensperger G., Hann S. Bioaccessibility of selected trace metals in urban PM_{2.5} and PM₁₀ samples: a model study // Analytical and Bioanalytical Chemistry. 2008 № 390 P. 1149–1157
- [5] Hu X., Zhang Y., Luo J., Wang T., Lian H., Ding Z. Bioaccessibility and health risk of arsenic, mercury and other metals in urban street dusts from a mega-city, Nanjing, China // Environmental Pollution. 2011. Vol. 159. P. 1215-1221. doi: 10.1016/j.envpol.2011.01.037.
- [6] Limbeck A., Puls C. Particulate emissions from on road vehicles // Urban airborne particulate matter: origin, chemistry, fate and health impacts / Eds.: F. Zereini, C.L.S. Wiseman. Heidelberg: Springer–Verlag Berlin, 2011 P. 63–79.
- [7] National Emissions Inventory 2014. United States Environmental Protection Agency, 2014. URL: <https://www.epa.gov/air-emissions-inventories/2014-national-emissions-inventory-nei-data> (дата обращения: 15.05.2019).
- [8] Urban airborne particulate matter: origin, chemistry, fate and health impacts / Eds.: F. Zereini, C.L.S. Wiseman. Heidelberg: Springer–Verlag Berlin, 2011 656 p.

УДК 546.3

НОВЫЕ ДАННЫЕ ПО РАСПРЕДЕЛЕНИЮ ЛАНТАНОИДОВ В ВЕНДСКИХ РАССОЛАХ ЮЖНЫХ РАЙОНОВ СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

Дмитрий Новиков¹, Анатолий Черных¹, Евгений Чертовских²,
Федор Дульцев¹, Ирина Юрчик¹, Василина Хилько¹

¹ ФГБУН Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А.

Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. академика
Коптюга, 3

² ООО «Иркутская нефтяная компания», 664007, Россия, г. Иркутск, пр-
кт Большой Литейный, 4

NEW DATA OF LANTHANIDES DISTRIBUTION IN THE VENDIAN BRINES OF THE SOUTHERN REGIONS OF SIBERIAN PLATFORM

Dmitry Novikov¹, Anatoly Chernykh¹, Evgeny Chertovskikh²,
Fedor Dultsev¹, Irina Yurchik¹, Vasilina Khilko¹

¹ Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics, Siberian Branch
of Russian Academy of Sciences, 3 ave. Akademika Koptyuga, Novosibirsk,
630090, Russia

² Irkutsk Oil Company, 4 Bolshoy Liteiny ave., Irkutsk, Russia, 664007

Annotation. In the Vendian brines of the southern regions of the Siberian platform of calcium chloride and calcium-sodium composition, the highest concentrations of lanthanides were determined for Sc (11.1 - 30.6 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$) and Y (16.0 - 24.7 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$). The REE group is dominated by a group of light elements. Highest concentrations of REE in brines established for Ce (7.9-14.1 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$); La (5.1-10.7 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$); Nd (2.9-8.3 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$). Background concentrations of the other elements vary from 0.02 to 1.49 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$. Almost all samples are characterized by a positive europium anomaly ($\text{Eu}/\text{Eu}^* = 2.03\text{--}10.93$), with the exception of objects 3 and 9 ($\text{Eu}/\text{Eu}^* = 0.69\text{--}0.86$).

1. Введение

В геохимии лантаноиды делятся на 2 группы: цериевую (La, Ce, Pr, Pm, Sm) и иттриевую (Y, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu). Распределение редкоземельных элементов (РЗЭ) в разнообразных природных объектах (подземных и поверхностных водах, горных породах, нефтях, рудах и минералах) – индикатор условий их формирования. Это свойство РЗЭ давно и широко используется в различных геохимических исследованиях, результаты которых опубликованы во множестве работ [1-2]. Исследование лантаноидов в вендских рассолах южных районов Сибирской платформы проводилось с целью выявления и оценки общего геохимического фона концентраций их растворенных форм, а также определения основных закономерностей изменений содержаний. При проведении полевых работ в 2019г. в южных районах Сибирской платформы были отобраны 9 проб вендских рассолов. Аналитические работы по их изучению методами ICP-MS были выполнены в

Проблемной научно-исследовательской лаборатории гидрогеохимии Инженерной школы природных ресурсов Национального исследовательского Томского политехнического университета.

2. Результаты и обсуждение

Изученные рассолы характеризуются хлоридным кальциевым и кальциево-натриевым составом (по С.А. Щукареву) с величиной общей минерализации, изменяющейся от 335,9 до 430,3 г/дм³, при среднем значении 367,93 г/дм³. Величина рН в них изменяется от 2,5 до 5,3, при средних значениях 3,5.

Содержание Sc в изученных пробах варьирует от 11,1 до 30,6 мкг/дм³, а его фоновое значение составляет 22,6 мкг/дм³. Концентрации иттрия изменяются в пределах от 16,0 до 24,7 мкг/дм³, при фоновых содержаниях 17,3 мкг/дм³. Наибольшими концентрациями в рассолах среди РЗЭ характеризуются (мкг/дм³): Ce (7,9-14,1, фон - 11,6); La (5,1-10,7, фон - 8,6); Nd (2,9-8,3, фон - 6,1). Содержания (мкг/дм³): Pr изменяются от 0,6 до 1,9, при фоновом значении 1,5); Gd – от 0,1 до 1,9, фон - 0,9; Sm – от 0,2 до 2,7, фон - 0,6; Eu – от 0,1 до 1,8, фон - 0,6; Dy – от 0,1 до 0,7, фон - 0,2; Tb – от 0,05 до 0,15, фон - 0,09; Lu – от 0,03 до 0,09, фон - 0,06; Tm – от 0,03 до 0,11, фон - 0,05 и Ho – от 0,02 до 0,14, фон - 0,03 (таблица 1).

Таблица 1

Содержания растворенных форм Sc, Y и РЗЭ в рассолах южных районов Сибирской платформы, мкг/дм³

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Sc	11,1	14,3	15,6	30,6	25,2	23,3	22,6	17,2	30,5
Y	16,0	23,7	21,9	17,3	16,6	24,7	16,0	16,5	20,1
La	8,6	5,0	9,1	10,7	8,5	10,4	7,7	8,6	9,8
Ce	9,4	8,0	12,9	10,0	9,1	12,8	11,6	12,5	14,2
Pr	0,89	1,54	1,92	0,75	0,98	1,49	0,75	1,56	1,50
Nd	4,10	7,99	8,31	2,91	4,63	6,79	6,16	5,23	6,53
Sm	0,99	0,57	2,73	0,22	0,63	0,21	0,21	0,22	1,26
Eu	1,27	1,63	0,64	0,17	1,23	1,79	0,38	0,31	0,31
Gd	0,70	1,93	1,61	0,11	0,36	0,88	1,03	0,76	1,47
Tb	0,08	0,12	0,15	0,06	0,06	0,05	н/о	0,14	н/о
Dy	н/о	0,71	0,28	н/о	0,12	0,37	0,22	0,11	0,22
Ho	0,14	н/о	н/о	н/о	н/о	0,02	н/о	0,03	н/о

Er	0,09	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о
Tm	0,11	н/о	н/о	0,03	0,06	н/о	н/о	0,03	н/о
Yb	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о
Lu	0,09	н/о	н/о	0,03	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о
ΣREE	26,5	27,5	37,6	24,9	25,7	34,8	28,0	29,5	35,2
ΣLREE	24,0	23,1	34,9	24,5	23,9	31,7	26,4	28,1	33,3
ΣHREE	2,5	4,4	2,7	0,4	1,8	3,1	1,6	1,4	1,9
LREE, %	90,6	84,0	92,9	98,4	92,9	91,1	94,2	95,3	94,3
HREE, %	9,4	16,0	7,1	1,6	7,1	8,9	5,8	4,7	5,7
Ce/Ce*	0,66	0,68	0,71	0,61	0,64	0,69	0,93	0,76	0,80
Eu/Eu*	4,46	4,28	0,86	2,98	7,18	10,93	2,04	2,05	0,69
Ho/Ho*	9,64	-	-	-	-	0,60	-	2,38	-
Dy/Dy*	-	1,69	0,55	-	0,59	1,67	-	0,20	-

Примечание: н/о – содержание элемента ниже предела обнаружения; ΣREE – общая сумма PЗЭ; LREE – сумма легких PЗЭ; HREE – сумма тяжелых PЗЭ; $Ce/Ce^* = 2(Ce_n) / (La_n + Pr_n)$; $Eu/Eu^* = 2(Eu_n) / (Sm_n + Cd_n)$; $Ho/Ho^* = 2(Ho_n) / (Dy_n + Er_n)$; $Dy/Dy^* = 2(Dy_n) / (Ho_n + Tb_n)$.

В большинстве проб установлено наличие положительной европиевой аномалии ($Eu/Eu^* = 2,03-10,93$) (рисунок 1) и доминирование в составе легких PЗЭ ($\Sigma LREE = 23,1-34,9$ мкг/дм³ (84,0-98,4%)). Отрицательная европиевая аномалия ($Eu/Eu^* = 0,69-0,86$) установлена в пробах 3 и 9.

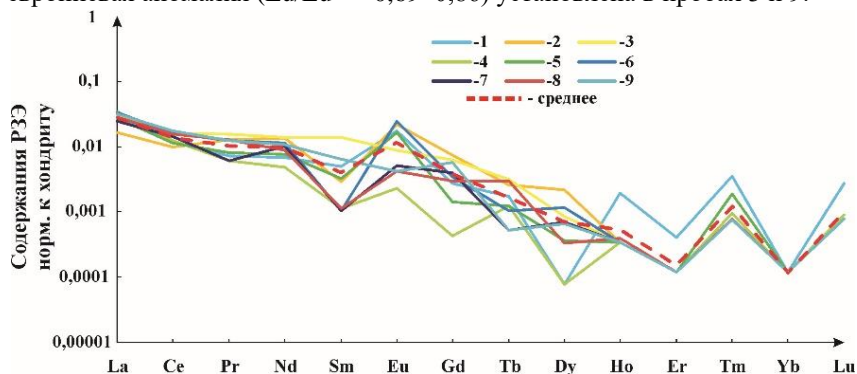


Рисунок 1. Спектр распределения концентраций PЗЭ в рессолах.

3. Благодарности

Исследования проводились при финансовой РФФИ в рамках научного проекта № 18-05-70074 «Ресурсы Арктики».

4. Литература:

- [1] Balashov, Yu.A. Geochemistry of Rare Earth Elements. Moscow: Nauka, 1976, 268 pp. (in Russian).
- [2] Johannesson, K.H. Rare earth elements in groundwater flow systems / Netherlands: Springer, 2005, 306 pp.

УДК 551.34

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ГРУНТОВ НА ЛЬДОНАСЫЩЕННЫХ ЛАНДШАФТАХ МЕЖАЛАСЬЯ В УСЛОВИЯХ ДРЕНАЖА

Варвара Новоприезжая, Николай Федоров
ФГБУН Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН,
677010, Россия, г. Якутск, ул. Мерзлотная, 36

MODELLING OF THE SOILS TEMPERATURE REGIMES ON ICE-RICH INTER-ALAS LANDSCAPES UNDER DRAINAGE CONDITIONS

Varvara Novopriezzhasya, Nikolay Fedorov
Melnikov Permafrost Institute, Siberian Branch, Russian Academy of
Sciences, 36 Merzlotnaya st., Yakutsk, 677010, Russia

Annotation. This paper presents the analyzed and generalized information of the geological structure in inter-alas landscapes of Central Yakutia, the thermophysical properties of soils, and data on weather stations. We provide a solution to forecasting problems, based on climatic scenarios and retrospective analysis.

1. Введение

Под влиянием современного потепления климата, наблюдается активизация криогенных процессов и отклик геокриологических условий ландшафтов. Изменяется температурный режим грунтов, приводящий к увеличению мощности деятельного слоя, которая при достижении кровли ледового комплекса способствует их оттаиванию и образованию просадочных форм рельефа. Температурный режим грунтов изучается

для выявления деградации многолетнемерзлой толщи и нарушений геоэкологической обстановки мерзлотных ландшафтов.

2. Методика работ

Для решения геокриологического прогноза был использован математический метод упрощенного решения одномерной задачи Стефана [1].

Выбор климатических сценариев был обусловлен семейством RCP, как принятый на собрании IPCC в 2014 году, из которых для Центральной Якутии наиболее подходит RCP 4,5 с трендом $0,02^{\circ}\text{C}/\text{год}$, опираясь на действительный тренд; Также были выбраны наихудший сценарий RCP 8,5 с трендом $0,04^{\circ}\text{C}/\text{год}$ и сценарий с нулевым трендом, где среднегодовая температура воздуха на моделируемый промежуток останется статичной в районе $-8,0^{\circ}\text{C}$, в связи с равнозначными суммарными значениями годовых температур холодных и теплых периодов, иными словами без изменения долгосрочной среднегодовой температуры воздуха.

Для уточнения верхних граничных условий был использован массив климатических наблюдений 12 метеостанций (Таблица 1). Для проведения ретроспективного анализа и сравнения с фактическими температурами грунтов на момент замеров, использованы температура воздуха по метеостанциям, высота и плотность снега снегомерной съемки [2...4].

Таблица 1

Метеостанции Центральной Якутии

Участки моделирования	Метеостанции	Среднегодовые температуры воздуха, $^{\circ}\text{C}$		
		1968	1989	2018
Чурапча	Чурапча	-11,7	-11,5	-9,9
Тюнгюлю	Майя	-11,6	-11,0	-8,9
Ытык-Кюель	Ытык-Кюель	-12,2	-12,3	-9,9
Борогонцы	Борогонцы, Намцы, Якутск, Чурапча	-11,6	-10,9	-8,6
Кобяй	Интерполированные Сангар, Бердигестях, Виллойск	-10,6	-10,6	-9,1
Юкэчи	Майя	-11,6	-11,0	-8,9
АмгаАбага	Амга	-11,1	-11,5	-9,9
Умайбыт	Покровск, Якутск	-10,5	-9,1	-8,4

На поверхности грунта заданы граничные условия III рода, выраженные через температуру воздуха, мощность и плотность снежного покрова. Для моделирования температурного режима грунтов на 2100 г. заданы различные тренды температуры воздуха. Участки расположены на межаласьях с лиственным лесом. В моделях не учтены фильтрационные параметры грунтов, так как задано условие отсутствия влагонакопления в грунтах и образовавшаяся влажность мигрирует в понижения. Теплофизические параметры остаются неизменными в период моделирования и задаются на основе литогенной составляющей разреза, также влажности и плотности грунтов [5].

На участках Борогонцы, Кобяй, Юкэчи и Умайбыт верхняя часть разреза представлена супесями мощностью 0,6-1,9 м и суглинками до глубины 2,4-3,5 м, ниже которых вскрыты льдогрунты; Чурапча, Тюнгюлю, Ытык-Кюель и Амга сложены суглинками до 2,5-3,5 м, ниже вскрыт ледовых комплекс. На участках Умайбыт, Амга и Юкэчи ниже ледового комплекса с 9,0-25,0 м вскрыты пески, в остальных участках суглинки.

3. Выводы

Данные моделирования по участкам полигонов Умайбыт и Юкэчи имеют хорошую сходимость с фактическими температурами грунтов (рисунок 1).

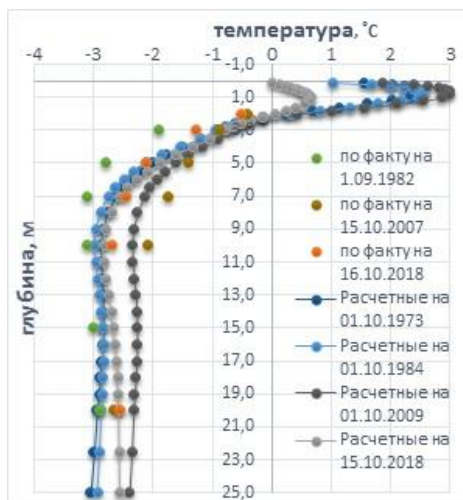


Рисунок 1. Фактические и смоделированные температуры грунтов по полигону Умайбыт.

Графики изменений температурного режима по литологической составляющей верхних горизонтов (рисунок 2) демонстрируют: в расчетах без тренда наибольшие изменения температур (Δt) у модели с супесчаными грунтами; при тренде $0,02^{\circ}\text{C}$ температурный режим супесчаных и суглинистых грунтов имел практически равную Δt , но в целом, супесчаные грунты перешли в высокотемпературные значения; при тренде $0,04^{\circ}\text{C}$ мерзлые толщи переходят в стадию оттаивания и деградации, наибольшая Δt у суглинистых грунтов, что может объясняться их высокой влажностью и теплотой фазовых переходов.

По мнению авторов, представленные результаты моделирования со стабильной среднегодовой температуры воздуха и с трендом в $0,02^{\circ}\text{C}/\text{год}$ приводят учет зависимости температуры грунта и глубины СТС от мощности снежного покрова и повышения теплового потока – температуры воздуха, а в случае с трендом в $0,04^{\circ}\text{C}/\text{год}$ не могут точно предсказать температурный режим грунтов, так как не раскрывают всю суть геокриологических процессов, и в дальнейшем требуют дополнительных исследований с учетом фильтрационных свойств грунтов.

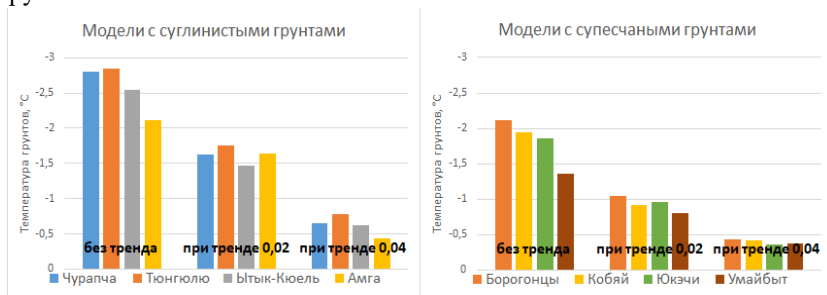


Рисунок 2. Прогнозные температуры грунтов с различными трендами на 2100 год.

4. Благодарности

Авторы выражают особую благодарность Федорову А.Н., Самсоновой В.В. и Константинову П.Я. за ценные советы и оказанную помощь при проведении данного исследования и написании статьи.

5. Литература:

[1] Feldman G.M., Tetelbaum A.S., Shender N.I. and others. A guide to forecasting the temperature regime of soils in Yakutia. Repl. ed. P.I. Melnikov. // Yakutsk: IMZ SB AS USSR, 1988.

- [2] Yakutsk Hydrometeorological Observatory. USSR Climate Handbook, Issue 24, Part II, IV; // Hydrometeorological publishing house. Leningrad 1966-1968.
- [3] V. M. Veselov, I. R. Pribylskaya, O. A. Mirzeabasov. Specialized arrays for climate research // <http://aisori-m.meteo.ru/waisori/index1.xhtml>
- [4] Weather Schedule LLC // Climate data archive in open access // <https://rp5.kr/>
- [5] Gavriliev R.V. Thermophysical properties of rocks and ground cover of cryolithozones // Publishing House of the SB RAS. Novosibirsk 1998.

УДК 556.3:556.5:546.16

ФТОР В ПРИРОДНЫХ ВОДАХ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ

Надежда Павлова, Светлана Федорова
ФГБУН Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН,
677010, Россия, г. Якутск, ул. Мерзлотная, 36

FLUORIDE IN NATURAL WATERS OF CENTRAL YAKUTIA

Nadezhda Pavlova, Svetlana Fedorova
Melnikov Permafrost Institute, Siberian Branch, Russian Academy of
Sciences, 36 Merzlotnaya st., Yakutsk, 677010, Russia

Annotation. Fluoride is a biologically active trace element and is important for human health. Outside permafrost regions, the concentration of this element usually does not exceed 0.1 mg/L in fresh surface water, while in groundwater it ranges from trace values to 16 mg/L and above. This article presents the features of the fluoride distribution in natural waters of central Yakutia. The average fluoride content in surface waters differs slightly from the average value for rivers outside the permafrost zone and does not reach the optimal level for drinking water. The fluoride concentration may exceed 1.5 mg / L in lakes if sodium dominates (exceeds 50%) in cationic composition. In suprapermafrost taliks, the fluoride content is close to its concentration in associated water bodies, and increases to 1.5-

1.7 mg/L in stagnant talik waters under thermokarst lakes. The highest fluoride concentration is observed in subpermafrost waters having bicarbonate-sodium composition with high alkalinity and low calcium content.

1. Введение

Среднее содержание фтора в литосфере оценивается в 400–800 мг/кг, в воде океанов – около 1.3 мг/л, а в речных обычно не превышает 0.1 мг/л. В пресных подземных водах концентрация фтора изменяется от следовых значений до ≥ 16 мг/л. Физиологически безопасное его содержание в питьевых водах 0.5–1.0 мг/л при предельно-допустимом 1.2–1.5 мг/л.

Цель данной работы – изучить распределение фтора в природных водах Центральной Якутии – одного из наиболее заселенных регионов республики. Материалом для исследований послужили результаты гидрохимических исследований ИМЗ СО РАН с 1964 по 2018 гг., а также фонды различных геологических организаций. При этом использовались результаты химических анализов воды с минерализацией ≤ 3 г/л.

2. Распределение фтора в поверхностных и подземных водах

Для питьевого водоснабжения населения в регионе используются в основном поверхностные воды крупных рек (рр. Лена, Алдан и Вилюй) и озер. Минерализация постоянных водотоков обычно не превышает летом 0.2, а зимой 0.5 г/л. Химический состав изменяется от гидрокарбонатного магниево-кальциевого до хлоридно-гидрокарбонатного смешанного по катионам, рН равен 6.5–7.3. Малые реки в большинстве своем имеют непостоянный сток. Они менее минерализованы (0.05–0.4 г/л), вода в них преимущественно гидрокарбонатного магниево-кальциевого или кальциево-магниевого состава. В речных водах отмечается дефицит фтора, содержание которого составляет 0.02–0.3 мг/л.

Термокарстовые озера, как правило, не глубокие, до 4 м. В молодых полноводных водоемах вода слабоминерализована (0.6–0.8 г/л), ионный состав гидрокарбонатный, смешанный по катионам. Соленость зрелых озер часто ≥ 1 г/л, состав воды гидрокарбонатный натриево-магниевоый. Содержание фтора в термокарстовых озерах изменяется от 0.2 до 1.1 мг/л.

Химический состав водно-эрозионных озер наследует состав поверхностных водотоков, с которыми они связаны. Содержание фтора в таких озерах близко к его концентрации в реках.

Тукулановые озера обычно мелководны (до 3 м) и лишь на территориях развееаемых песков достигают глубины 15–25 м. На площадях современных тукуланов озера весьма пресные, содержание в них фтора незначительно – 0.02–0.05 мг/л. На участках закрепленных песчаных массивов минерализация воды в озерах выше (0.2–0.8 г/л), ее химический тип гидрокарбонатный магниевый-кальциевый или кальциевый-натриевый. Содержание фтора при преобладании в составе воды катионов кальция равно 0.05–0.7 мг/л, в натриевых водах – 0.7–1.7 мг/л.

Надмерзлотные воды сезонного слоя (СТС) формируются в мае-июне на криогенном водоупоре и в декабре-феврале промерзают. В песчаных отложениях надмерзлотные воды ультрапресные (минерализация 10–28 мг/л) гидрокарбонатные магниевый-кальциевые, рН=5.7–6.7. Содержание в них фтора 0.01–0.2 мг/л. Надмерзлотные воды СТС в супесчано-суглинистых отложениях более минерализованы (до 1.2–3.0 г/л), имеют хлоридно-гидрокарбонатный состав. Среди катионов превалирует натрий, рН>7.5. Концентрация фтора в воде изменяется от следовых значений до 9.3 мг/л при среднем содержании 1.4 мг/л.

Субэральные надмерзлотные и межмерзлотные талики с пресными (0.15–0.30 г/л) подземными водами широко развиты в песчаных отложениях средневысотных надпойменных террас р. Лены и р. Вилюя. Мощность обводненной части надмерзлотных таликов здесь изменяется от 1 до 6 м, кровля многолетнемерзлых пород залегает на глубинах от 4 до ≥8 м. Содержание фтора в таликовых водах не превышает 0.1–0.4 мг/л, а при наличии в зоне аэрации супесчано-суглинистых отложений достигает 1 мг/л. В областях транзита и разгрузки надмерзлотные грунтовые воды нередко преобразуются в межмерзлотные, образуя единый водоносный комплекс. Макрокомпонентный состав источников межмерзлотных вод, в целом, близок к составу надмерзлотных и водам подозерных таликов близлежащих озер. Отличительной чертой родниковых вод является их большая насыщенность фтором – до 0.5–1.5 мг/л в натриевых водах.

В подрусловом талике под р. Ленной в аллювиальном водоносном горизонте химический состав воды и содержание в ней фтора близки к рекой. В терригенном водоносном горизонте вода хлоридно-

гидрокарбонатная натриевая, $pH=8.4$, а концентрация фтора достигает 1 мг/л. Под малыми реками в таликах, сложенных хорошо фильтрующими песчано-галечниковыми отложениями и трещиноватыми карбонатными породами, вода маломинерализована (0.2–0.4 г/л), состав гидрокарбонатный магниевый-кальциевый, $pH=7.7-8.4$, содержание фтора 0.1–0.3 мг/л.

В подоцерных таликах минерализация и состав подземных вод зависят от условий водообмена и литологического состава водовмещающих пород. Под проточными водоемами в верхних слоях разреза химический состав подземных вод часто близок с поверхностными водами. Содержание фтора не превышает 0.7 мг/л. В нижних слоях в натриево-кальциевых или магниевых водах количество фтора увеличивается до 1.2–1.7 мг/л.

В подмерзлотных водоносных комплексах нижней и средней юры содержание фтора в воде 5–10 мг/л [1]. Максимальные его концентрации (12.4 мг/л) наблюдаются в подземных водах в районе выступа кристаллического фундамента Якутского сводового поднятия, где на породах архея (глубина 560–600 м) залегают мезозойские отложения, а водоносные комплексы кембрия отсутствуют. Здесь подземные воды гидрокарбонатно-натриевые, $pH \geq 7.5-9.0$. Количество в них кальция, который мог бы образовывать со фтором вторичные минералы, редко достигает 2%(мг-экв/л). Источником фтора, вероятно, являются различные минералы алюмосиликатных пород. В меньшей степени обогащены фтором подземные воды, в которых наряду с гидрокарбонатными доминируют сульфатные ионы, а катионный состав смешанный. Такие воды приурочены к карбонатным отложениям кембрия и протерозоя.

3. Заключение

В Центральной Якутии в поверхностных водах среднее содержание фтора в целом незначительно отличается от среднего значения этого элемента для рек вне криолитозоны и не достигает оптимального уровня для питьевых вод. Вместе с тем, в озерных водах, в катионном составе которых более 50% приходится на натрий-ион, концентрация фтора может превышать 1.5 мг/л. В непроточных таликах под термокарстовыми озерами содержание фтора повышается до 1.7 мг/л. Максимальные концентрации фтора отмечаются в подмерзлотных водах. Для этих вод характерен гидрокарбонатно-натриевый состав, повышенная щелочность и низкое содержание кальция.

4. Благодарности

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект №20-05-00670.

5. Литература:

[1] Pavlova N.A. and Fedorova S.V. Fluoride in subpermafrost water in Yakutsk // *Geology and mineral resources of North-East Russia: Proceedings of the Russian Scientific and Practical conference.* – Russia, Yakutsk: NEFU Publishing House, 2019. Vol. 2, pp. 195-198 (in Russian).

УДК 502.5

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ДОЛИНЫ ТУЙМААДА (ЦЕНТРАЛЬНАЯ ЯКУТИЯ)

Наталья Сивцева

ГБУ Академия наук Республики Саха (Якутия)

пр. Ленина, 33, г. Якутск, Россия

GEOECOLOGICAL CONDITIONS OF THE TUUMAAD VALLEY (CENTRAL YAKUTIA)

Natalya Sivtseva

Academy of Sciences the Republic of Sakha (Yakutia), 33 Lenin ave,

Yakutsk, Russia

Annotation. The most important practical problem of geoeology is the study of pollution of environmental components as factors of environmental degradation. Monitoring studies of the Tuymaada valley indicate a deterioration in its ecological condition. Particularly active is the contamination of the soil with heavy metals. In this connection, the soil cover in the territory of the city of Yakutsk and adjacent settlements was investigated, with the calculation of the total indicator of soil cover pollution. It has been established that the territory of the city of Yakutsk is the most degraded and polluted. The main pollutants contributing to the pollution are lead, manganese and copper.

1. Введение

Благодаря географическим и геохимическим особенностям расположения Якутска, фоновые параметры содержания микроэлементов в почвах природных ненарушенных ландшафтов на данной территории имеют определенную специфику. Интегральная оценка всех геохимических показателей установила, что основную экологическую опасность представляют тенденции накопления в грунтах свинца, цинка и кадмия, которые являются элементами 1-го класса опасности. В целом за все годы исследований ряд накопления микроэлементов в урбаногемах на территории Якутска соответствует следующей схеме: Pb Zn Cd Mn Ni Cu [1].

Целью данной работы стало установление уровней загрязнения почвенного покрова территории города Якутска и прилегающих населенных пунктов.

В определении элементного состава почвенного покрова использованы общепринятые в почвоведении методики. Подвижные формы микроэлементов определены атомно-адсорбционным методом с использованием реагента - 1н. азотной кислоты. Валовые формы элементов определены спектральным полуколичественным методом. По результатам предыдущих лет исследования, проведено обобщение с формированием базы данных (общая выборка n=4 480) и расчетом средних геометрических значений, которые отражают региональные фоновые характеристики содержания валовых форм микроэлементов в почвах природных не нарушенных ландшафтов территории среднего течения р. Лена [2]. Для оценки эколого-геохимического состояния рассчитан суммарный показатель загрязнения почвенного покрова.

2. Основной раздел

Долина Гуймаада находится на левобережной части в бассейне среднего течения р. Лена, местность представляет собой широкую (5-15 км) и протяженную до 70 км слабо всхолмленную аллювиальную равнину.

Исследования почвенного покрова 2019 года, охватывают территорию с Кангаласского мыса (п. Кангалассы, Жатай) до Табагинского мыса (п. Хатассы, Табага), включая территорию непосредственно города Якутска. Отличительной чертой каждого населенного пункта является плотность населения и характер промышленного освоения (таблица 1).

Таблица 1

Характеристика населенных пунктов			
Населенный пункт	Год образования	Количество населения	Главное производственное предприятие
Кангалассы	1957	1779	Добыча угля
Жатай	1920	10135	Жатайский судоремонтно-судостроительный завод и нефтебаза
Табага	1958	3360	Лесокомбинат
Хатассы	1950	5951	Молочное скотоводство, свиноводство, земледелие
Якутск	1632	318 768	ДСК, ГРЭС, ТЭЦ, ЯКСМК и т.д.

В зависимости от интенсивности антропогенного воздействия, ландшафтных и почвенных геохимических условий, основные физико-химические свойства почв исследованных участков носят разнообразный характер. Так, например почвенная реакция среды, на исследуемых участках, колеблется от щелочной до сильнощелочной ($pH=7,2-8,4$), максимальные значения установлены на территории Жатая и Якутска, что свидетельствует о сильном антропогенном воздействии (рисунок 1). Содержание органического вещества, так же неравномерно по точкам исследования, в п. Кангалассы содержание гумуса достигает максимальных значений (5,2%), что объясняется наличием угольной пыли.

В остальных населенных пунктах содержание гумуса среднее (3,4-4,5%), за исключением территории п. Жатай и г. Якутска, где содержание гумуса низкое и очень низкое – в районе 2%.

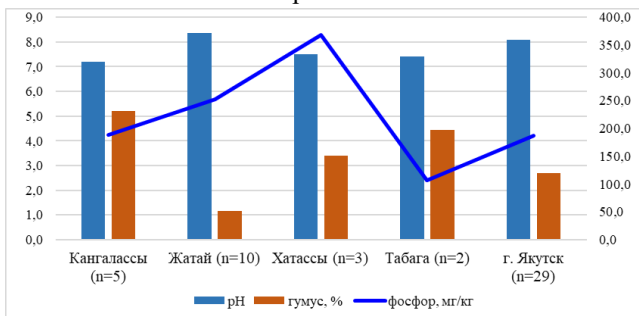


Рисунок 1. Распределение основных физико-химических свойств на территории исследования

Известно, что чем выше содержание гумуса и фосфора, тем плодороднее почва. Таким образом, высоким плодородием из изученных населенных пунктов обладают почвы п. Хатассы, которые содержат достаточное количество органического вещества и высокое содержание фосфора (368,3 мг/кг).

Микроэлементные характеристики почвенного покрова на исследуемых территориях представлены по результатам анализа подвижных и валовых форм нахождения химических элементов. Анализ данных 2019 г. в целом сопоставим по абсолютным содержаниям всех определяемых микроэлементов. Выявлено качественное увеличение микроэлементного спектра и коэффициентов концентрации у свинца, марганца и меди. Спектр из элементов – Mn, Cu, Cr, Zn и Ti подтверждает выводы предыдущих лет исследований и характеризует почвы долины Туймаада, причем их накопление отмечается как в валовых, так и в подвижных формах. Кроме этого, как и в предыдущие года исследований, отмечено превышение нормативов ПДК для валовых форм по Mn (в 2,7 раз), Zn (в 1,2 – 1,9 раз) и Pb (в 3-6 раз).

Для оценки общего эколого-геохимического состояния почв и почвогрунтов на территории г. Якутск рассчитаны коэффициенты суммарного загрязнения почвенного покрова по содержанию валовых и подвижных форм микроэлементов. Суммарный показатель загрязнения почвенного покрова по содержанию подвижных форм колеблется в достаточно широком диапазоне. На большей части исследованных участков территории г. Якутска в 2019 г. отмечен допустимый уровень загрязнения по суммарному показателю загрязнения почвенного покрова. Значение варьировали от $Z_c=2,6 - 15,7$, с коэффициентами концентрации $K_k=1,6-2,2$.

3. Выводы

Таким образом, по состоянию основных физико-химических показателей почвенного покрова, наиболее оптимальными характеристиками отличились пробы почв, отобранные с территории п. Хатассы, на остальных участках наблюдается снижение плодородия и повышение щелочности реакции почвенной среды. По микроэлементному составу наблюдается превышение содержания таких элементов как свинец, марганец и медь. Наиболее деградированным и загрязненным тяжелыми металлами почвенным покровом отличается город Якутск.

4. Литература:

- [1] Legostaeva Y.B., Sivtseva N.E., Ksenofontova M.I. Ecological-geochemical specifics of the formation of urban ecosystems // Applied environmental problems of Yakutsk: collection of scientific papers. — Novosibirsk: Nauka, 2017. — С. 55—64.
- [2] Legostaeva Y.B., Makarov V.S., Sivtseva N.E. Ecological and geochemical assessment of the territory of Yakutsk and forecast of further development of the situation/ The scientific solution to the key problems of development of the city of Yakutsk. — Yakutsk: publishing house «Sphera», 2010. — P. 185-190.

УДК 553.495:504

РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОБСТАНОВКА ЗОЛОТО-УРАНОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЛУННОЕ В ЮЖНОЙ ЯКУТИИ

Петр Собакин, Яков Герасимов, Алексей Горохов
ФГБУН Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН,
677980, Россия, г.Якутск, пр.Ленина, 41

RADIOECOLOGICAL SITUATION OF THE LUNNOYE GOLD AND URANIUM DEPOSIT IN SOUTHERN YAKUTIA

Peter Sobakin, Yakov Gerasimov, Alexey Gorokhov
Institute of biological problems of cryolithozone SB RAS,
41 Lenin ave., Yakutsk, 677980, Russia

Annotation. The results of radioecological survey of the territory of the Lunnoye gold and uranium deposit are presented. It is shown that extraction of gold from radioactive ore by heap leaching under natural conditions leads to an expansion of the area with an increased value of the gamma radiation dose rate. Ore stacks formed during the development of the deposit immediately become uncontrolled sources of radioactive contamination of the environment after they appear on the surface of the day. The concentration of natural

radionuclides (uranium, radium, and radon) in the air, bottom sediments, soils, and plants significantly exceeds their background levels in the impact zone of ore stacks. It was found that the average specific activity of uranium in ore stacks corresponds to that in solid radioactive waste.

1. Введение

В настоящее время на участке месторождения Лунное Федоровской рудной зоны Эльконского урановорудного района закрытое акционерное общество (ЗАО) Лунное проводит опытно-промышленные испытания переработки золото-браннеритовых руд способом кучного выщелачивания. Основными целями испытаний являются подтверждение показателей извлечения золота и урана способом кучного выщелачивания в объеме крупнотоннажной пробы. В начале разработки месторождения технологическая схема переработки руды менялась и было принято решение, что из сформированных рудных штабелей извлекать только золото, а добычу урана отложить на неопределенное время. Целью настоящего исследования является изучение радиологической обстановки в зоне воздействия опытно-промышленного предприятия по добыче золота ЗАО Лунное.

2. Результаты и обсуждение

На территории промплощадки, где расположены отработанные рудные штабеля, проведена площадная радиометрическая съемка (50x25 м) с помощью радиометра СРП-68-01 и спектрометра МКС-АТ6801Д, составлением карт изолиний мощности экспозиционной дозы и концентраций естественных радионуклидов (ЕРН) (рис). Сопоставление карт показывает, что вариации мощности дозы гамма-излучения на поверхности хорошо совпадают с изменениями концентраций ^{40}K и ^{238}U , что связано с особенностями генезиса метасоматических руд. В пределах территории радиометрической съемки техногенная радиоактивная зона с повышенной мощностью дозы гамма-излучения (<30 мкР/ч) занимает большую часть площади – 70,1 % (0,12 км²). На поверхности рудных отвалов величина мощности дозы варьирует от 72 до 320 мкР/ч. При этом концентрация ^{40}K в мелкоземе изменяется от 5,3 до 13,7 $\cdot 10^{-4}$ %, ^{238}U – от 30,7 до 216 $\cdot 10^{-4}$ %, а ^{232}Th – от 5,6 до 33,8 $\cdot 10^{-4}$ %. Предполагается, что отработанные рудные штабеля на месторождения Лунное будут использованы через некоторое время для извлечения урана. В связи с

этим на основе существующих положений в основных санитарных правилах обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2009) и нормах радиационной безопасности (НРБ-99/2010) их невозможно отнести к радиоактивным отходам [1, 2]. На стенках карьера в обнаженной руде и отвалах пород бывшей геологоразведочной штольни мощность дозы гамма-излучения изменяется от 70 до 1200 мкР/ч. В тоже время на водораздельных пространствах в естественных обнажениях и развалинах горных пород (граниты, гранито-гнейсы и кристаллические сланцы) величина мощности дозы варьирует от 13 до 340 мкР/ч. При этом концентрация ^{40}K в породах изменяется от 2,4 до $8,1 \cdot 10^{-4}$ %, ^{238}U – от 0,5 до $141 \cdot 10^{-4}$ % и ^{232}Th – от 4,5 до $214 \cdot 10^{-4}$ %. При разных значениях мощности дозы гамма-излучения содержание радона в воздухе над отвалами варьирует от 37 до 559 Бк/м³, а плотность его потока с поверхности от 90 до 7854 мБк/с·м² и более. Полученные величины существенно превышают фоновые концентрации радона в открытом воздухе, которые обычно изменяются от 2 до 6 Бк/м³, а средняя плотность его потока с поверхности земли составляет примерно 16 мБк/с·м² [3]. Содержание ^{238}U в воде р. Юхухта и её притоках – ручьях Безымянный, Лунный, Горюн изменяется в пределах значений регионального гидрохимического фона - $0,7-5,8 \cdot 10^{-7}$ г/л. На обследованных водоисточниках содержание ^{222}Rn в воде варьирует в пределах 2-97 Бк/л. При этом наиболее высокое содержание радона обнаружено в подземных водах скважин, приуроченных к водоразделу руч. Безымянный.

В целом, в скважинных водах концентрация радона в 7-48 раз больше, чем в водах поверхностных водотоков. Наибольшее содержание урана в илистых донных отложениях зафиксировано в руч. Горюн, руч. Лунный, а радия в руч. Безымянный. Как известно эти места отбора проб находятся под воздействием массивов высокорadioактивных гранитизированных пород и штабелированных радиоактивных руд. В аллювиальных почвах высокие концентрации урана и радия зафиксированы на разрезах заложенных в поймах руч. Безымянный и р. Юхухта на разных расстояниях (0,3, 1,9 и 2,3 км) от полигона выщелачивания по вектору стока. Содержание урана в золе образцов растений (ива, иван-чай) собранных с рудных отвалов изменяется от 13 до $38 \cdot 10^{-4}$ %, а ^{226}Ra – от 188 до $697 \cdot 10^{-11}$ %, что в 6-18 раз превышает их фоновые концентрации [3-6]. Повышенная концентрация урана и радия в гидрофильных мхах обусловлено аккумуляцией их из водной среды,

поступающей в составе жидкого и твердого стоков [7]. По мере удаления от гранитных массивов и источников загрязнения концентрация урана и радия в золе мхов закономерно уменьшается. Для калия и тория такой закономерности не обнаруживается.

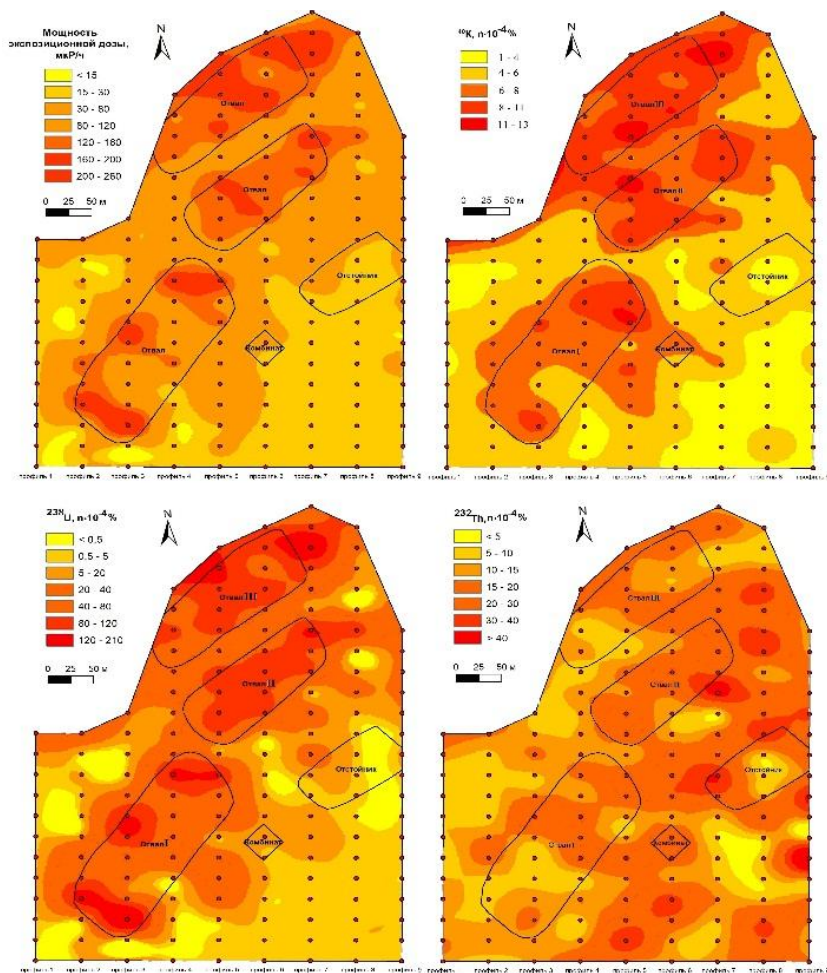


Рисунок. Мощность дозы и концентрация ЕРН на промышленной площадке.

3. Выводы

В районе разработки золото-уранового месторождения Лунное значительные выходы на дневную поверхность гранитизированных и метасоматических измененных пород с повышенным естественным радиационным фоном создают исходно сложную радиоэкологическую обстановку. Процесс разработки месторождения, сопровождавшийся формированием рудных штабелей, отвалов вскрышных пород и карьеров не улучшил радиоэкологическую обстановку района. В настоящее время отработанные рудные штабеля стали бесконтрольными источниками радиоактивного загрязнения природной среды.

4. Литература:

- [1] 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 p (in Russian).
- [2] 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 p (in Russian).
- [3] Sobakin P.I., Chevychelov A.P., Dyachkovsky A.P. Radon migration in the landscapes of the Elkon uranium ore region // Ecology. 2011. no. 3. pp. 229-232 (in Russian).
- [4] Sobakin P.I., Molchanova I.V. Radioecological inspection of uranium deposit area with technogenic landscape violation in "Sakha" Republic (Yakutia) // Russian journal of nondestructive testing. 1994. no. 9. pp. 74-79 (in Russian).
- [5] Sobakin P.I., Molchanova I.V. Mobility of natural radionuclides in the soil and pland cover under conditions of technogenic pollution // Russian Journal of Ecology. 1996. vol. 27. no. 1. pp. 27-29 (in Russian).
- [6] 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).
- [7] Sobakin P.I. Accumulation of heavy natural radionuclides by mosses of southern Yakutia // Siberian ecological journal. 2002. no. 1. pp.29-34 (in Russian).

УДК 911.6:551.525

**КАРТА ПАРАМЕТРОВ СЛОЯ ГОДОВЫХ
КОЛЕБАНИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ КРИОЛИТОЗОНЫ
ТЕРРИТОРИЙ ВОСТОЧНОЙ АРКТИКИ РОССИИ
МАСШТАБ 1:2500000**

Владимир Спектор, Алена Шестакова, Ярослав Торговкин
ФГБУН Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН,
677010, Россия, г. Якутск, ул. Мерзлотная, 36

**LAYER PARAMETERS MAP OF ANNUAL
FLUCTUATIONS OF THE CRYOLITZONE
TEMPERATURE OF THE EASTERN ARCTIC
TERRITORIES OF RUSSIA SCALE 1: 2,500,000**

Vladimir Spector, Aliona Shestakova, Yaroslav Torgovkin
Melnikov Permafrost Institute, Siberian Branch, Russian Academy of
Sciences, 36 Merzlotnaya st., Yakutsk, 677010, Russia

Annotation. Thermal measurements of permafrost parameters within the layer of annual fluctuations are limited in the region. The present study has shown that the thermal parameters below the layer of annual temperature fluctuations are constant or, occasionally, exhibit little variation. As a result, mean annual ground temperatures are equal to temperature at the bottom of the layer of annual fluctuations. To determine the ground thermal regime (mean annual ground temperature), a set of cartograms from the Manual for Predicting Ground Temperature Regime Yakutia [1] was used. A database was produced characterizing all polygons of the map area.

To identify the features of the composition of the soils of the layer of annual temperature fluctuations, a map of the genetic types of Quaternary sediments was constructed, which differs significantly from similar maps of previous researchers. A new type of Quaternary sediment, diluvial [2, 3, 4], previously unknown in the region, is highlighted on this map. The main outcome of this work is the electronic map of permafrost

temperatures (temperature at the bottom of the layer of annual temperature fluctuations equal to mean annual temperature) in ArcGis10 format.

1. Введение

Целью работы является выявление пространственных закономерностей изменения строения и параметров слоя годовых колебаний температуры (СГКТ), установления количественной характеристики основных параметров этого слоя (температуры и глубины залегания) и зависимостей параметров этого слоя от факторов, контролирующих его изменение (литологического состава, геоморфологического положения, температуры приземного слоя воздуха, толщины снежного покрова, заболоченности и др.) арктических территорий на востоке России. Для оценки основных параметров СГКТ был впервые применен «комплексный подход». В его рамках используется несколько методов для установления параметров СГКТ на отдельно взятом участке (полигоне): 1) метод эталонных участков – получение информации путем из прямого сопоставления анализируемого участка и эталона, обладающих сходными морфоструктурно-ландшафтными и (как следствие литолого-генетическими особенностями четверичных отложений) признаками; 2) ландшафтный метод – получение информации, следующий из данных мерзлотно-ландшафтных исследований [5], которые сопровождаются данными о температурах на подошве СТС или СГКТ; 3) метод картограмм [1] – получение характеристики, СГКТ путем определения параметров из картограмм, составленных для территории РС (Я) по типовым разрезам верхней части криолитозоны с учетом теплофизических свойств грунтов СГКТ, разным мощностям снегового покрова, и температурных метеонаблюдений; 4) вычислительный метод – вычисление параметров СГКТ с помощью теплофизических расчетов в отдельно взятых точках для контроля информации, полученной выше перечисленными методами.

2. Результаты и обсуждение

Впервые построена карта параметров слоя годовых колебаний температуры криолитозоны (СГКТ) территорий восточной Арктики России. Для рассматриваемого температурного поля предварительно

можно наметить такие характерные особенности: а) выделены полигоны лито-генетически однотипных отложений, слагающих слой годовых колебаний температур и с помощью указанных методов охарактеризованы температуры на его подошве. Указаны пределы температур в слое годовых колебаний в пределах выделенных полигонов. На составленной карте четко выявлена широтная и высотная поясность криолитозоны региона и поля распространения СГКТ с наиболее высокими и низкими температурами. Выявлены области наиболее низких температур, к которым относится высокогорье хребтов Верхоянского и Черского и, в особенности, заключенное между ними Яно-Индигирское нагорье и Приморская низменность. Площади наиболее высоких температур криолитозоны представляют с собой равнины, открытые для поступления воздушных масс со стороны Атлантики и Тихого океана; б) выявлена мозаичная структура температурного поля СГКТ, которая обусловлена как ландшафтными условиями, так и предшествующими современности крупными географическими событиями; диапазон температур, которые могут быть встречены в пределах отдельных полигонов составляет $-2 \div -11^{\circ}\text{C}$, а на отдельных участках северной части территории установлены нижние пределы температур до -13°C ; в) для северной части территории, по температурным замерам в скважинах на эталонных участках, наблюдается нестационарное температурное поле; г) нередко отмечается обратный (понижение, а не повышение) градиент температур ниже подошвы СГКТ; г) главные особенности структуры температурного поля СГКТ связаны с широтной климатической поясностью и особенностями новейшей тектоники, и климатическими событиями на новейшем этапе региона.

3. Литература:

- [1] Feldman, G.M., Tetelbaum, A.S., Shender, N.I. and others. A guide to forecasting the temperature regime of soils in Yakutia. Yakutsk: IMZ SB AS USSR, 1988, 240 pp.
- [2] Anthropogen of the Taimyr. Moscow: Nauka, 1982, 184 pp.
- [3] Map of Quaternary formations of the territory of the Russian Federation. Scale 1:2,500,000. St. Petersburg: VSEGEI Publishing House, 2014.

- [4] Bolshiyarov, D.Yu. Passive glaciation of the Arctic and Antarctica. St. Petersburg: AANII, 2006, 295 pp.
- [5] Alexander Fedorov, Nikolay Vasilyev, Yaroslav Torgovkin, Alena Shestakova, Stepan Varlamov and others. Permafrost-Landscape Map of the Republic of Sakha (Yakutia) at Scale 1:1,500,000 // Geosciences, 2018, 8, 465, doi:10.3390/geosciences8120465.

УДК 551.345

ТЕПЛОВОЙ РЕЖИМ ПОРОД ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СЦЕНАРИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

Никита Тананаев¹, Павел Котов², Павел Николаев²

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

² ФГБОУ ВПО Московский государственный университет им. М.В.
Ломоносова, 119991, г. Москва, Ленинские горы, ГСП-1

PERMAFROST THERMAL REGIME IN CENTRAL YAKUTIA UNDER CLIMATE CHANGE SCENARIOS

Nikita Tananaev¹, Pavel Kotov², Pavel Nikolaev²

¹ Melnikov Permafrost Institute, Siberian Branch, Russian Academy of
Sciences, 36 Merzlotnaya st., Yakutsk, 677010, Russia

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

Annotation. Future climate forecasts by CNRM-CM5 model were used in thermal regime modeling of permafrost in central Yakutia under three major climate change scenarios (RCP2.6, RCP4.5 and RCP8.5), running until 2100. Permafrost thermal regime, modeled in QFrost and PFLOTRAN, shows no significant change in mean temperature and active layer depth under RCP2.6 scenario, when CO₂ concentration is kept below 400 ppm. Maintaining CO₂ levels at 500 ppm throughout the XXI c. (RCP4.5) leads to an increase in mean annual ground temperature (MAGT) at 1 m depth from -0.97°C to +0.65°C.

Under ‘business-as-usual’ case and current CO₂ emission rate continued until 2100, permafrost degradation in the upper 15 m layer is expected, starting around 2050-2060. By 2100, MAGT at 1 m depth is expected to increase above +3.1°C, or by more than 4°C. From 2080 to 2100, non-merging permafrost is developed, with top of permafrost at 8 to 10 m depth, and seasonally frozen layer depth varying from 2 to 3 m. In the areas of intrapermafrost taliks, where permafrost is already fragmented and double layered, the upper permafrost layer is expected to disappear by the end of the century.

1. Введение

Национальный план адаптации к изменениям климата, принятый в России в конце 2019 г., предусматривает проведение научных исследований, посвященных в том числе прогнозу состояния многолетнемерзлых пород (ММП) и оценке перспектив деградации ММП в условиях нестационарного климата. В рамках ранее выполненных работ [1] нами была создана модель геологической среды, использованная для оценки современного теплового режима ММП правобережья р. Лены в районе Якутска, в пределах IV надпойменной (Бестяхской) террасы. В данной работе рассматриваются результаты моделирования теплового режима ММП данной территории на период до 2100 г.

2. Материалы и методы исследований

Прогноз климатических изменений в центральной Якутии в период до 2100 г. основан на результатах климатического моделирования. В работе использована модель общей циркуляции атмосферы и океана CNRM-CM5 [2], разработанная Национальным центром метеорологических исследований Франции для участия в проекте сравнения связанных моделей общей циркуляции океана и атмосферы CMIP5. Модельные прогнозы представлены для трёх сценариев изменения эмиссии климатически-релевантных газов: RCP 2.6, RCP 4.5 и RCP 8.5. Результаты модельных расчетов находятся в открытом доступе в нескольких «зеркальных» репозиториях; для данного проекта данные скачивали с портала ESGF Ливерморской национальной лаборатории США, доступного по адресу: <https://esgf-node.llnl.gov/search/cmip5/>. 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).

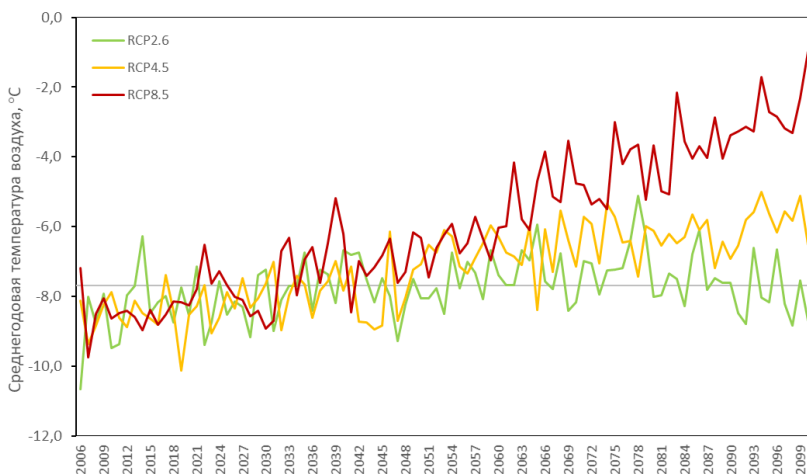


Рисунок 1. Рост среднегодовой температуры воздуха при различных сценариях глобальной эмиссии климатически-релевантных газов на территории центральной Якутии по данным модели CNRM-CM5 (горизонтальная линия соответствует среднегодовой температуре -7.7°C).

Сценарная климатическая динамика в центральной Якутии.

Сценарии RCP (Representative Concentration Pathway) определяют дополнительный климатический форсинг вследствие эмиссии парниковых газов к 2100 г.: соответственно, 2,6, 4,5 или 8.5 Вт/м^2 .

В сценарии RCP2.6 климатический форсинг снижается с 3.0 Вт/м^2 до 2.6 Вт/м^2 после 2070 г., вслед за чем снижается и среднегодовая температура воздуха. В сценариях RCP4.5 и RCP8.5 среднегодовая температура воздуха возрастает линейно, достигая -5.8° (RCP4.5) и -2.7°C (RCP8.5) в последнюю декаду XXI в. (Рисунок 1).

Значительные изменения характерны для зимних месяцев, периода с ноября по февраль, когда среднемесячная температура воздуха становится на $8...14^{\circ}\text{C}$ выше современной климатической нормы, а также для октября, который в сценарии RCP8.5 систематически становится месяцем с положительной средней температурой.

Прогноз состояния ММП центральной Якутии в XXI в. Реакция криолитозоны центральной Якутии на климатические изменения различается в зависимости от прогнозного климатического сценария.

Сценарий RCP2.6 – наиболее умеренный; фактически, после незначительного роста температуры воздуха, после 2070 г. начинается её снижение до современных уровней к 2100 г. В этих условиях среднеголетняя мощность сезоннопротаивающего слоя не превышает современных значений – 2,8 м, а горизонт нулевых годовых теплооборотов находится на глубине около 14 м. В переходные месяцы температура пород в верхней части разреза остается практически неизменной; основной рост температуры ММП приходится на зимние и летние месяцы.

Сценарий RCP4.5 предполагает увеличение к 2100 г. мощности слоя сезонного протаивания практически вдвое, до 5-7 м, а также существование в течение зимы мощного талого горизонта у подошвы слоя сезонного протаивания, полностью промерзающего в марте-апреле. Ниже по разрезу сохраняется мерзлое состояние пород с постоянной температурой около -0.1°C .

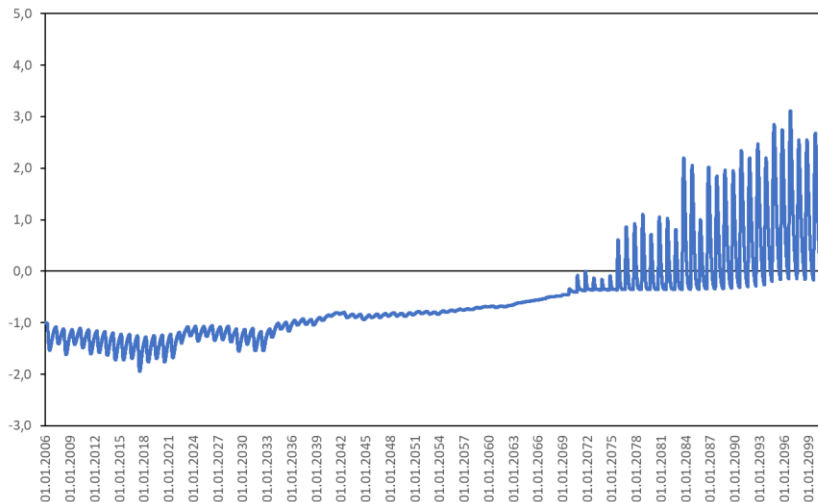


Рисунок 2. Динамика среднесуточной температуры пород на глубине 5 м в условиях постепенной деградации ММП в период до 2100 г.; сценарий RCP8.5, модель PFLOTRAN.

Сценарий RCP8.5 соответствует устойчивому росту содержания CO₂ в атмосфере до величин около 950 ppm к 2100 году. В случае реализации этого сценария в период с 2050 по 2060 г. начнется направленная деградация ММП в пределах Бестяхской террасы (Рисунок 2). К 2100 году здесь ожидается появление несливающейся мерзлой толщи, подошва которой будет расположена около современного слоя нулевых годовых теплооборотов, в интервале глубин от 10 до 14 м. В этих условиях мощность слоя сезонного промерзания составит от 2.5 до 3.5 м; к концу июня этот слой будет полностью оттаивать.

3. Заключение

Модельные расчеты сходятся в главном: при сохранении современных темпов эмиссии климатически-релевантных газов (сценарий RCP8.5) на горизонте 2100 г. деградация мерзлоты в центральной Якутии достигнет значительных масштабов. В области распространения межмерзлотных таликов, где влияние повышения температуры воздуха накладывается на конвективный теплоперенос в связанных межмерзлотных водоносных горизонтах, верхний горизонт ММП перестанет существовать приблизительно к концу расчетного периода.

4. Благодарности

Исследование выполнено при совместной финансовой поддержке РФФИ и Правительства РС(Я), проект №18-45-140029.

5. Литература:

- [1] Tananaev, N.I., Kotov, P.I., Gagarin, L.A., Varlamov, S.P. Modelling thermal and water exchange in intrapermafrost taliks of Bestyakh terrace of the Lena River // In: Abstracts, 'Geology and Mineral resources of North-eastern Russia', Vol. 2. Yakutsk: NEFU Publ., pp. 214–217 (in Russian).
- [2] Voldoire, A., Sanchez-Gomez, E., Salas y Mélia, D. et al. The CNRM-CM5.1 global climate model: description and basic evaluation // Climate Dynamics, 2013, vol. 40, pp. 2091–2121.

ЛЕДОГРУНТОВЫЕ ЖИЛЫ

Яна Тихонравова

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

COMPOSITE WEDGES

Yana Tikhonravova

Melnikov Permafrost Institute, Siberian Branch, Russian Academy of
Sciences, 36 Merzlotnaya st., Yakutsk, 677010, Russia

Annotation. Composite wedges are presented as vertical wavy bends of ice and soil. Ice veins and segregated ice were revealed within the composite wedges according to structural and textural features under polarized light. The ice veins compose «clean» ice bends and the segregated ice compose ice-ground bends. The ice veins indicative the predominance of the frost cracking process. The segregated ice indicative to thawing process and participation of groundwater due freezing. The composite wedges are formed by repeated melting of the initial ice wedge and create of cavities with liquid soil.

1. Введение

Ледогрунтовые жилы в работе Н.Н. Романовского [1] не были выделены в самостоятельную группу полигонально-жильных структур, поскольку их формирование недостаточно ясно. В.В. Баулин [2] полагал, что их образование связано с затеканием в морозобойные трещины разжиженного грунта и последующим его замерзанием с сегрегационным льдовыделением. Р.Е. Розенбаум и А.Д. Маслов [3] и Т.Н. Каплина [4], связывали образование ледогрунтовых жил с протаиванием грунта вокруг ледяной жилы из-за отепляющего воздействия полых вод и последующим замерзанием этой зоны с сегрегационным льдовыделением. Е.М. Катасонов [5] предполагал, что такие жилы формируются, если морозобойные трещины пересекают вмещающую породу в новых участках.

Несмотря на проводившиеся наблюдения за подобными ледогрунтовыми формами, фактических данных о них мало, а внешняя схожесть с

песчанно-ледяными жилами может ввести в заблуждение. Для решения дискуссионных вопросов о формировании ледогрунтовых жил были изучены их морфология и структурно-текстурные характеристики на Севере Гыдана.

Работа опирается, помимо традиционных фациально-генетических методов, на петрографический метод изучения льда в поляризованном свете [6]. Вычисление кристаллографических параметров проведено в программе «Crystal» [7].

2. Криолитологическое строение разреза

На Севере Гыданского полуострова было изучены останцы II озёрно-аллювиальной террасы и крупного хасырея (название аласа в Западной Сибири). Останцы сложены, в основном, сарганскими песчанными аллювиальными отложениями, перекрыты озёрными отложениями и покровным голоценовым торфом. Хасырей заполнен в нижней части позднесарганскими супесчанными пойменными отложениями, перекрыт голоценовыми песками субэаральных делювиальных и аллювиальных осадков и покровным торфом [8]. В отложениях были вскрыты 2 генерации сингенетических полигонально-жилных структур, представленных ледяными и ледогрунтовыми жилами, а также по данным Ю.К. Васильчука [9] пластово-линзовидные ледяные образования.

2. Структурно-текстурные характеристика ледогрунтовых жил.

На останцах террасы были изучены фрагменты ледогрунтовых жил, в хасырее – вскрыта ледяная жила с ледогрунтовыми элементами строения. Текстура ледогрунтовых жил представлена чередованием вертикально-волнистых прожилков грунта и льда. Ледяные прожилки выполнены кристаллами, повторяющими волнистость грунтового прожилка, что характерно для сегрегационного льда. Внутри минеральных прожилков отмечены мелкие кристаллы сегрегационного льда, формирующего здесь микролинзовидную криогенную текстуру [8]. Ледяная жила с ледогрунтовыми элементами строения в ледяной части выполнена кристаллами элементарных жилок разной степени перекристаллизации. В ледогрунтовой части была аналогична по строению вышеописанным ледогрунтовым фрагментам [8].

3. Формирование ледогрунтовых жил

По результатам комплексных исследований [8] было установлено, что формирование ледогрунтовых жил связано с проявлением термокарста. Формирование ледогрунтовых элементов строения связано с локальным протаиванием и образованием полостей в теле ледяных жил. Эти полости заполнялись водонасыщенным грунтом с поверхности и медленно промерзали с двух сторон от ледяных стенок полости в жиле. При двустороннем промерзании в водонасыщенном грунте происходило сегрегационное льдовыделение с миграцией слабосвязанной воды к фронту промерзания и формированием различных криогенных текстур. Образование таких ледогрунтовых элементов неоднократно повторялось на разных этапах роста полигонально-жильных льдов, что привело к образованию ледогрунтовых жил.

4. Выводы

Ледогрунтовые жилы на севере Гыдана продолжали своё развитие как в холодные периоды за счёт морозобойного растрескивания, так и в периоды относительного потепления и развития термокарстовых процессов в сартанское и голоценовое время. На формирование и строение жил влиял режим обводнения поймы и хасырьев, т.е. изменения фациальной аллювиальной обстановки при сингенетическом промерзании отложений.

В дельте р. Лена и о. Бол. Ляховский В.В. Куницким было отмечено широкое распространение полигонально-жильных льдов с песчано-ледяными окончаниями [10]. Здесь такие формы были отнесены их к песчано-ледяным жилам, которые образуются только за счёт морозобойного растрескивания и характеризуют сухих условиях с интенсивной дефляцией и ветровым перераспределением снега, подобно условиям в Антарктиде.

Ввиду внешней схожести этих структур, необходимо продолжение их исследований, поскольку они несут разную информацию о условиях палеосреды.

5. Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-05-60222.

6. Литература:

- [1] Romanovskiy N.N. Formirovanie poligonal'no-zhil'nykh struktur. Formation of Polygonal Wedge Structures. Novosibirsk: Nauka Publ., 1977, 216 pp. (In Russian).
- [2] Baulin V.V. Ice wedge formations and paleogeography of the Upper Pleistocene (western part of the West Siberian lowland). Merzlotnye issledovaniya. Permafrost research. Issue 7. Moscow: MGU, 1967, pp. 174-184. (In Russian).
- [3] Rozenbaum G.E., Maslov A.D. Permafrost-facies structure of modern fluvial deposits of the Omoloy river. Podzemnyy led. Underground ice. Issue III. Moscow: MGU, 1967, pp. 70–93. (In Russian).
- [4] Kaplina T.N. The first stage of ice wedges formation. Merzlotnye issledovaniya. Permafrost research. Issue XI. Moscow: MGU, 1971, pp. 168-171. (In Russian).
- [5] Katasonov E.M. Litologiya merzlyh chetvertichnyh otlozheniy (kriolitologiya) Yanskoy primorskoy nizmennosti. Lithology of Frozen Quaternary Deposits (Cryolithology) of the Yana lowland. Moscow: PNIIS, 2009, 176 pp. (In Russian).
- [6] Savel'ev B.A. Rukovodstvo po izucheniyu svoystv l'da. Guide to the study of the ice characteristic. Moscow: MSU, 1963, 198 pp. (In Russian).
- [7] Tikhonravova Ya.V., Slagoda E.A., Rogov V.V., Galeeva E.I., Kurchatov. V.V. Texture and structure of the Late Holocene ground ice in the Northern West Siberia. // Ice and Snow. 2017, vol. 57, no. 4, pp. 553-564. (In Russian). doi: 10.15356/2076-6734-2017-4-553-564.
- [8] Tikhonravova Ya.V., Lupachev A.V., Slagoda E.A., Rogov V.V., Kuznetsova A.O., Butakov V.I., Simonova G.V., Taratunina N.A., Mullanurov D.R. Structure and formation of ice-ground veins of the second lake-alluvial terrace in the North of Gydan in the late Neopleistocene–Holocene // Ice and Snow, 2019, vol. 59, no. 4, pp. 557-570. (In Russian). DOI: 10.15356/2076-6734-2019-4-367.
- [9] Vasil'chuk, Yu.K. Homogeneous and heterogeneous massive ice in permafrost // Earth's Cryosphere, 2011, vol. 15, no. 1, pp. 40–51. (In Russian).
- [10] Kunitskiy V.V. Kriolitologiya nizov'ya Leny. Lithology of the Lena lowland. Yakutsk: Permafrost Institute SB AS USSR, 1989, 162 pp. (In Russian).

УДК 551.510.42

ЗАГРЯЗНЯЮЩИЕ ВЗВЕШЕННЫЕ ВЕЩЕСТВА В АТМОСФЕРЕ ЯКУТСКА

Николай Торговкин, Владимир Макаров
ФГБУН Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН,
677010, Россия, г. Якутск, ул. Мерзлотная, 36

SUSPENDED POLLUTANTS IN THE ATMOSPHERE OF YAKUTSK

Nikolay Torgovkin, Vladimir Makarov
Melnikov Permafrost Institute, Siberian Branch, Russian Academy of
Sciences, 36 Merzlotnaya st., Yakutsk, 677010, Russia

Annotation. The main physical and chemical properties of suspended solids in the atmosphere of Yakutsk, selected in the summer of 2019, were determined on the territory of the city, a geochemical study of suspended solids (SS) in the surface atmosphere, soil and snow cover was carried out. SS entering the surface atmosphere is polydisperse and is a combination of solid particles of different sizes. About 70% of the amount of SS in the atmosphere is related to dust itself, aerosuspensions occupy 20%, and medium-finely dispersed about 10%. Polydisperse SS contains toxic elements: Mn, Co, Cu, Cd, Pb, Zn. The most environmentally hazardous are medium-finely dispersed particles with a high content of elements of the 1st and 2nd toxicity classes Cd, Pb and Cu. The average annual concentration of SS in the air of the city is 1.8 times higher than sanitary standards.

1. Введение

Загрязняющие воздух взвешенные вещества (ВВ) - это дым, сажа, пыль и капельки жидкости, образуются при хозяйственной деятельности и присутствуют в воздухе. Способность ВВ неблагоприятно влиять на здоровье человека была замечена еще пару столетий назад, но лишь исследования последних лет доказали серьезную угрозу здоровью людей. Достоверно установлена связь между уровнем ВВ в атмосферном

воздухе и увеличением суточной смертности [1]. Взвешенные частицы могут быть причиной биологического загрязнения воздуха, то есть содержать вредные микроорганизмы, включающие бактерии, вирусы и грибки. Считается, что ингаляционный путь поступления загрязнений в организм наиболее опасный [2]. Для исследования запыленности приземной атмосферы на территории города было установлено 10 пылесборников. Сбор пыли происходил в период с 17 июля по 15 октября 2019 г. Фоновый пункт наблюдений находился на стационаре «Гуймаада» ИМЗ СО РАН. Также, были использованы данные Якутской УГМС о концентрации ВВ в атмосферном воздухе на территории г. Якутска. Для выявления особенностей химического состава городских почв в 2019 году, было отобрано 180 проб.

2. Результаты

По данным анализа материала, собранного пылесборниками, ВВ в приземной атмосфере Якутска полидисперсны и представляют собой совокупность твердых частиц разного размера. В разных частях города дисперсный состав ВВ, в основном относится к собственно пыли, фракция ВВ₁₀₋₁₀₀ занимает около 70% объема ВВ. Частицы крупной фракции ВВ_{>100} – аэросуспензии, на территории города распределяются неравномерно, занимая в среднем около 20% количества ВВ, но в местах высокой транспортной нагрузки объём крупной фракции возрастает до 43%. Частицы ВВ₁₀ – средне-мелкодисперсной фракции распределены наиболее равномерно, их количество в среднем составляет около 10% ВВ. Адсорбируя на своей поверхности токсичные вещества, ВВ₁₀ могут находиться во взвешенном состоянии несколько суток и переноситься на десятки километров от источника воздействия, представляя серьезную угрозу для здоровья населения [3].

Важное значение имеет химический состав ВВ, обуславливающий раздражающее, токсическое, аллергическое, канцерогенное действие на организм. ВВ насыщенные токсичными элементами быстро проникают в организм и вызывают острые отравления. Как в ВВ₁₀₋₁₀₀, так и в РМ₁₀ присутствуют элементы третьего (Mn), второго (Co, Cu) и даже первого класса опасности (Cd, Pb, Zn).

Таблица 1

**Распределение химических элементов во ВВ приземной атмосферы
Якутска, мг/кг**

Химические элементы	Содержание				Стандарт. отклон.	ПДК _{почв} [4]
	Миним.	Максим.	Среднее арифм.	Среднее геомет.		
Li	11,31	14,98	13,01	12,96	1,19	50-100
Be	1,33	1,67	1,47	1,47	0,10	-
Sc	4,85	7,08	5,87	5,82	0,89	-
V	35,00	58,22	45,89	45,38	7,30	150
Cr	16,38	42,03	26,90	25,99	7,51	100
Co	6,93	16,33	10,81	10,33	3,49	5
Ni	12,78	17,51	15,17	15,12	1,36	50
Cu	12,94	40,71	28,51	26,79	9,50	33
Zn	77,19	157,41	111,49	108,32	28,15	55
As	2,43	3,94	3,19	3,15	0,57	2-10
Ag	0,020	0,267	0,063	0,041	0,079	-
Cd	0,071	0,208	0,115	0,107	0,050	0,5-2
Sn	0,714	1,733	1,198	1,166	0,293	50
Sb	0,649	2,600	1,620	1,477	0,647	4.5
W	0,750	1,140	0,923	0,915	0,129	-
Pt	0,004	0,045	0,021	0,016	0,014	-
Pb	21,5	37,0	26,883	26,481	7,44	32
Hg	0,008	0,020	0,013	0,013	0,015	2,1
Tl	0,300	0,390	0,333	0,332	0,074	10
Th	3,700	10,600	5,683	5,337	0,930	-

Содержание большинства этих элементов во ВВ ниже санитарных норм для почв населенных пунктов. Концентрация даже такого распространенного в почвах города металла, как свинец, в большинстве проб пылевой фракции РМ₁₀₋₁₀₀, не достигает уровня ПДК_{почв}. Содержание других опасных токсикантов (Zn, As) во всех пробах ВВ превышает санитарные нормы для почв (таблица 1).

3. Выводы

Загрязнение атмосферного воздуха Якутска взвешенными веществами ежегодно превышает санитарные нормы в среднем в 1,8 раз, а в летний период – в 2,1 раза.

Поступающие в приземную атмосферу ВВ полидисперсны и представляют собой совокупность твердых частиц разного размера. Наиболее опасны средне-мелкодисперсные ВВ₁₀ занимающие около 10% объёма ВВ в атмосфере города и способные проникать в глубокие отделы легких, вплоть до альвеол.

Определен химический состав различных гранулометрических фракций ВВ распространенных в атмосфере города. Как в пылевых, так и в средне-мелкодисперсных ВВ присутствуют токсичные элементы: Mn, Co, Cu, Cd, Pb, Zn.

4. Благодарности

Авторы выражают благодарность ООО «Группа Компаний Синет» и лично А.Г. Томскому, за поддержку наших исследований.

5. Литература:

- [1] Revich B.A., Bykov A.A. Assessment of the risk of mortality of the Russian population from industrial pollution of the air basin. Forecasting problems. М.: 1989, no. 3. PP 147-162.
- [2] Konstantinov A.P. Ecology and health: mythical and real dangers // Ecology and life, 2012, No. 8 - Pages 86-88.
- [3] Urban airborne particulate matter: origin, chemistry, fate and health impacts / Eds.: F. Zereini, C.L.S. Wiseman. Heidelberg: Springer – Verlag Berlin, 2011 656 p.
- [4] National Emissions Inventory 2014. United States Environmental Protection Agency, 2014. URL: <https://www.epa.gov/air-emissions-inventories/2014-national-emissions-inventory-nei-data> (accessed: 15.05.2019).

УДК 551.34:624.139

**ОЦЕНКА ПРИМЕНИМОСТИ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ
ОТКОСОВ ДЛЯ ТЕРМОСТАБИЛИЗАЦИИ
ДОРОЖНЫХ НАСЫПЕЙ В КРИОЛИТОЗОНЕ**

Андрей Чжан

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

**ESTIMATE OF THERMAL INSULATION
APPLICABILITY OF SLOPES FOR THERMAL
STABILIZATION OF ROAD EMBANKMENTS IN THE
PERMAFROST ZONE**

Andrei Zhang

Melnikov Permafrost Institute, Siberian Branch, Russian Academy of
Sciences, 36 Merzlotnaya st., Yakutsk, 677010, Russia

Annotation. The method described provides for the laying of a synthetic heat insulator on the embankment slopes. This creates a cooling effect and promotes the movement of the permafrost table from the basement to the body of the embankment. Thaw depths in permafrost soils under road embankments are calculated analytically with a new method based on approximation of numerical solutions to the 2D Stefan problem. The method allows choosing the required thickness of heat insulation on the embankment slopes to provide the stabilization of the underlying permafrost.

1. Введение

Способ стабилизации мерзлотных условий в основании земляного полотна дорог с помощью теплоизолятора разработан в 2008 г. как средство борьбы с многолетним оттаиванием мерзлых пород в основании железнодорожных и автомобильных насыпей, вызванных тепловым влиянием откосов насыпи [1, 2, 3]. Он заключается в расположении синтетического изолятора по откосам насыпи, что приводит к увеличению мощности слоя сезонного промерзания откоса над слоем его сезонного оттаивания.

До настоящего времени расчет термического сопротивления теплоизоляции осуществлялся численным методом по известным компьютерным программам решения двумерных задач Стефана, что в ряде случаев становится крайне трудоемким. В настоящей работе предлагается аналитический метод расчета, разработанный на основе аппроксимации результатов численного решения этой задачи.

2. Определение глубины оттаивания под насыпью с помощью аналитического расчета

Определение глубины оттаивания под насыпью происходило с помощью ранее полученной зависимости [4], основанной на аппроксимации данных математического моделирования в компьютерной программе «WARM» [5] с помощью метода Брандона [6]:

$$(1) \quad \xi_{sh}^{cl} = 1,1 \cdot \alpha^{0.45} \cdot \beta^{-0.213} \cdot \gamma^{0.571}.$$

$$\text{где (2) } \alpha = \frac{2\lambda_{th}(T_{de}-T_{bf}) \cdot L}{\lambda_f(T_{bf}-T_{or}) \cdot B}, \beta = \frac{T_{bf}-T_0}{T_{bf}-T_{or}}, \gamma = \frac{B}{H}.$$

$$(3) H_{th} = H \cdot \xi_{sh}^{cl}.$$

где λ_{th}, λ_f – коэффициенты теплопроводности грунта земляного полотна, соответственно, в талом и мерзлом состояниях, Вт/(м·°C); $T_{bf}, T_{or}, T_{de}, T_0$ – соответственно, температура начала замерзания, расчетная температура поверхности основной площадки железной дороги или проезжей части и обочин автомобильной дороги, расчетная температура поверхности откоса, расчетная температура поверхности грунта в естественных условиях, °C; B – ширина гребня земляного полотна (основной площадки), м; H – высота земляного полотна, м; L – длина откоса земляного полотна, м; ξ_{sh}^{cl} – относительная глубина оттаивания под бровкой откоса земляного полотна; H_{th} – глубина оттаивания под бровкой откоса, м.

В качестве результатов моделирования принималась глубина оттаивания у бровки откоса после наступления стабильной среднегодовой температуры грунтов основания (стационарного состояния).

Используя данный метод расчета, можно определить критическую толщину теплоизоляционного материала с термическим сопротивлением $R_{ins} = 0,035 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ (например, экструдированный пенополистирол) в разных районах криолитозоны, при которой не будет происходить оттаивание ниже подошвы насыпи высотой 3 м (таблица 1).

Таблица 1

Критическая толщина теплоизоляционного материала на откосе насыпи для предотвращения многолетнего оттаивания ее основания, м

Метеостанция	Толщина экструдированного пенополистирола, м	Глубина оттаивания под бровкой откоса, м	
		при отсутствии теплоизоляции	при наличии теплоизоляции
Салехард	0,16	11,3	2,99
Норильск	0,09	8,5	2,97
Игарка	0,17	12,8	2,98
Воркута	0,14	13,3	2,95
Якутск	0,03	5,5	2,97
Олекминск	0,21	14	2,99
Чернышевский	0,10	7,2	2,99
Чурапча	0,05	7,5	2,99
Чульман	0,08	7,6	2,98
Томмот	0,29	11,6	2,97
Ленск	0,26	11,7	2,98
Амга	0,06	5,9	2,99
Вилюйск	0,09	6,4	2,96

3. Выводы

Представленный метод расчета положения верхней границы многолетнемерзлых грунтов в теле и основании земляного полотна дорог позволяет подобрать необходимую толщину теплоизоляции на откосы, при которой не будет происходить многолетнее оттаивания основания. На его основе было установлено, что теплоизоляция откосов может быть широко использована в дорожном строительстве в разных районах криолитозоны.

4. Литература:

[1] Ashpiz, E.S., Lukin, M.P., Khustalev, L.N., Sholin, V.V., 2008. Dorozhnyanasyr' navechnomerzlykhgruntakh [Railroad Embankment on Permafrost]. Patent No. 2242813. Published, Bull. No. 13. (in Russian)

- [2] Zhang, A.A., Ashpiz, E.S., Khurstalev, L.N., Shesternev, D.M., 2018. A new way for thermal stabilization of permafrost under railway embankment. *Earth's Cryosphere XXII* (3), 59–62.
- [3] Ashpiz, E.S., Khurstalev, L.N., Emelyanova, L.V., Vedernikova, M.A., 2008b. Using of synthetical thermal insulators for conservation of frozen soil conditions in the base of railway embankment. *KriosferaZemli XII* (2), 84–89.
- [4] Zhang A.A., 2019 Thaw depths in permafrost soils under road embankments in the presence of heat insulation on slopes. *Earth`s Cryosphere XXIII* (4), 45–49.
- [5] Emelyanov, N.V., Pustovoit, G.P., Khurstalev, L.N., Yakovlev, S.V., 1994. The WARM Software for Modeling Thermal Interaction of Engineering Structures with Permafrost. Certificate No. 940281; Published by RosAPO. (in Russian)
- [6] Brandon, D.B., 1959. Developing mathematical models for computer control. *J. InstrumentSoc. America (ISA)* 6 (7), 70–73.

УДК 624.139.2

**МЕРЗЛОТНО-ГРУНТОВЫЕ УСЛОВИЯ НА ОБЪЕКТЕ
«РБ №1-НЦМ»**

Татьяна Чжан, Дария Тирская

ФГАОУ ВО Северо-Восточный федеральный университет им. М.К.
Аммосова, 677000, Россия, г.Якутск, ул. Белинского, 58

**PERMAFROST-GROUND CONDITIONS AT THE
OBJECT «NATIONAL CENTER OF MEDICINE»**

Tatiana Chzhan, DariyaTirskaya,

M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, 58 Belinsky st., Yakutsk,
677000, Russia

Annotation. The engineering-geological and geocryological conditions of the territory of the Republican Hospital No. 1- National Center of Medicine are considered. Based on the analysis of the engineering and geological works and engineering and geodetic observations, an assessment is made

of the condition of the soils of the studied area and the deformations of the buildings of the hospital complex

1. Введение

При эксплуатации больших социальных объектов, расположенных в криолитозоне, таких как Национальный центр медицины, необходимо особое внимание оказывать на геотехнический мониторинг объекта, включая геотермические наблюдения за состоянием грунтов основания здания и прилегающей территории, своевременное выявление неблагоприятных экзогенных процессов, контроль за развитием недопустимых деформаций зданий.

2. Основной раздел

Комплекс Республиканской больницы № 1- Национальный центр медицины, расположенного по ул. Сергеляхское шоссе, 4 в г. Якутске, состоит из зданий клинично-диагностического центра (КДЦ), корпусов перинатального и педиатрического отделения, сервис-центра, соединенных галерей.

В геологическом отношении участок сложен верхнечетвертичными аллювиальными отложениями, представленными глинистыми и песчаными грунтами. Мерзлотные условия участка характеризуются сплошным распространением многолетнемерзлых грунтов со сливающимся слоем сезонного оттаивания. По данным бурения 2013 года слой сезонного оттаивания представляют слабозасоленные суглинки ($D_{sal}= 0,600$ д.ед.) с примесью органических веществ ($J_{om}= 0,82$ д.ед.) и температурой начала замерзания $T_{bf}= -1,45^{\circ}C$. Ниже залегают пески пылеватые ($T_{bf} = -0,70^{\circ}C$) и слабозасоленные пески мелкие ($D_{sal}=0,500$ д.ед., $T_{bf}= -1,20^{\circ}C$). Многолетнемерзлая толща представлена слабозасоленными суглинками и супесями с примесью органических веществ ($D_{sal} = 0,802$ д.ед., $J_{om} = 0,051$ д.ед., $T_{bf} = -2,15^{\circ}C$), песками пылеватыми, мелкими и средней крупности (T_{bf} =от $-0,37$ до $-0,52^{\circ}C$).

При строительстве комплекса наиболее сложные инженерно-геокриологические условия на рассматриваемой территории были обнаружены на участке расположения переходной наземной галереи, сервис-центра и лестницы № 6 КДЦ: при инженерно-геологических изысканиях был выявлен криопэг. Для уменьшения негативного

воздействия криопэга вдоль опорных колонн галереи в восточной стороны были установлены замораживающие установки.

Для определения зоны распространения криопэга в ноябре 2013 года была пройдена зондировочная скважина глубиной 11,0 м. Талые грунты и грунтовые воды по результатам бурения в скважине не обнаружены. Засоленность грунтов распространяется до глубины 9,8 м. Температурный режим грунтов основания характеризуется распространением низких значений отрицательных температур, составляет вблизи зоны годовых нулевых амплитуд от $-3,10^{\circ}\text{C}$ до $-4,21^{\circ}\text{C}$.

В разные годы на исследуемых объектах велись наблюдения за деформациями зданий. За период наблюдений с 1993 г. по 2008 г. было выявлено следующее. Деформации лестницы № 6 носят неравномерный характер, амплитуда деформаций составляет 17,7 мм. Между отдельными марками выявлены относительные осадки, превышающие допустимые значения. Амплитуда деформаций по наземной галерее составила 19,0 мм. Относительные осадки между несколькими смежными марками превышают допустимые величины. По графику деформаций за весь период наблюдений видно, что сваи, примыкающих к КДЦ имеют наибольший, но прогрессирующий подъем. В 2008 году по левой части здания сервис-центра, примыкающей к галерее, выявлен подъем фундамента, а в остальной части фундамента осадка.

3. Выводы

На исследуемой территории для получения более полной информации геотехнической обстановки необходимо около исследуемых объектов восстановить ряд утраченных термических скважин. Установить за объектами постоянный мерзлотно-строительный контроль, включающий в себя наблюдение за температурным режимом грунтов основания, наблюдения за осадками фундаментов. Так как ранее проведенные инженерно-геодезические наблюдения выпали на весенний период, то для определения предельных максимальных величин неравномерности осадок необходимо провести наблюдения за деформациями также и в осенний период.

УДК 902.652

МЕТОДИКА РАДИОУГЛЕРОДНОЙ ДАТИРОВКИ ИМЗ СО РАН

Григорий Шапошников, Алексей Галанин, Аэлиита Скрыбина
ФГБУН Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН,
677010, Россия, г. Якутск, ул. Мерзлотная, 36

RADIO-CARBON DATING TECHNIQUE MPI SB RAS

Grigory Shaposhnikov, Alexey Galanin, Aelita Scribina
Melnikov Permafrost Institute, Siberian Branch, Russian Academy of
Sciences, 36 Merzlotnaya st., Yakutsk, 677010, Russia

Annotation. The paper contains the list of the radio-carbon data executed in the Radiocarbon laboratory of the Melnikov Permafrost Institute in 2019. Some unique objects and their ages, playing an important role for understanding of Late Pleistocene and Holocene natural history of Yakutia are discussed in short.

1. Введение

Многолетнемерзлые отложения различных генетических типов в целом является 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-сцинтилляцион-ного спектрометра-радиометра Quantulus 1220 (производство США) и химической установки для синтеза бензола. В 2013 г. в радиоуглеродной лаборатории ИМЗ СО РАН была освоена инновационная технология получения бензола путем прямого синтеза методом вакуумного пиролиза, минуя стадию предварительного обугливания (древесина, торф) или извлечения коллагена (кость).

Данная методика позволила существенно увеличить количество извлекаемого углерода и снизить минимальный вес исходных образцов. В целом это существенно расширяет возможности применения жидкостно-сцинтилляционного радиоуглеродного метода для датирования самых разнообразных объектов, содержащих даже небольшие объемы органического материала в рассеянной форме, например, гумусированная супесь, суглинков с рассеянной тонкодисперсной органикой и др. В настоящее время РЛ ИМЗ СО РАН имеет возможность выполнять радиоуглеродное датирование образцов следующего веса: кость - 100-200 граммов; древесина 12-20 граммов в пересчете на чистый углерод; торф - 30-50 граммов; древесный уголь 5-10 граммов. В отдельных случаях датировка может быть выполнена по нескольким граммам (2-3) углей.

2. Результаты работы Радиоуглеродной лаборатории

На основе получаемых датировок в РЛ ИМЗ СО РАН ведется создание геоинформационной базы данных абсолютных возрастов с географической привязкой каждой датировки к соответствующим разрезам, объектам и генетическим типам датируемых образований. Для удобства хранения и использования базы данных каждой датировке присваивается идентификационный номер, начинающийся с аббревиатуры 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.

С 2011 по 2019 гг. в РЛ ИМЗ СО РАН выполнено около 180 синтезов бензола и 158 датировок. Исходным материалом служили различные пробы отобранные авторским коллективом в естественных обнажениях и переданные пробы для выполнения аналитических работ сотрудниками других институтов.

3. Результаты перекрестного датирования

Для оценки надежности выполнения абсолютных датировок в Радиоуглеродной лаборатории ИМЗ СО РАН было выполнено три перекрестных датировок 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 составляла 3-4 гр. В результате получены три виалы с бензолом, объемом каждого составлял 10 мл. В итоге анализа были получены радиоуглеродные возрасты сходные с датами, полученными в Радиоуглеродной лаборатории ГИН РАН с вероятностью 97 % (таблица 1).

Таблица 1

<i>РЛ ИМЗ СО РАН</i>			<i>РЛ ГИН РАН</i>		
Материал, метод	Код датировки	Возраст C^{14} , лет	Материал, метод	Код датировки	Возраст C^{14} , лет
Уголь, жидкостная сцинтилляционная	МРІ-62	180±65	Уголь, жидкостная сцинтилляционная	15134	180±20
	МРІ-66	8900±95		15104	8660±40
	МРІ-70	2060±70		15110	1900±30

4. Заключение

В 2019 г. РЛ ИМЗ СО РАН вышла на стабильный уровень работы и приступила к выполнению датировок и открыта для сотрудничества. В РЛ непрерывно ведутся научно-методические исследования по совершенствованию методик пробоподготовки и расчета возраста, накапливается база данных радиоуглеродных стандартов, осваиваются приемы микро-радиоуглеродного анализа. Лаборатория не только обслуживает внутренние потребности ИМЗ СО РАН, но принимает заказы на выполнение датировок на различной основе.

5. Благодарности

Исследования проведены при поддержке грантов РФФИ РС(Я) № 18-45-140012_р_а, Интеграционной программы СО РАН II.1 блок 3.

6. Литература:

- [1] Galanin A.A., Dyachkovsky A.P., Lytkin V.M., Burnasheva M.P., Shaposhnikov G.I., Kut A.A. The results of determining the absolute age of samples in the radiocarbon laboratory of the Institute of permafrost SB RAS // Science and education. 2015. No 4 (80). S. 45-49.
- [2] Galanin A.A., Pavlova M.R., Shaposhnikov G.I., Scriabin A. Radiocarbon history and the most important reference sections of the Late Pleistocene dune formations of Central Yakutia // In the collection: XXXVI plenum of the Geomorphological Commission of the Russian Academy Materials of the All-Russian Scientific and Practical conferences with international participation. 2018.S. 102-110.

**ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ РАЗВЕДКИ И ДОБЫЧИ
ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ**

УДК 55 (571.56+571.65)

**О РИСКАХ ПРИ СОЗДАНИИ МАЛЫХ УГОЛЬНЫХ
РАЗРЕЗОВ В АРКТИЧЕСКИХ И СУБАРКТИЧЕСКИХ
РАЙОНАХ СЕВЕРО-ВОСТОКА РОССИИ**

Наталья Батугина, Сергей Ткач

ФГБУН Институт горного дела Севера СО РАН им. Н.В. Черского,
677980, Россия, г. Якутск, пр. Ленина, 43

**ON RISKS FOR CREATING SMALL COAL MINES IN
THE ARCTIC AND SUBARCTIC AREAS OF
NORTHEAST OF RUSSIA**

Natalia Batugina, Sergey Tkach

Chersky Mining Institute of the North, Siberian Branch, Russian Academy of
Sciences, 43 Lenina ave., Yakutsk, 677000, Russia

Annotation. The article presents the main risks that arise for creating small coal mines in remote transport and energy insulated Arctic regions of the Republic of Sakha (Yakutia). The paper describes environmental, organizational and economic risks on the example of the Sogolokh section of the Krasnorechenskoye deposit. The main environmental risks are associated with the reproduction of biological fish species and the need for surveys in the area of planned mining operations to exclude contamination of environmental objects with smallpox pathogens. The article presents the main measures and mechanisms for reducing risks in the Arctic regions, which will facilitate the functioning of coal mines in the Arctic zone of the Republic of Sakha (Yakutia) and increase the energy security of the population, are identified.

1. Введение

Разработка месторождений местных углей взамен привозных в удаленных, транспортно- и энергоизолированных районах арктической

зоне республики позволяет с одной стороны снизить затраты на доставку топлива и повысить энергобезопасность, с другой формирует новые риски, препятствующие достижению эффективности теплоснабжения. В данной статье будут проанализированы основные виды рисков, с которыми неизменно придется столкнуться как потребителю, так и производителю угля.

2. Методика, результаты и обсуждение

Основные риски эффективного освоения месторождений твердого топлива арктической зоны РС (Я): отсутствие у предприятий собственных средств на геологоразведку; сложные горно-геологические условия строительства и эксплуатации, сезонный характер добычи, существенно увеличивающие и так значительные капитальные затраты на ввод добывающих мощностей; отсутствие в северных районах дешевой сетевой электроэнергии; высокие административные барьеры, большое количество исходной разрешительной документации для разработки месторождений, не зависящее от размера месторождений; низкая производительность труда и высокая степень нестабильности производств; дефицит и высокая текучесть кадров, низкая заработная плата.

Всё это делает разработку месторождений твердого топлива в арктических районах РС (Я) крайне сложной и существенно более затратной по сравнению с аналогами, расположенными в центре и на юге Якутии.

Предварительный анализ угольных месторождений Арктики РС (Я) показывает, что в силу географического местоположения реальных и потенциальных мест добычи угля и его потребления, горно-геологических особенностей строения залежей, для достижения относительно приемлемых технико-экономических показателей после соответствующей доразведки и переоценки минерально-сырьевой базы требуется обрабатывать наиболее доступные и рентабельно извлекаемые части запасов. Для чего не существует принципиальных геотехнологических ограничений [1-3].

Анализ геологических материалов свидетельствует о том, что в непосредственной близости от реки Индигирка, основной судоходной артерии для 3 районов (Абыйский, Аллаиховский, Момский), расположен участок Соголох Краснореченского месторождения каменного угля.

Угли Краснореченского месторождения характеризуются как высококачественные энергетические угли с благоприятными горно-геологическими условиями. Соголох является единственным на бассейне реки Индигирка участком угольного месторождения с высокой степенью готовности для освоения и находящийся в непосредственной близости от основного транспортного коридора – р. Индигирки. В рамках оценки потенциальных экологических рисков по освоению месторождения каменного угля «Краснореченское» участок Соголох в Абыйском улусе (районе) Республики Саха (Якутия), были выявлены следующие сведения:

1. Участок Соголох Краснореченского месторождения каменного угля расположен на территории особо-охраняемой природной территории местного значения – ресурсный резерват «Зашиверск» Абыйского улуса. Основной задачей которого является сохранение и воспроизводство рыбных запасов (сохранение в покое места крупного нерестилища арктического омуля), объектов животного и растительного мира;
2. По сведениям Управления Роспотребнадзора по РС(Я) в окрестностях указанного месторождения в 1812-1854 гг. зафиксирована эпидемия натуральной оспы. Перед проведением горных работ Управлением рекомендовано проведение научного изыскания в зоне планируемых горных работ для исключения обсеменения объектов окружающей среды возбудителями натуральной оспы.

Одной из главных задач при освоении новых месторождений является рациональный выбор месторождений, на базе которых будут созданы малые угольные разрезы. После предварительного экспертного отбора потребуется дополнительное изучение минерально-сырьевой базы, учитывая то, что она оценивалась достаточно давно по критериям, действовавшим в то время и использованных при подготовке ТЭО, расчете кондиций и оценке экономической эффективности проектов. Техника и технологии потребления угля за последние годы существенно поменялась. Изменились и требования экологические требования. Следовательно, оценку угля в недрах следует выполнять с учетом данного факта.

3. Выводы

Разработка местных ресурсов угля является одним из направлений повышения энергобезопасности арктических районов РС (Я) и поддержки социально-экономического развития арктических районов.

Рациональное использование местного твердого топлива в арктических районах РС (Я) заключается в том, что при освоении локальных месторождений угля требуется использовать наиболее привлекательные участки для добычи открытым способом, залегающие на небольших глубинах, находящиеся вблизи потенциальных потребителей, имеющие наилучшие показатели по качеству и по экологическим требованиям. Показано, что основные экологические риски при освоении местных источников угля связаны с необходимостью сохранения и воспроизводства рыбных запасов. Использование мер экологического регулирования для стимулирования деятельности предприятий по добыче угля в арктической зоне позволит облегчить, наряду с геологическими и геотехнологическими возможностями, функционирование новых предприятий по добыче угля в арктической зоне РС (Я).

4. Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Республики Саха (Якутия) в рамках научного проекта № 18-45-140048 р_а

5. Литература:

[1] Razovskiy, Yu.V., Gorenkova, E.Yu., Kiseleva, S.P., Kosyakova, I.V., Makolova, L.V. Coal arctic revenue: classification and assessment methodology // Ugol', 2018, issue 7, pp. 42-44.

[2] Zakharov, V.E., Kozlov, A.N., Donskoy, I.G. Simulation changes in the calorific value of coal during transportation to the Far North, using the example of the Republic of Sakha (Yakutia) / Proceedings of the RAS. Energetics. 2018. №6. pp.132-141. (in Russian)

[3] Helle, I, Makinen, J, Nevalainen, M, Afenyo, M, Vanhatalo, J. Impacts of Oil Spills on Arctic Marine Ecosystems: A Quantitative and Probabilistic Risk Assessment Perspective // Environmental Science & Technology. Tom 54. Issue 4. PP. 2112-2121.

УДК 622.271.1:622.342

СТАБИЛИЗАЦИЯ СРЕДНЕГО СОДЕРЖАНИЯ МЕТАЛЛА ПРИ ОТРАБОТКЕ РОССЫПНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Александр Бураков

ФГБУН Институт горного дела Севера СО РАН им. Н.В. Черского,
677980, Россия, г. Якутск, пр. Ленина, 43

STABILIZATION OF AVERAGE CONTENT OF METAL DURING DEVELOPMENT OF PLACER DEPOSIT

Alexander Burakov

Chersky Mining Institute of the North, Siberian Branch, Russian Academy of
Sciences, 43 Lenina ave., Yakutsk, 677000, Russia

Annotation. As a result of the analysis of the geological-marksheider information base, the patterns of distribution of gold content in the contour of placer deposit of the river B. Kuranah have been established. Considerable fluctuations in the average metal content in the mining process have determined the need to develop technical solutions and measures to stabilize it. Recommendations on quality management of mineral raw materials in the process of gold-bearing sand mining are proposed.

1. Введение

В качестве основы для разработки технических решений по стабилизации среднего содержания металла в процессе добычи принят проведенный ранее анализ горнотехнических условий россыпи и показателей пространственного распределения полезного компонента, установленные закономерности распределения полезного компонента между участками, блоками и геологическими разрезами. Основными направлениями этой работы приняты геотехнологическая подготовка россыпей различными способами, применение способа комбинированной переработки песков, минимизация объемов переработки золотосодержащих песков за счет отсеивания незолотосодержащей фракции.

2. Основной раздел статьи

Россыпь реки Б. Куранах прослеживается от устья руч. Соснового до впадения р. Б. Куранах в р. Селигдар, приурочена к долине реки и имеет протяженность 22 км, при ширине от 200 до 1500 м (средняя 650 м). В плане форма россыпи извилистая, максимальная ширина (1500 м) и глубина (65 м) приурочены к верхней ее части. Верхние слои площади промышленного контура на 75% нарушены предыдущими дражными работами при мощности отработки 10-12 м. В 2016 г. балансовые запасы по месторождению переоценены и утверждены протоколом ГКЗ. Извлекаемое гравитацией золото россыпи очень мелкое: зерна менее 0,5 мм составляют 82%, а менее 0,25 мм – 45%. Средняя пробность 945. По горнотехническим условиям россыпь поделена на 4 участка.

С использованием горно-геологических информационных систем, стандартных пакетов по обработке статистической информации установлены закономерности распределения полезного компонента в контуре месторождения, заключающиеся в следующем:

- наибольшее поступление металла в россыпь наблюдается на участках р. л. №№ 248-19б; 140-84, где концентрируется 75% запасов золота месторождения;
- самые богатые блоки (4-С₁, 5-С₁, 6-С₁, 7-С₁) расположены напротив устья руч. Раздольного. Наибольшее среднее содержание золота наблюдается в блоках: 2-С₁, 3-С₁, 4-С₁. Золотоносность россыпи в глубину максимальная - на участке № 4, минимальная - на участке № 1. Количество золота по простиранию россыпи уменьшается;
- по всему месторождению распределение золота характеризуется широким диапазоном содержания (от 0,07 до 2 г/м³) и изменением размеров зон концентрации металла. Среднее содержание металла в целом невысокое, преобладающее количество (до 85%) геологических проб заключено в диапазоне не более 0,5 г/м³;
- неравномерность сосредоточения запасов характерна как для участков месторождения, так и для отдельных блоков между разведочными линиями. В балансовые блоки при оконтуривании запасов включается определенная доля некондиционных песков, которая может составлять 5-15%.

Анализом горнотехнических условий и показателей пространственного распределения металла определена область применения и дано примерное распределение балансовых запасов по способам разработки, обеспечивающее полноту и селективность выемки запасов.

Для стабилизации среднего содержания металла в процессе добычи золотосодержащих песков россыпи рекомендуется следующая система мероприятий:

- по проведенному анализу горнотехнических условий и показателей пространственного распределения полезного компонента определить область применения способов открытой разработки, обеспечивающую полноту и селективность выемки запасов.
- при добыче песков в блоках с высоким содержанием золота одновременно вовлекать в разработку блоки с низким содержанием, как правило, не отрабатываемые по этой причине, что сдерживает развитие фронта горных работ, при этом обеспечивая стабилизацию среднего содержания в соответствии с установленными кондициями по россыпи;
- проводить геотехнологическую подготовку россыпи различными методами с целью формирования "техногенной залежи" с заданными параметрами [1], обеспечивающими эффективную и безопасную разработку дражным способом при одновременной достаточно качественной подготовке песков к драгированию;
- применять комбинированный способ разработки россыпей, изложенный в [2] с использованием драги, как плавающей обогатительной фабрики и применением модульного метода изготовления драг, позволяющего более чем вдвое снизить удельную металлоемкость на 1 м^3 производительности;
- повышать производительность добычного и обогатительного оборудования на переработке высокоглинистых песков с мелким и тонким золотом, используя предложенный ИГДС способ комбинированной переработки песков [3], который позволяет рассчитывать на дополнительное извлечение металла в объеме до 10%;
- сокращать объемы золотосодержащих песков, подаваемых на обогащение, за счет отсеивания незолотосодержащей фракции [4], что позволяет использовать более эффективные обогатительные аппараты и добиться минимальных потерь полезного компонента.

3. Выводы

На основе предлагаемой системы мероприятий разработаны рекомендации по управлению качеством минерального сырья в процессе добычи золотосодержащих песков на россыпи реки Б. Куранах. Основной рекомендацией по управлению качеством минерального сырья при разработке россыпного месторождения является система мероприятий

по стабилизации среднего содержания металла в процессе добычи золотосодержащих песков. Реализация предложенных рекомендаций создает условия для достижения стабильных показателей переработки и извлечения ценного компонента, селективности и полноты выемки запасов.

4. Литература:

- [1] Mikhailov A.G. Alluvial preparation of placer deposits before development // Mining information and analytical bulletin. 2009. № 3. Page 214-217.
- [2] Pyatakov V.G., Talgamer B.L. Prospects for the development of the dredging method of development of placer deposits // Mining magazine. 2019. № 12. Page 35-38.
- [3] 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.
- [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. № 4. Page 138-148.

УДК 622.73

РАЗРАБОТКА НОВОЙ КОНСТРУКЦИИ ВЕРТИКАЛЬНОЙ ЦЕНТРОБЕЖНОЙ МЕЛЬНИЦЫ

Василий Винокуров, Андрей Матвеев

ФГБУН Институт горного дела Севера СО РАН им. Н.В. Черского,
677980, Россия, г. Якутск, пр. Ленина, 43

DEVELOPMENT OF A NEW DESIGN OF A VERTICAL CENTRIFUGAL MILL

Vasily Vinokurov, Andrey Matveev

Chersky Mining Institute of the North, Siberian Branch, Russian Academy of
Sciences, 43 Lenina ave., Yakutsk, 677000, Russia

Annotation. This paper presents the results of experimental studies of grinding processes under multiple dynamic effects implemented in a vertical centrifugal grinder VTs-12 design IGDS SB RAS. On the basis of which rational operating parameters of a vertical mill were established (the gap between the working disks is 3 mm., The discharge angle is -150 deg.), Which made it possible to control the grinding process in the mode of multiple dynamic and abrasive influences (eliminating the ejection of unmilled particles of a given size from the grinding zone), as well as set the size of the grinding products. The project and working documentation for the VCM-12 vertical centrifugal grinder with a capacity of up to 12 t / h have been developed.

1. Введение

Повышение эффективности измельчения невозможно без новых конструктивных решений в центробежных измельчителях, направленных на создание рациональных условий ударного разрушения материала в рабочей зоне измельчения аппарата [1, 2].

В лаборатории обогащения полезных ископаемых ИГДС СО РАН разработан и запатентован ряд новых центробежных мельниц, основанных на принципе интенсивного разрушения кусковых горных пород многократными динамическими воздействиями с разной конструкцией рабочих органов (активаторов). Конструктивная особенность нового класса центробежных измельчителей заключается в реализации возможности сообщения многократных динамических воздействий по ходу перемещения частиц в рабочей зоне дезинтеграции [3, 4]. При этом сохранение эффекта разрушения геоматериалов по мере последовательного сокращения крупности (потери массы) достигается соответствующим увеличением скорости взаимодействия частиц с поверхностью рабочих органов.

2. Результаты исследований

На основе реализации многократных динамических воздействий был разработан и запатентован [5] новый вертикальный центробежный измельчитель ВЦИ -12 (рисунок 1). В отличие от известных измельчителей ударного и истирающего действия в предлагаемом центробежном вертикальном измельчителе ВЦИ-12 существует дополнительная возможность управления процессом измельчения, за

счет регулировки угла разгрузки измельчённого материала и рационального зазора между рабочими органами (дисками), при которых исключается выброс недоизмельчённых частиц из рабочей зоны измельчителя с возможностью получения контролируемой крупности помола продуктов дезинтеграции.

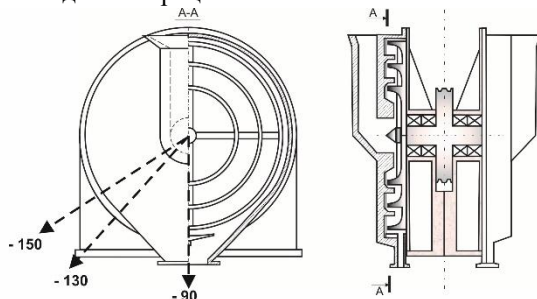


Рисунок 1. Конструкция центробежного вертикального измельчителя

Экспериментальные исследования проводились на однокамерной модели центробежного вертикального измельчителя с возможностью изменения угла наклона разгрузочного отверстия относительно соосно установленных рабочих органов. На рисунке 2 приведены сравнительные результаты измельчения при разных углах наклона разгрузки относительно центральной оси рабочих дисков при наиболее оптимальном зазоре 3 мм между рабочими дисками, который был установлен экспериментальными исследованиями.

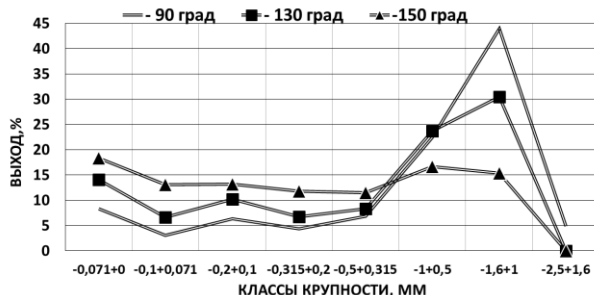


Рисунок 2. Характеристика продуктов измельчения при разных углах разгрузки

На основании полученных результатов установлено, что при угле разгрузки -150 град. гранулометрический состав продуктов измельчения

наиболее равномерный с наибольшим содержанием мелких классов, это объясняется тем, что именно при таком критическом значении угла разгрузки происходит вынос наиболее мелких и легких фракций из зоны измельчения. Таким образом, были определены наиболее рациональные рабочие параметры вертикальной мельницы (зазор, угол разгрузки), которые позволяют управлять процессом измельчения в режиме многократных динамических и истирающих воздействий (исключение выброса недоизмельченных материалов из рабочей камеры измельчителя) и задавать крупность помола продуктов дезинтеграции. По результатам исследований разработан эскизный проект основных узлов опытно-промышленного образца вертикального центробежного измельчителя ВЦИ-12 производительностью до 12 т/ч.

3. Выводы

Полученные результаты исследований позволяют повысить эффективность измельчения многократными динамическими и истирающими воздействиями за счет задержки недоизмельченных частиц в рабочей камере измельчителя благодаря возможности изменения угла разгрузки измельченного материала необходимой крупности.

4. Литература:

- [1] Vlasov, O.E. Comparison of the performance of various grinders / Vlasov, O.E., S. A. Smirnov // Theor. basics of chem. technology. - 1986. - Т. 2. - No. 4. - pp. 831-837.
- [2] Andreev, E.E. Crushing, grinding and preparation of raw materials for enrichment / E.E. Andreev, O. N. Tikhonov; textbook for high schools. - SPb. : SPbGGI, 2007. - 439 p.
- [3] Vinokurov, V.R. Tests of centrifugal grinders with different forms of activators / V.R. Vinokurov // Gorny inform. - analyte. bull. - 2008. - Dep. Vol. 2. - Yakutia-1. - pp.193-196.
- [4] Matveev, A.I. Experimental studies of the disintegration of geomaterials in the grinder of multiple dynamic effects / I. A. Matveev, V. R. Vinokurov // Gorny inform. - analyte. bull. - 2007. - No. 11. - pp. 370-372.
- [5] Patent No. 2322299 / 2006.01 Russian Federation. BO2S13 / 00 / Centrifugal apparatus for disintegration; Matveev A.I., Grigoriev A.N.; Applicant and patent holder Institution Ros. Acad. Sciences Institute of Horn. affairs of the North to them. N.V. Cherskii Sib. branch of Ros. Acad. sciences. - No. 2006106684/03; declared 03.03.2006; publ. 04/20/2008, Bull. Number 11

УДК 622.24

**ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОГРАММНЫХ
КОМПЛЕКСОВ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ
ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА БУРЕНИЯ
СКВАЖИНЫ СЖАТЫМ ВОЗДУХОМ**

Борис Григорьев, Рево Скрыбин

ФГАОУ ВО Северо-Восточный федеральный университет им. М.К.
Аммосова, 677000, Россия, г.Якутск, ул. Белинского, 58

**PROSPECTS OF APPLICATION OF SOFTWARE
SYSTEMS FOR MODELING THE TEMPERATURE
REGIME OF DRILLING WELLS WITH COMPRESSED
AIR**

Boris Grigoriev, Revo Scriabin

M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, 58 Belinsky st., Yakutsk,
677000, Russia

Annotation. The temperature distribution in the wellbore depends on a large number of factors: well design, geometric characteristics of casing and drill pipe strings, physical and thermophysical properties of air, metal and surrounding rocks; Compressed air blowing mode, temperature distribution in rock mass; Availability of local heat sources; Duration of blowdown and its breaks.

Based on the results of calculation of emerging stresses in the tool, it is possible to analyze the distribution of thermal fields around wells for the time points of interest in different sections of the three-dimensional calculation area.

As a result, it is theoretically possible to obtain a three-dimensional model of the tool in dynamics with calculation of emerging stresses at the bottom of the well by various superhard elements, as well as comparative analysis of the results with the temperature regime at the bottom of the well and the circulating flow of compressed air.

1. Введение

Распределение температуры в стволе скважины зависит от большого числа факторов: конструкции скважины, геометрических характеристик колонн обсадных и бурильных труб, физических и теплофизических свойств воздуха, металла и окружающих горных пород; режима продувки сжатого воздуха, распределения температуры в массиве горных пород; наличия местных источников тепла; длительности продувки и ее перерывов и т. д.

2. Основной раздел

При бурении скважин в мерзлых породах процесс переноса теплоты в окружающем скважину массиве сопровождается фазовым переходом содержащейся в нем влаги. [1].

Для моделирования теплообмена расчетной области с внешней средой предлагается задать на поверхности моделируемой области три вида граничных условий [3]:

а) Граничное условие первого рода. В этом случае при решении тепловой задачи пользователь на границе с внешней средой задает значение температуры:

$$T = T_{ext}(t).$$

Температура может быть задана в виде константы или зависимости от времени.

б) Граничное условие второго рода. В этом случае при решении тепловой задачи пользователь на границе с внешней средой задает значение теплового потока:

$$\mathbf{n} \cdot (\lambda \nabla T) = q_0(t).$$

в) Граничное условие третьего рода. В этом случае при решении тепловой задачи пользователь на границе с внешней средой задает постоянное значение температуры внешней среды, коэффициента теплообмена и теплового потока либо их зависимость от времени:

$$\mathbf{n} \cdot (\lambda \nabla T) = \alpha(t)(T_{ext}(t) - T) + q_0(t),$$

где α – коэффициент теплообмена, Вт/(м²·оС); T_{ext} – температура внешней среды, оС; T – температура грунта, оС; q – тепловой поток, Вт/м²; t – время, с.

Построение экспериментальной модели напряжений в буровом инструменте (Рисунок 1.) и температуры потока сжатого воздуха

исследуются в специализированных программах с возможностями конечно-элементного анализа ANSYS Mechanical, ANSYS Fluent и Frost 3d. (Рис2). Пакет включает в себя:

Для решения поставленной задачи целесообразно использовать метод конечных элементов с учетом основных законов механики сплошной среды:

– уравнения неразрывности:

$$\sum_{i=1}^3 \frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0;$$

– уравнения движения

$$\rho \left(\frac{\partial u_j}{\partial \tau} + \sum_{i=1}^3 u_i \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) = \rho F_j - \frac{\partial P}{\partial x_j} + \sum_{i=1}^n \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\eta \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right);$$

– уравнения энергии:

$$\rho c_p \left(\frac{\partial T}{\partial \tau} + \sum_{i=1}^3 u_i \frac{\partial T}{\partial x_i} \right) = \sum_{i=1}^3 \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x_i} \right) + q_v;$$

где x_i – декартовы координаты (x, y, z); τ – время; c_p, ρ, η, λ – соответственно, удельная теплоемкость, плотность, коэффициент вязкости и теплопроводности, которые задаются исходными данными; u_i – проекции вектора скорости на соответствующие оси координат; P – давление; T – температура; F_j – проекции массовых сил на оси координат; q_v – мощность внутренних или объемных источников энергии.

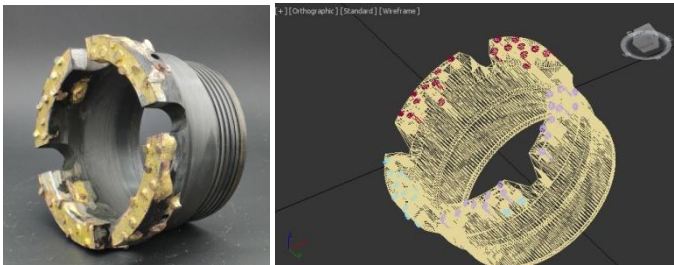


Рисунок 1. Исследуемый экспериментальный породоразрушающий инструмент для бурения скважин в условиях многолетней мерзлоты.

По результатам расчета возникающих напряжений в инструменте можно проанализировать распределение тепловых полей вокруг скважин для интересующих моментов времени в различных сечениях трехмерной расчетной области (Рисунок 2).

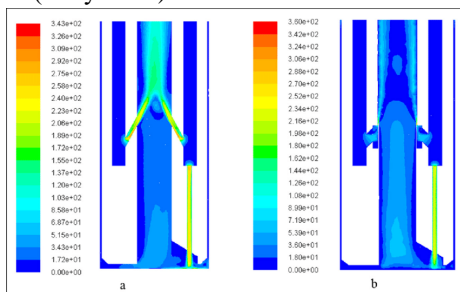


Рисунок 2. 3D модель исследуемой скважины в программе Frost 3d.

Охлаждающая способность среды при оценке интенсивности изнашивания инструмента проявляется в способности отводить тепло от нагреваемого инструмента и тем самым влиять на величину коэффициента трения.

Практически во всех случаях разведочного бурения для определения коэффициента нестационарного теплообмена для конкретных условий можно пользоваться приближенной формулой [2].

$$k_{\tau} = \frac{\alpha_2}{1 + Bi^4 \sqrt{Fo}}$$

где α_2 – коэффициент теплоотдачи в кольцевом канале скважины, Вт/(м²·°C). k_{τ} – коэффициент нестационарного теплообмена в Вт/м²·ч·°C; $Bi = \alpha_2 / R \lambda_p$ – параметр Био; $Fo = \alpha p \tau / R^2$ – параметр Фурье; λ_p – коэффициент теплопроводности пород массива, Вт/м²·ч·°C; αp – коэффициент температуропроводности пород массива, м²/ч; τ – время (продолжительность циркуляции) в ч; R – радиус скважины в м.

Коэффициент ka_{gr} в виде поправочного множителя к коэффициенту нестационарного теплообмена k_{τ} для учета влияния на теплообмен фазовых переходов влаги основан на допущении, что интенсификация теплообмена прямо пропорциональна относительному приросту переданного или воспринятого в единицу времени тепла за счет скрытой теплоты плавления.

Для определения $k_{aгр}$ в конкретных условиях можно рекомендовать приближенную расчетную формулу

$$k_{aгр} = 1 + 1,4 \cdot 10^5 \frac{w_n}{[t]c_n}$$

где $[t]$ – абсолютная температура сжатого воздуха, °С; w_n – влажность породы; c_n – теплоемкость породы, Дж/кг·°С;

Коэффициент теплоотдачи α в случаях бурения с продувкой воздухом может быть определен по критериальным формулам М.А.Михеева. В случае обычно наблюдаемого при бурении с продувкой сжатым воздухом движения можно пользоваться формулой

$$\alpha = 0,018 Re^{0,8} \frac{\lambda}{D_s};$$

В этих выражениях: λ – коэффициент теплопроводности очистного агента при средней температуре в скважине, Вт/(м·°С);

$$Re = v \frac{D_s}{\zeta}; \text{ - число Рейнольдса}$$

$$Pr = \frac{\zeta}{\alpha}; \text{ - число Прандтля}$$

v – средняя скорость движения жидкости по сечению канала (в случае воздуха – при среднем давлении), м/с;

ζ – кинематическая вязкость промывочной среды при средней температуре в скважине, м²/с;

α – коэффициент температуропроводности промывочной среды при средней температуре в скважине, м²/с.

Прирост температуры какой-либо промывочной среды в результате местного нагрева у забоя скважины можно определить по формуле

$$\Delta t_3 = \frac{N}{Gc}$$

где N – мощность, реализуемая на забое (в частности, мощность, развиваемая забойным двигателем), Вт; G – весовой расход промывочной среды в кг/ч, c – удельная весовая теплоемкость промывочной среды Дж/кг·°С.

3. Выводы

В результате теоретически можно получить трехмерную модель инструмента в динамике с расчетом возникающих напряжений на забое скважины различными сверхтвердыми элементами, а также

сопоставительный анализ результатов с температурным режимом в забое скважины и циркулирующего потока сжатого воздуха.

4. Литература:

- 1 Нескоромных В. В. Разрушение горных пород при проведении геологоразведочных работ: учеб. пособие / В.В. Нескоромных. Красноярск: Изд-во СФУ, 2012. – 298 с.
- 2 Седов В. Т. Теплообмен при бурении мерзлых пород.-Л.: Недра, 1990.-127 с.
- 3 Герасимов Д.С. Уравнения математических моделей для решения задач гидромеханики при бурении скважин: Методические указания по изучению курса и самостоятельной работе

УДК 621.396.96:551

**ВОЗМОЖНОСТИ ГЕОРАДИОЛОКАЦИИ И
ЭЛЕКТРОТОМОГРАФИИ ПО ВЫЯВЛЕНИЮ
ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКИХ СТРУКТУР В МАССИВЕ
ГОРНЫХ ПОРОД КРИОЛИТОЗОНЫ (НА ПРИМЕРЕ
КАНГАЛАССКОГО УГОЛЬНОГО РАЗРЕЗА)**

Рада Дягилева, Кирилл Соколов, Гаврил Куляндин, Андрей Федоров
ФГБУН Институт горного дела Севера СО РАН им. Н.В. Черского,
677980, Россия, г. Якутск, пр. Ленина, 43

**POSSIBILITIES OF GPR AND
ELECTROTOMOGRAPHY FOR DETECTING
GEOCRYOLOGICAL STRUCTURES IN THE
CRYOLITHOZONE ROCK MASS (ON THE EXAMPLE
OF THE KANGALAS COAL MINE)**

Rada Dyagileva, Kirill Sokolov, Gavril Kulyandin, Andrey Fedorov
Chersky Mining Institute of the North, Siberian Branch, Russian Academy of
Sciences, 43 Lenina ave., Yakutsk, 677000, Russia

Annotation. The report deals with the problem of studying the geocryological structures of the cryolithozone rock mass during

open-pit mining, which can lead to the development of various types of deformations as a result of defrosting. When developing cryolithozone deposits, reliable information about the geocryological situation and an assessment of the distribution of physical parameters of possible weakened zones is required. Current methods for studying the geocryological state of a rock mass are resource-intensive, costly, and time-consuming, and do not allow you to see the most complete picture of the rock mass. To solve this problem, a comprehensive use of geophysical methods of GPR and electrotomography is proposed, which will increase the efficiency of open-pit mining of cryolithozone deposits.

1. Введение

В процессе разработки сложноструктурных месторождений полезных ископаемых криолитозоны открытым способом возникают нарушения сложившегося равновесия горного массива, на поверхность выходят глубинные слои, меняется температурный и гидрогеологический режим [1]. В результате процессов оттаивания, промерзания, криогенного выветривания горных пород происходят активные нарушения многолетнемерзлых массивов, что, в конечном итоге ухудшает технико-экономические показатели и может привести к вынужденному прекращению работ на месторождении. [2]

Для обеспечения эффективности и безопасности ведения горных работ на месторождениях криолитозоны необходимо своевременное выявление таких геокриологических структур, как линзы льда, повторно-жильные льды, талики, криопэги и пр.

2. Основной раздел

Для изучения геокриологических параметров массива горных пород криолитозоны возможно использование комплекса таких современных методов электроразведки, как георадиолокация и электротомография, имеющих компактное аппаратное обеспечение и позволяющих изучать строение и свойства породных массивов. Данные методы исследования обладают сравнительно небольшой стоимостью проведения полевых работ и позволяют изучить строение массива горных пород с выявлением электрически контрастных геологических границ

(георадиолокация), а также электрические свойства горных пород (электротомография).[3]

На участке борта разреза «Кангаласский» были проведены геофизические измерения (рисунок 1).

Интерпретация результатов измерений показала наличие таликовых зон в правой и левой областях геофизических разрезов. В центральной области выделена зона мерзлых пород. В последующем в зоне талых пород возможно развитие деформационных процессов и последующая потеря устойчивости.

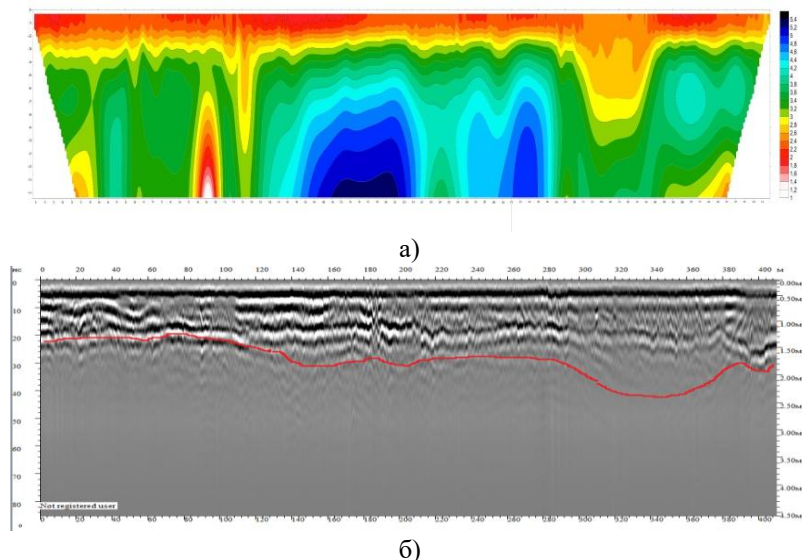


Рисунок 1. Результаты измерений борта карьера методами электротомографии (а) и георадиолокации (б).

3. Выводы

Комплексирование методов электротомографии и георадиолокации обеспечит более оперативное и надежное изучение геокриологических структур массивов горных пород криолитозоны. На основе предлагаемого комплекса геофизических методов будет разработана методика мониторинга, которая позволит на основе данных геофизических измерений отслеживать оттайку породного массива борта

карьера и картировать участки развития негативных криогенных процессов.

4. Литература:

- [1] Izakson, V.Yu , Samokhin, A.V., Petrov, E.E. and Sleptsov, V.I.. Questions of stability of outcrops of permafrost rocks / Novosibirsk: VO "Nauka", Siberian publishing company, 1994. - 165с.
- [2] Androsov, A.D., Zarovnyaev, B.N., Shubin, G.V., Budikhina, M.E. Development of safe designs for nonmining flanks of deep quarries in conditions of cryolithozone / Bulletin of the MSTU, 2018, no.3, pp. 13-21.
- [3] Lalomov, D.A. Integration of methods of electrotomography and GPR in solving engineering-geological problems at transport construction objects: candidate's dissertation of geological and mineralogical Sciences: 25.00.10 / Dmitry Alexandrovich Lalomov- Saint Petersburg.: Saint Petersburg state University , 2017 .

УДК 553.981

ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛИЗАЦИИ МОДЕЛЬНЫХ ПЛАСТОВЫХ ВОД НА ПРОЦЕССЫ ОБРАЗОВАНИЯ ГИДРАТОВ ПРИРОДНОГО ГАЗА

Изабелла Иванова, Людмила Калачева, Альберт Портнягин,
Матвей Семенов, Сардаана Соловьева, Александр Николаев
ФИЦ «ЯНЦ СО РАН» ФГБУН Институт проблем нефти и газа СО РАН,
677980, Россия, г. Якутск, ул. Петровского, 2

MINERALIZATION INFLUENCE OF MODEL STRATUM WATERS ON THE NATURAL GAS HYDRATES FORMATION PROCESSES

Izabella Ivanova, Lyudmila Kalacheva, Albert Portnyagin,
Matvey Semyonov, Sardaana Solovieva, Alexander Nikolaev
Institute of Oil and Gas Problems Siberian Branch of the Russian Academy of
Sciences, 2 Petrovsky st., Yakutsk, 677980, Russia

Annotation. This paper presents the results of the investigation of natural gas hydrates (the Otradninskoye gas condensate field)

formation processes in calcium chloride solutions of various concentrations and for comparison in distilled water. Hydrates were synthesized under static conditions in high-pressure chambers at a temperature of $+5^{\circ}\text{C}$ and an initial pressure of 8 MPa. It has been established that in the used model systems, the hydrate formation process proceeds in two stages. The rate of hydrate formation decreases with increasing of solutions concentration.

1. Введение

В настоящий момент добыча природного газа в Якутии осуществляется на Отраднинском газоконденсатном месторождении (ГКМ). Пластовые воды на месторождении относятся к хлоридно-кальциевому генетическому типу, причем максимальная минерализация этих вод достигает 390 г/л [1]. За счет влияния многолетнемерзлых пород месторождение характеризуется низкими пластовыми температурами. В результате добыча природного газа затруднена образованием гидратов природного газа в стволах скважин, что может привести к аварийным ситуациям.

Таким образом, целью работы является определение скорости образования гидратов природного газа в растворах хлорида кальция различных концентраций.

2. Объекты и методы исследования

Объектами исследования являлись гидраты природного газа Отраднинского ГКМ, синтезированные в дистиллированной воде и растворах хлорида кальция 5; 10 и 15 масс. %. Данные концентрации соответствуют минерализации пластовых вод на месторождении. Приготовленные растворы объемом 100 мл загружались в камеру высокого давления. Через запорный вентиль в камеру подавался природный газ до начального давления 78 ± 2 атм. Заправленная таким образом камера помещалась в инкубатор-холодильник фирмы SANYO MIR-254 с программируемой системой контроля температуры (точность $\pm 0,3^{\circ}\text{C}$). Насыщение водных систем природным газом проводилось при температуре $+20^{\circ}\text{C}$ в течение суток. Затем синтез гидратов проводился при температуре $+5^{\circ}\text{C}$ с постоянной фиксацией давления в камерах. Гидратообразование считалось законченным, если давление в камерах оставалось постоянным.

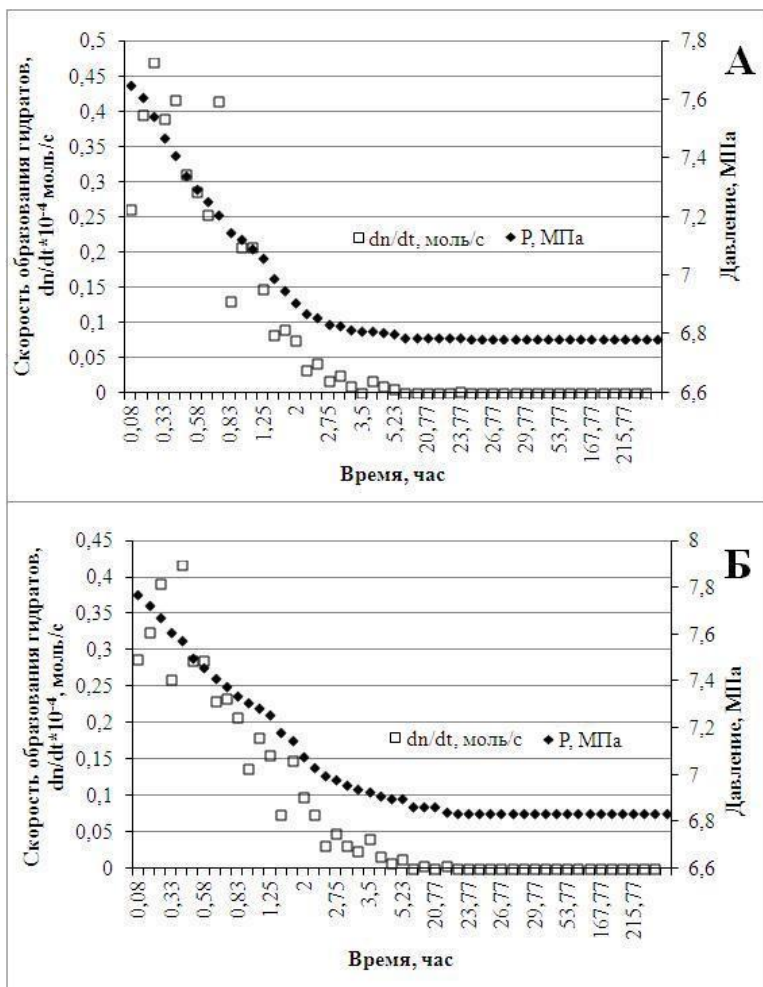


Рисунок 1. Скорость образования гидратов природного газа в дистиллированной воде (А) и 15% - ом растворе хлорида кальция (Б)

3. Обсуждение результатов

На основании полученных экспериментальных данных были рассчитаны скорости гидратообразования согласно [2]. Процесс гидратообразования в воде и в исследуемых растворах протекает в две стадии (Рисунок 1).

Первая стадия характеризуется значительным снижением давления газа за счет его сжатия при снижении температуры, а на второй стадии происходит процесс гидратообразования.

В таблице 1 приведены значения скоростей гидратообразования в модельных системах. Видно, что в дистиллированной воде гидратообразование протекает с максимальной скоростью. С увеличением минерализации в растворах хлорида кальция скорость гидратообразования уменьшается на порядок.

Таблица 1

**Скорость гидратообразования природного газа
Отрадинского ГКМ в растворах хлорида кальция**

Раствор, % мас.	Скорость гидратообразования, моль/с	
	I стадия	II стадия
Дист. H ₂ O	$2,584 \cdot 10^{-5}$	$1,254 \cdot 10^{-6}$
5%	$2,496 \cdot 10^{-5}$	$1,149 \cdot 10^{-6}$
CaCl ₂ 10%	$1,583 \cdot 10^{-5}$	$1,030 \cdot 10^{-6}$
15%	$1,553 \cdot 10^{-5}$	$3,952 \cdot 10^{-7}$

4. Выводы

Таким образом, установлено, что в водах хлоридно-кальциевого типа с увеличением их минерализации скорость образования гидратов природного газа уменьшается. Наибольшее снижение скорости установлено в 15% растворе, что говорит об ингибирующем влиянии этого раствора на процесс гидратообразования.

5. Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта Рег. № НИОКТР АААА-А17-117040710035-7.

6. Литература:

- [1] Water of oil and gas deposits of the USSR: Reference book / ed. L.M. Zorkina. M.: Nedra, 1989. - P. 382. (in Russian).
- [2] Fitzgerald G.C. Methane hydrate formation and thermal based dissociation behavior in silica glass bead porous media / G.C. Fitzgerald, M.J. Castaldi, and J.M. Schicks // I&ES research. - 2014. – V. 53. – P. 6840 – 6854.

УДК 622.3

СПОСОБ ВОЗВЕДЕНИЯ ИСКУССТВЕННЫХ СТОЛБООБРАЗНЫХ ЦЕЛИКОВ В РОССЫПНЫХ ШАХТАХ КРИОЛИТОЗОНЫ

Михаил Каймонов, Валерий Киселёв

ФГБУН Институт горного дела Севера СО РАН им. Н.В. Черского,
677980, Россия, г. Якутск, пр. Ленина, 43

THE METHOD OF CONSTRUCTION OF ARTIFICIAL PILLAR PILLARS IN ALLUVIAL MINES OF PERMAFROST

Mikhail Kaimonov, Valeriy Kiselev

Chersky Mining Institute of the North, Siberian Branch, Russian Academy of
Sciences, 43 Lenina ave., Yakutsk, 677000, Russia

Annotation. The envisaged method of erecting combined metal-ice rock formations in cryozones, which includes layer-by-layer laying in the winter of the promoter sand-and-pebble geomaterial, as a result of air being pumped by a fan. In order to raise the target in height, in a horizontal plane, depending on the period of time, metal water pipes are installed, which makes it possible to intensify volumetric promotions. insulating hermetic shield, fan forcing cold mine air, direction through metal pipes. The number of pipes is determined by the calculation method.

1. Введение

Изобретение относится к горному делу, в частности к подземной разработке мерзлых россыпных месторождений Северо-Восточного региона РФ [1].

Известен способ возведения ледопородных целиков в россыпных шахтах (РШ) криолитозоны, включающий послойное намораживание подаваемого с поверхности в зимний период песчано-галечного геоматериала с проливом водой и промораживанием естественным холодом [2]. Основными недостатками способа являются необходимость возведения целиков больших размеров, возможность активного промораживания только поверхностных слоёв и невысокая скорость

промерзания возведенного целика до низких температур по всему объему, как следствие этого, набора им требуемых компрессионных свойств, что замедляет обработку естественного целика.

Техническими задачами изобретения являются: уменьшение размеров; совершенствование конструкции и технологии возведения целиков; повышения их несущей способности и скорости промораживания; снижение потерь полезного ископаемого; получение дополнительного металла; предотвращение деформаций земной поверхности, сокращение сроков отработки шахты; повышение безопасности ведения горных работ.

2. Способ возведения комбинированных металло-ледопородных столбообразных целиков в россыпных шахтах криолитозоны

Предлагается новый способ возведения искусственных столбообразных металло-ледопородных целиков в РШ криолитозоны, включающий послонную укладку в зимний период замороженного песчано-галечного геоматериала, подаваемого с поверхности через специально пробуренную скважину в предварительно возведенную в отработанной очистной камере передвижную опалубку с проливом водой и промораживанием каждого слоя холодным воздухом нагнетаемым вентилятором, отличающийся тем, что в процессе возведения целика на всю его ширину по высоте, горизонтально рядами через определенные промежутки укладывают расчетное количество металлических труб, при этом в целях интенсификации промораживания возведенного целика по всему объему и набора им требуемых компрессионных свойств на расстоянии от него с наветренной стороны по ходу вентиляционной струи сооружают временный, изолирующий, герметичный экран, за который в заизолированное пространство вентилятором нагнетают холодный шахтный воздух, обеспечивая тем самым его принудительное движение по уложенным трубам, при этом количество подаваемого воздуха и улаживаемых труб определяют из математических соотношений [1,3].

При этом общее количество подаваемого воздуха Q (м³/с), необходимое для промораживания возведенного комбинированного металло-ледопородного целика, определяют по формуле:

$$Q = nv\pi R^2, \text{ м}^3/\text{с}, \quad (1)$$

где n – количество металлических труб, укладываемых в возводимый целик, шт.; v – скорость воздуха в трубе, м/с; R – радиус трубы, м.

Количество труб n определяют из соотношения:

$$n = \frac{(V_1 \gamma_1 C_1 + V_2 \gamma_2 C_2)(t_2 - t_1)}{2 \tau \pi R L \alpha (t_{ст} - t_{возд})}, \text{ шт.}, \quad (2)$$

где V_1 – объем льда, заключенной в ледогрунтовой массиве, м^3 ; V_2 – объем горных пород, заключенных в ледогрунтовой массиве, м^3 ; γ_1 – плотность льда, $\text{кг}/\text{м}^3$; γ_2 – плотность скелета горных пород, $\text{кг}/\text{м}^3$; C_1 – удельная теплоемкость льда, $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$; C_2 – удельная теплоемкость горных пород, $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$; t_1 – начальная температура возведенного целика, $^\circ\text{C}$; t_2 – требуемая температура промораживания целика, $^\circ\text{C}$; τ – время проморозки, с; L – длина трубы, м; α – коэффициент конвективного теплообмена нагнетаемого воздуха со стенкой трубы, ($\alpha = 6,16 + 4,19v$) $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{K})$; $t_{ст}$ – температура стенки трубы, $^\circ\text{C}$; $t_{возд}$ – температура воздуха в трубе, $^\circ\text{C}$.

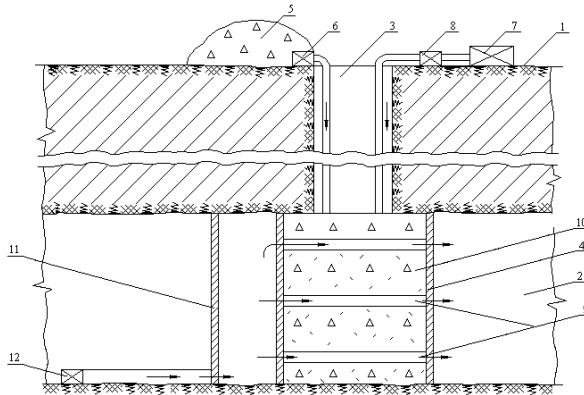


Рисунок 1. Способ возведения комбинированных металло-ледопородных столбовидных целиков в россыпных шахтах криолитозоны: 1 – земная поверхность; 2 – отработанная очистная камера РШ; 3 – сквозная вертикальная скважина; 4 – передвижная опалубка; 5 – складированный песчано-галечный геоматериал; 6 – поверхностная вентиляционная нагнетательная установка с гибким трубопроводом; 7 – теплоизолированная емкость для технической воды; 8 – водоподающая установка с насосом, трубопроводом и разбрызгивающим устройством; 9 – горизонтально-уложенные металлические трубы; 10 – возведенный металло-ледопородный целик; 11 – герметичный изоляционный экран; 12 – шахтная (подземная) нагнетательная установка с вентилятором и гибким воздуховодом.

3. Выводы

Реализация способа будет способствовать решению ряда технических и экологических задач:

- обеспечить возможность возведения высокопрочных искусственных целиков в отработанных очистных камерах РШ, гораздо меньших по размеру, чем естественные, сокращая при этом время возведения и расход геоматериалов, сроки отработки шахтного поля, при высокой безопасности ведения подземных горных работ;
- обеспечить возможность скорейшей отработки ранее оставленных целиков (под защитой возведенных искусственных), обеспечивая тем самым снижение технологических потерь и получение дополнительного металла;
- обеспечить рециклинг (размещение в отработанном пространстве РШ) твердых геоматериалов, находящихся в отвалах, оставшихся после ведения вскрышных работ, а так же в процессе промывки добытых песков на промысловых приборах, с освобождением земной поверхности и восстановлением естественного рельефа;
- предотвращается деформации (проседание) земной поверхности над отработанным шахтным полем.
- утилизация и повторное использование отслуживших технический ресурс водоводных металлических труб в качестве армирующих элементов возводимых целиков.

Введенный в формулу изобретения такой существенный признак, как укладка металлически водоводных труб в возводимый целик позволяет:

- возводить армированные металлом искусственные целики с высокими прочностными характеристиками, гораздо меньших размеров, чем естественные, не уступающие в несущей способности;
- обеспечить активную циркуляцию холодного воздуха с высокой интенсивностью кондуктивного теплообмена по всему объему целика; в полной мере использовать естественный природный ресурс криолитозоны–холод обеспечивая тем самым компенсацию негативных теплопритоков от замерзающей воды и, как следствие этого, что в конечном итоге позволяет в короткий срок приступить к безопасной отработке ранее оставленного естественного целика в РШ.

4. Литература:

- [1] Patent of the Russian Federation № 2601704.

- [2] Sal'manov R.N. and etc. Razrabotka mestorozhdenij s primeneniem zamorazhivaemogo zakladochnogo materiala, Kolyma, 1987, no. 3, pp. 18-20.
- [3] Kiselev V.V., Khokholov Ju.A., Kaimonov M.V. Prioritetnye napravlenija podzemnoj zolotodobychi i krepnenija ochistnogo prostranstva rossypanyh shaht kriolitozony // Gornyj informacionno-analiticheskij bjulleten' (scientific and technical journal), 2018, no. 5, pp. 49-58.

УДК 622:624.1

**СПОСОБ КУЧНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ ЗОЛОТА ИЗ
ГАЛЕ-ЭФЕЛЬНЫХ ОТВАЛОВ ПЕРВИЧНОЙ
ПЕРЕРАБОТКИ ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩИХ ПЕСКОВ
РОССЫПНЫХ ШАХТ КРИОЛИТОЗОНЫ
В УСЛОВИЯХ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУР**

Михаил Каймонов, Валерий Киселёв

ФГБУН Институт горного дела Севера СО РАН им. Н.В. Черского,
677980, Россия, г. Якутск, пр. Ленина, 43

**THE METHOD OF HEAP LEACHING OF GOLD FROM
GALE-EPHIL DUMPS OF THE PRIMARY PROCESSING
OF GOLD-BEARING SANDS OF PLACER MINES OF
THE PERMAFROST ZONE AT LOW TEMPERATURES**

Mikhail Kaimonov, Valeriy Kiselev

Chersky Mining Institute of the North, Siberian Branch, Russian Academy of
Sciences, 43 Lenina ave., Yakutsk, 677000, Russia

Annotation. Invention relates to the mining industry, and can be used in the previously developed frozen deep-buried gold placer deposits of the North mine fields remaining sections secondary underground mining. Cryolithozone residual-monolithic deep-buried gold placer deposits secondary underground treatment eco-geotechnological method provides for the each mine field mining in two stages within two years. In the winter period (stage 1), performing the penetrating of opening preparatory and rifled workings, as well as the mining operations performance using chamber systems in the direct way. Spent

cleaning space is enclosed, fastened with temporary lining, performing the preparatory works underground and on the surface. For the summer period, the mine is temporarily preserved and performing the primary gold production galexiviation dumps loading into the gold-bearing geomaterials spent treatment space in the form of piles, which are then heated with atmospheric heat using the heat pipes. After that, performing their impregnation with the leaching solution, injected from the surface through perforated pipes, followed by the productive solution collection and pumping out to the surface for the useful component extraction. Then, in the winter period (stage 2), performing the monoliths processing by the reverse stroke with subsequent performance of all the above operations in winter and summer. As the mining field is developed, performing the amortized mine backfilling with the frozen overburden rocks and pebble geo material of the placer secondary mining.

1. Введение

Изобретение относится к горной промышленности и может быть использовано при подземной разработке мёрзлых золотосодержащих россыпных месторождений Севера, где на территориях отработанных шахтных полей сезонных россыпных шахт (РШ) работающих в зимний период имеются 576алле-эфельные отвалы содержащие мелкодисперсное золото не извлекаемое традиционным, гравитационным способом [1].

Известны способы кучного выщелачивания золота из мёрзлых руд в условиях низких температур окружающей среды, где предлагается формирование штабеля на поверхности в холодное время года из мёрзлых окомкованных или кусковатых руд с переслаиванием их легкорастворимыми солями металлов с образуемой большой теплотой их водных растворов. Предусматривается теплоизоляция штабеля от повторного замерзания, а так же подача подогретого выщелачивающего раствора, обеспечивающих совместно с выделяемым теплом экзотермической реакции, оттайку перерабатываемых руд и положительный температурный режим [2].

Основными недостатками способа являются: высокие утечки образуемого тепла при нахождении штабеля на земной поверхности в

течение экстремально холодного зимнего периода и значительное снижение в связи с этим скорости выщелачивания, возрастающие с понижением наружных температур из месяца в месяц затраты на подогрев выщелачивающего раствора, необходимость проведения работ по нейтрализации токсичных компонентов, утилизации отходов, охране окружающей среды.

Техническими задачами изобретения являются: повышение эффективности процессов выщелачивания, снижение утечек тепла штабеля в окружающую среду, а так же затрат на подогрев выщелачивающего раствора; надёжная утилизация переработанных геоматериалов от биоты; получение дополнительного металла из 577алле-эфельных отвалов (техногенных песков); обеспечение рециклинга геоматериалов; снижение расходов на крепление выработанного пространства РШ; предотвращение смещений земной поверхности над шахтным полем; освобождение земной поверхности от имеющихся отвалов; восстановление прежнего рельефа местности.

2. Экогеотехнологический способ вторичной подземной обработки остаточно-целиковых глубокопогребенных золотороссыпных месторождений криолитозоны.

Предлагается новый способ кучного выщелачивания золота из 577алле-эфельных отвалов первичной переработки песков РШ, включающий их укладку в зимний период в виде штабеля, пропитку его подогретым выщелачивающим раствором и откачку продуктивного раствора, отличающийся тем, что штабель выкладывают в отработанном теплоизолированном, закреплённом очистном пространстве РШ путём подачи золотосодержащего геоматериала с поверхности через вертикальную скважину с переслаиванием их негашеной известью, выполняющей функции источника тепла при её гашении водосодержащим выщелачивающим раствором, при этом, после извлечения металла, переработанный, водонасыщенный, замороженный штабель геоматериалов служит в качестве остова в последствии возводимого комбинированного ледопородно-сухого закладочного массива надёжно поддерживающего выработанное пространство РШ [3].

Существенным отличием в сравнении с аналогом является размещение остаточных продуктов обогащения в замороженном виде в подземном

пространстве РШ исключая процессы миграции и попадание токсичных материалов в окружающую среду.

Немаловажным признаком является так же использование обработанных промороженных штабелей геоматериалов в качестве остовов сухих закладочных массивов, надёжно поддерживающих выработанное пространство РШ.

Важным фактором является так же использование принудительной вентиляции и естественного холода для ускорения процесса промораживания штабелей, значительно повышая тем самым их прочностные характеристики и обеспечивая возможность безопасной обработки временно оставляемых естественных целиков, снижая технологические потери.

Требуемые технические и экологические результаты при реализации изобретения предполагается получить при использовании климатических и геокриологических ресурсов криолитозоны, а так же горно-технических особенностей региона и РШ: длительный зимний период с экстремально низкими температурами; наличие низкотемпературного атмосферного холода; круглогодичный отрицательный температурный режим РШ с умеренно низкими ($-5 \div -7^{\circ}\text{C}$) температурами; наличие легкоразрабатываемых галечных отвалов на земной поверхности вблизи границ шахтного поля, остающихся после промывки добытых металлосодержащих песков в летний период; сезонный характер (только в зимний период) подземной разработки мерзлых россыпных месторождений.

Заявляемый способ поясняется чертежом (Рисунок 1), где представлена технологическая схема его реализации с расстановкой всего оборудования.

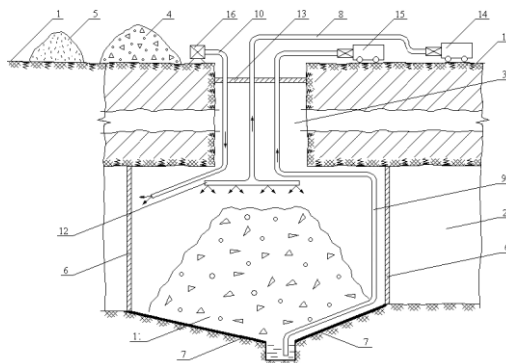


Рисунок 1. Способ кучного выщелачивания золота из 579алле-эфельных отвалов первичной переработки золотосодержащих песков россыпных шахт криолитозоны в условиях отрицательных температур: 1 – земная поверхность; 2 – отработанная очистная камера РШ; 3 – сквозная вертикальная скважина; 4 – складированный 579алле-эфельный геоматериал, содержащий мелкодисперсное золото; 5 – складированная негашёная известь; 6 – гибкие перемычки; 7 – гидроизоляционный экран из полиэтиленовой плёнки; 8 – трубопровод для подачи выщелачивающего раствора; 9 – трубопровод для откачки продуктивного золотосодержащего раствора; 10 – трубопровод для нагнетания холодного атмосферного воздуха; 11 – выложенный штабель из золотосодержащего 579алле-эфельного материала подлежащего кучному выщелачиванию; 12 – разбрызгивающее устройство выщелачивающего раствора; 13 – ляда перекрывающая скважину; 14 – передвижная ёмкость с выщелачивающим раствором; 15 – передвижная ёмкость для продуктивного золотосодержащего раствора; 16 – нагнетающий вентилятор для подачи холодного атмосферного воздуха.

3. Выводы

Реализация способа будет способствовать решению ряда технических, природоохранных и экологических задач, повышая технико-экономическую эффективность отработки месторождения: получение дополнительного металла за счёт высокой степени извлечения полезного компонента, содержащегося в 579алле-эфельных отвалах первичной переработки золотосодержащих песков (так называемых техногенных месторождениях); надежное крепление выработанного пространства РШ комбинированным способом с использованием геоматериалов галечных отвалов замороженных отработанных ледопородных штабелей, выполняющих функции остовов впоследствии возводимых сыпучих закладочных массивов; освобождение земной поверхности от имеющихся галечных отвалов с размещением их в выработанном пространстве РШ; обеспечение возможности совместного ведения нескольких видов работ в РШ: отработка продуктивного пласта, извлечение тонкодисперсного золота, возведение комбинированных закладочных массивов высокой прочности; отработка естественных целиков; высокая экологичность способа, т.к. все остаточные продукты выщелачивания будут находиться в замороженном виде в подземном пространстве РШ, исключая таким образом миграцию токсичных

компонентов за её пределы; снижение утечек тепла и затрат на прогрев штабеля, т.к. он не контактирует с экстремально холодным атмосферным воздухом, а размещается в теплоизолированном подземном пространстве с умеренными ($-5\div-7^{\circ}\text{C}$) температурами; предотвращение деформаций земной поверхности над отработанным, полностью заложённым шахтным полем РШ; низкие затраты на последующую проморозку переработанного твёрдого материала штабелей за счёт использования естественного холода.

4. Литература:

- [1] Patent of the Russian Federation № 2678277.
- [2] Patent of the Russian Federation № 2235872.
- [3] Kiselev V.V., Kaimonov M.V., Popov V.I. Perspektivnye napravlenija podzemnogo vyshhelachivanija zolota v rossypanyh shahtah kriolitozony // Gornyj informacionno-analitcheskij bjulleten' (scientific and technical journal), 2018, no. 12, pp. 177-184.

УДК 553.98:622.27

ИЗУЧЕНИЕ ГИДРАТООБРАЗОВАНИЯ ПРИРОДНОГО ГАЗА В МОДЕЛЬНОЙ ПОРИСТОЙ СРЕДЕ

Людмила Калачева, Альберт Портнягин, Изабелла Иванова,
Игорь Рожин, Кира Аргунова

ФИЦ «ЯНЦ СО РАН» ФГБУН Институт проблем нефти и газа СО РАН,
677980, Россия, г. Якутск, ул. Петровского, 2

STUDY OF HYDRATE FORMATION OF NATURAL GAS IN A MODEL POROUS ENVIRONMENT

Lyudmila Kalacheva, Albert Portnyagin, Izabella Ivanova,
Igor Rozhin, Kira Argunova

Institute of Oil and Gas Problems Siberian Branch of the Russian Academy of
Sciences, 2 Petrovsky st., Yakutsk, 677980, Russia

Annotation. The paper considers the processes of formation of natural gas hydrates from solutions of sodium and calcium chlorides, as well as sodium bicarbonate in a model porous medium. It was established that the presence of salts in the pore

medium reduces the duration of the system's nucleation period during the formation of gas hydrates, however, the thermobaric conditions shift compared to the distilled water-gas system toward higher pressures and lower temperatures, as well as a decrease in the rate of hydrate formation.

1. Введение

Основной целью исследования процессов, происходящих в пористой среде, во время образования и разложения газовых гидратов, является прогнозирование поведения горных пород, насыщенных газовыми гидратами, в процессе добычи, хранения или консервации в них углеводородных и парниковых газов. Актуальность таких исследований обусловлена поиском теоретического и технологического обоснования возможности хранения природного и попутного нефтяного газов в газогидратной форме в подмерзлотных водоносных горизонтах [1]. Наиболее перспективным объектом для создания хранилищ природного газа, можно рассматривать Якутский артезианский бассейн, как один из крупнейших водоносных бассейнов расположенных под многолетнемерзлыми породами. Однако взаимное влияние состава и структуры вмещающих пород и химического состава подстилающих вод малоизученны и требуют пристального внимания.

Таким образом, целью исследования являлось изучение влияния минерализации вод на процессы образования и разложения гидратов природного газа в модельной пористой среде.

2. Основной раздел

Экспериментальное изучение гидратообразования в дисперсных средах является достаточно сложным мероприятием, так как на этот процесс влияют такие параметры как: гранулометрический и минеральный состав пористой среды, ее плотность и пористость, влажность и засоленность и др. Поэтому в качестве модели пористой среды в представленной работе был использован морской песок, в котором до 93 %масс. составляют частицы размером 0,315/0,16 мм. Для изучения влияния засоленности поровой среды были использованы воды хлоридно-кальциевого и гидрокарбонатно-натриевого генетических типов с концентрацией растворенных солей от 5 до 15 масс.% для хлоридов и от 0,25 до 2 масс.% для гидрокарбонатов. Воды хлоридно-кальциевого типа в настоящей работе представлены двумя подгруппами:

кальциевой и натриевой. Выбор этих типов вод продиктован их распространением в подмерзлотных водоносных горизонтах Якутского артезианского бассейна. В качестве газа-гидратообразователя использовался природный газ Средневилюйского газоконденсатного месторождения.

Исследование фазовых превращений, происходящих при образовании и диссоциации гидратов природного газа в пористой среде, производили на специально собранной установке для ДТА анализа, схема которой и методика проведения эксперимента представлена в [2].

Как показывают экспериментальные данные, при гидратообразовании в пористой среде происходит переохлаждение системы. Степень переохлаждения ($\Delta T_{пер}$) зависит как от изменения температуры и давления, так и от влажности и минерального состава применяемого грунта. В таблице 1 приведены значения $\Delta T_{пер}$ для рассматриваемых сред гидратообразования.

Таблица 1

Степень переохлаждения системы, равновесные температуры и средние скорости гидратообразования в пористой среде в зависимости от минерализации растворов

Раствор,	ω , % мас.	$\Delta T_{пер}$	$T_{равн}$, °C	$dn/dt \cdot 10^{-4}$, МОЛЬ/МИН
H ₂ O		2,285	10,395	4,555
CaCl ₂	5	0,617	10,110	3,600
	10	1,081	6,844	3,649
	15	0,131	6,428	3,712
NaCl	5	0,036	5,186	3,840
	10	1,935	2,466	4,297
	15	0,305	-0,400	1,577
NaHCO ₃	0,25	1,688	12,089	4,055
	0,5	2,435	11,798	4,353
	1	0,296	11,613	4,205
	2	2,211	10,465	3,815

Показано, что значения степени переохлаждения в минеральных растворах практически всех рассматриваемых концентраций ниже, чем в воде, за исключением раствора гидрокарбоната натрия с концентрацией 0,5%. При этом четкой зависимости степени переохлаждения системы от

концентрации растворенных солей не наблюдается. Полученные результаты показывают, что зарождение центров нуклеации в минеральных водах происходит быстрее, чем в дистиллированной воде. Изучение скорости и равновесных условий образования гидратов в пористой среде показало, что засоленность среды гидратообразования оказывает существенное влияние на эти параметры (таблица 1). Установлено, что равновесные температуры гидратообразования снижаются с увеличением минерализации используемого раствора. При этом, равновесные температуры гидратообразования в растворах гидрокарбоната натрия выше, чем аналогичный параметр в воде. Наличие солей в пористой среде также ведет к снижению скорости гидратообразования. В растворах хлорида кальция скорость гидратообразования практически не зависит от концентрации растворенной соли. Тогда как в растворах хлорида натрия скорость гидратообразования при повышении концентрации до 10% увеличивается, а затем уменьшается. Значения скоростей гидратообразования в растворах гидрокарбоната натрия проходят через максимум при концентрации 0,5% достигая практически такой же скорости, как и воде.

3. Выводы

Таким образом, показано, что наличие солей в поровой среде снижает продолжительность периода нуклеации системы, однако при этом происходит смещение термобарических условий гидратообразования по сравнению с системой «дистиллированная вода-газ» в сторону более высоких давлений и низких температур, а также снижение скорости образования газогидратов.

4. Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке проектов Рег. № НИОКТР АААА-А17-117040710035-7 и РФФИ № 18-45-140035 р_а «Обоснование создания подземных хранилищ природного газа в гидратном состоянии в подмерзлотных водоносных горизонтах».

5. Литература:

[1] Borodin S. L. Current state of research related to the extraction of methane from a hydrate-containing porous medium / S. L. Borodin, D. S.

Belsky / Bulletin of the Tyumen State University. Physical and mathematical modeling. Oil, gas, energy. - 2018. Vol. 4. № 4. P.131-147;

[2] Portnyagin, A.S. Study of the processes of formation and decomposition of natural gas hydrates by the DTA method [Text] / A.S. Portnyagin / Geology and mineral resources of the North-East of Russia: Materials of the IX All-Russian Scientific and Practical Conference: in 2 volumes - Yakutsk: NEFU Publishing House, 2019.- P. 249-251.

УДК 553.98

**ЗАВИСИМОСТЬ СКОРОСТИ
ГИДРАТООБРАЗОВАНИЯ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА
ОТ МИНЕРАЛИЗАЦИИ МОДЕЛЬНЫХ ПЛАСТОВЫХ
ВОД**

Людмила Калачева, Изабелла Иванова, Альберт Портнягин,
Матвей Семенов, Сардаана Соловьева, Александр Николаев
ФИЦ «ЯНЦ СО РАН» ФГБУН Институт проблем нефти и газа СО РАН,
677980, Россия, г. Якутск, ул. Петровского, 2

**DEPENDENCE OF THE CARBON DIOXIDE HYDRATE
FORMATION RATE ON MODEL STRATUM
WATER MINERALIZATION**

Lyudmila Kalacheva, Izabella Ivanova, Albert Portnyagin,
Matvey Semyonov, Sardaana Solovieva, Alexander Nikolaev
Institute of Oil and Gas Problems Siberian Branch of the Russian Academy of
Sciences, 2 Petrovsky st., Yakutsk, 677980, Russia

Annotation. In this paper the processes of carbon dioxide hydrates formation in model solutions simulating the stratum water of chloride-calcium type were investigated. It was established that hydrate formation proceeds in two stages: carbon dioxide dissolution and the hydrate formation. The rate of hydrate formation decreases with increasing of solutions concentration. The obtained results show the efficiency of carbon dioxide hydrate formation in waters with low salinity.

1. Введение

Огромные предполагаемые запасы газовых гидратов в Мировом океане представляют собой особый интерес в качестве потенциального источника энергии [1-2]. В промышленности газовые гидраты используются при разделении смесей газов, опреснении морской воды, хранении и транспортировке природного газа и т.д. [3]. В последнее время еще одним направлением применения газогидратных технологий является утилизация парникового углекислого газа [4-5]. Но наиболее перспективным считается метод закачки диоксида углерода в газогидратный пласт с последующим замещением метана [6-7]. Данный метод, в отличие от других методов разработки газогидратных залежей, позволяет сохранять механическую прочность вмещающих пород. На суше газогидратные залежи могут существовать в районах вечной мерзлоты и совмещены с месторождениями природного газа, пластовые воды которых относятся к хлоридно-кальциевому типу. По степени минерализации эти воды могут относиться к солоноватым (от 1 до 10 г/л), соленым (от 10 до 50 г/л) и рассолам (больше 50 г/л). В связи с этим в работе изучены закономерности процессов образования гидратов диоксида углерода в растворах, имитирующих хлоридно-кальциевые воды месторождений Якутии.

2. Объекты и методы исследования

Получение гидратов диоксида углерода проводили по методике, описанной в работе [8]. Для гидратообразования были взяты дистиллированная вода и 15% раствор хлорида кальция объемами 100 мл. Начальное давление газа составило 4 МПа, процесс гидратообразования проводился при температуре 278,15 К. Скорость образования гидратов в жидких фазах рассчитывали согласно [9].

3. Обсуждение результатов

Гидратообразование углекислого газа протекает в две стадии (Рисунок 1): 1) в начале процесс характеризуется быстрым падением давления за счет растворения газа; 2) собственно гидратообразование.

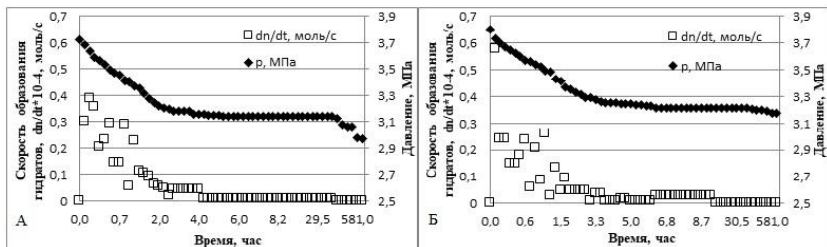


Рисунок 1. Скорость образования гидратов диоксида углерода в воде (А) и 15% растворе хлорида кальция (Б)

Скорость гидратообразования по сравнению скоростью растворения углекислого газа на 2-3 порядка ниже (Таблица 1). С увеличением концентрации растворов гидратообразование протекает медленнее. По-видимому, это связано с так называемым «эффектом высаливания»: растворимость газов уменьшается с увеличением минерализации растворов, что и приводит к уменьшению скорости гидратообразования (Таблица 1).

Таблица 1

Скорости гидратообразования диоксида углерода в зависимости от концентрации растворов хлорида кальция.

ω, % мас.	Минерализация, г/л	Стадия	$dn/dt \cdot 10^{-5}$, моль/мин
0	0	I	1,423
		II	0,076
5	52,01	I	0,944
		II	0,012
10	108,4	I	0,830
		II	0,004
15	169,4	I	0,776
		II	0,005

4. Выводы

Изучены скорости гидратообразования диоксида углерода в модельных растворах хлоридно-кальциевого типа, имитирующих пластовые воды газовых и газоконденсатных месторождений Якутии. Установлено снижение скорости образования гидратов с увеличением минерализации растворов. Наиболее эффективно процесс гидратообразования протекает

в пресных, солоноватых и соленых водах. В рассолах растворенные соли проявляют свойства ингибиторов гидратообразования.

4. Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта Рег. № НИОКТР АААА-А17-117040710035-7.

5. Литература:

- [1] Buffett B.A. Clathrate hydrates // *Annu. Rev. Earth Planet Sci.* - 2000. - V.28. - P.477-507.
- [2] Kvenvolden K.A. Potential effects of gas hydrate on human welfare // *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* - 1999. - V.96. - P.3420-3426.
- [3] Englezos P. Clathrate hydrates // *Ind. Eng. Chem. Res.* - 1993. - V.32. - P.1251-1274.
- [4] Brewer P.G., Friederich C., Peltzer E.T., Orr F.M. Direct Experiments on the Ocean Disposal of Fossil Fuel CO₂ // *Jr., Science.* - 1999. - V.284. - P.943-945.
- [5] Marchetti C. On geoengineering and the CO₂ problem Climatic Change // *Clim. Change.* - 1977. - V.1. - P.59-68.
- [6] Hirohama S., Shimoyama Y., Wakabayashi A., Tatsuta S., Nishida N. Conversion of CH₄-Hydrate to CO₂-Hydrate in Liquid CO₂ // *J. Chem. Eng. Jpn.* - 1996. - V.29. - P.1014-1020.
- [7] Ohgaki K., Takano K., Sangawa H., Matsumara T., Nakano S. Methane exploitation by carbon dioxide from gas hydrates-phase equilibria for CO₂ - CH₄ mixed hydrate system // *J. Chem. Eng. Jpn.* - 1996. - V.29. - No.3. - P.478-483.
- [8] Kalacheva, L.P., Rozhin, I.I., Fedorova, A.F. The study of the stratum water mineralization influence on the hydrate formation process of the natural gas from the East Siberian platform fields // *SOCAR Proceedings, 2017.* - Issue 2. – Pp. 56-61(in Russian).
- [9] Fitzgerald G.C. Methane hydrate formation and thermal based dissociation behavior in silica glass bead porous media / G.C. Fitzgerald, M.J. Castaldi, and J.M. Schicks // *I&ES research, 2014.* - V. 53. - Pp. 6840-6854.

УДК 622.8

ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ТРАНСФОРМАЦИИ ЗОЛОТА В РАБОЧЕЙ ЗОНЕ БАРАБАННОЙ ШАРОВОЙ МЕЛЬНИЦЫ

Иван Лебедев, Дьулустан Осипов

ФГБУН Институт горного дела Севера СО РАН им. Н.В. Черского,
677980, Россия, г. Якутск, пр. Ленина, 43

RESEARCH OF GOLD TRANSFORMATION PROCESSES IN THE WORK AREA OF THE DRUM BALL BALL MILL

Ivan Lebedev, Dyulustan Osipov

Chersky Mining Institute of the North, Siberian Branch, Russian Academy of
Sciences, 43 Lenina ave., Yakutsk, 677000, Russia

Annotation. The article is aimed at studying the process of free gold deformation revealed during grinding in ball mills. At present, the main units for fine grinding of gold-bearing ores are ball and similar mills. Their working elements are the armor plates of the drum and the grinding bodies loaded into it - balls. Despite absolute leadership among the fine grinding aggregates used to open ore gold, ball mills also have serious disadvantages. It is believed that only from 2 to 20% of all energy consumed is spent directly on grinding, the rest of it is used to overcome friction, heat, sound vibration, vibration, etc. At the same time, in mills, mass deformation and destruction of free gold occurs. The destruction of particles has a clearly negative effect upon their further enrichment.

1. Введение

Разрушение полезного компонента в процессе помола в барабанных шаровых мельницах и невозможность контроля этого процесса, усложняет технологию обогащения дорогостоящими процессами извлечения (флотация, цианирование, выщелачивание и т.д.). Полученные входе исследований данные о механизме деформации частиц золота при раскрытии, будут использованы для

усовершенствования конструкции шаровых мельниц, так и для разработок новых измельчительных машин.

2. Экспериментальная часть

При измельчении золотосодержащей руды в шаровой мельнице происходит переизмельчение золота, что снижает его извлечение гравитационными способами. Масштабы этого явления зависят от режима работы установки и типа руды. Особенно большое значение имеет это для таких полезных ископаемых как золото, платина, касситерит и др. В этом направлении разработаны рекомендации лишь по подбору мельниц с «щадающей броней» и рекомендации по сохранению футеровочных покрытий [1,7,8,9,10,11], но исследований с положительными результатами малы.

Проведенные экспериментальные исследования в лабораторной шаровой мельнице показали, что частицы золота на примере маркеров свинца в процессе измельчения локализируются в определенной зоне по высоте и непрерывно «скользят» по внутренней поверхности вращающегося барабана не отрываясь от нее. При этом в процессе измельчения вследствие бомбардировки мелющими шарами и измельчаемым материалом маркеры постоянно подвергаются вальцеванию с последовательным уменьшением толщины, т.е. наименьшего размера частицы. Установлено, что в зависимости от толщины частицы зона локализации меняется, т.е. с уменьшением толщины высота подъема частицы уменьшается. В дальнейшем, при достижении степени уплощения маркеров свинца до толщины менее 0,3 мм, частицы отрываются с внутренней поверхности барабана мельницы и попадают в технологический поток измельчаемого материала. Повторная раскатка приводит к утонению пластины до 0,15 мм. В последующем, пластинки диспергируются и распадаются на чешуйки толщиной 0,1 – 0,07 мм, смешиваются в общей массе измельчаемого материалов и могут выводиться из процесса измельчения [2,3,4,5,6].

В процессе раскатки частиц в их поверхность вдавливаются множество тонкообломочного материала. После сгибания чешуек происходит повторный процесс раскатки маркеров и вдавливания в них тонкообломочного материала на поверхности сформированной вновь. В результате формируется многослойный «сэндвич» из вновь сформированных чешуек. Далее, под давлением относительно крупных частиц рассыпаются на мелкие частицы. При этом они разделяются не

только вдоль линии разрыва обломками, но и вдоль накопленных слоев сгиба чешуек.

Для большинства случаев применения шаровых мельниц, затраты на футеровку являются только малой частью общей себестоимости процесса измельчения в сравнении со стоимостью измельчающей среды, электроэнергии и объемом перерабатываемого материала. В результате экспериментальных работ и анализа современного состояния вопроса, в настоящее время выгодно выбрать правильную конструкцию, обеспечивающую оптимальный помол, сбережения полезного компонента.

На основе экспериментальных данных по поведению раскрытых и свободных частиц золота в процессе работы мельницы, авторами настоящей статьи разработана новая конструкция с винтообразным углублением поверхности футеровки мельницы (рисунок 1).

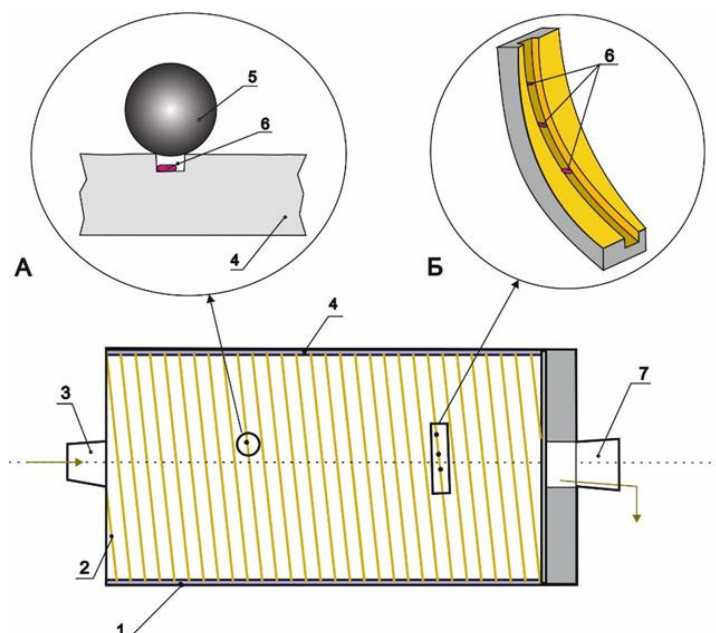


Рисунок 1. Шаровая мельница с постоянной разгрузкой полезного компонента: 1 – барабан; 2 – рифли; 3 – загрузочный патрубок, 4 – броня, 5 – мелющий орган, 6 – полезный компонент, 7 – разгрузочный

патрубок. А – фрагмент брони с рифлями и мелющим органом (шар), Б – фрагмент рифли с полезным компонентом.

Принцип работы мельницы заключается в следующем. В рабочую полость мельницы, через загрузочный патрубок подаются: вода, рудный материал. В процессе разрушения рудных обломков, частицы полезных компонентов с высокой плотностью просаживаются на поверхность футеровки и попадают в углубления рифли выполненные на плитах брони в виде винтовой нарезки. С этого момента тяжелые частицы становятся недосягаемы для мелющих органов и не подвергаются деформации.

3. Выводы

Таким образом, процесс трансформирования формы золота в процессе шарового измельчения требует необходимости сохранения первоначального размера) после вскрытия из рудной массы и своевременного вывода из процесса измельчения. В ходе проведения исследований нами разработана новая модель шаровой мельницы с непрерывной разгрузкой полезных компонентов из рабочей зоны мельницы, с соответствующей конструкцией внутренней поверхности (футеровки) позволяющей снизить процесс вальцевания частиц золота (подана заявка на изобретение).

4. Благодарности

Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №18-45-140036 p_a.

5. Литература:

- [1] Gabibov I.A., Hamidov F.M., Chakraborti P.P. The results of improvements of SAG type mills used in the Azerbaijan International Mining Company // Bulletin of the Ural State Mining University. 2018. Issue. 2, pp. 102 - 106.
- [2] Osipov D.A., Filippov V.E. Detailing the process of destruction of geomaterials in a laboratory ball mill // Mining Information and Analytical Bulletin. 2011. No. 11. pp. 223 - 227.
- [3] Osipov D.A., Filippov V.E. Determination of the operating parameters of mills using malleable markers // "Effective Technologies for the Production of Non-Ferrous, Rare and Noble Metals": Materials of the

International Scientific and Practical Conference, Almaty, 27-29 September 2018, Almaty, 2018. - [Electronic digest].

[4] Osipov D.A., Filippov V.E. Ball mill with a helical recess // Mining Information and Analytical Bulletin. 2017. Special. issue 24. pp. 193-200.

[5] Osipov D.A. The evolution of the technological properties of gold particles during disclosure // Science, Technology and Education. 2016. No. 12 (15). pp. 13 - 16.

[6] Filippov V.E., Nikiforova Z.S. The formation of gold placers under the influence of aeolian processes. - Novosibirsk: Science. Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 1998.160 p.

[7] Erickson K, Gander M, Grebenschikov A.L., Fischev V.Yu. Development of mill lining systems // Mining. 2003 - No. 1. - p. 24.

[8] Abdellaoui M, Gaffet E. The physics of mechanical alloying in a planetary ball mill: Mathematical treatment // Journal of Process Control. 2005. Vol. 15, pp. 273 – 283.

[9] Rodrigo M, Luís C, Tavares M. Predicting the effect of operating and design variables on breakage rates using the mechanistic ball mill model // Minerals Engineering. 2013. Vol. 43–44, pp. 91–101.

[10] Schnatz R. Optimization of continuous ball mills used for finish-grinding of cement by varying the L/D ratio, ball charge filling ratio, ball size and residence time // International Journal of Mineral Processing. 2004. Vol. 74, pp. 55 – 63.

[11] Yang, J., S. Li, C. Xi-Song, Q. Li. Disturbance Rejection of Ball Mill Grinding Circuits Using DOB and MPC // Powder Technology 2010.Vol. 198, pp. 219 – 228.

УДК 553.98:622.27

**ИЗУЧЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИЗВЛЕЧЕНИЯ
КОМПОНЕНТОВ С₂-С₄ ПРИ ОБРАЗОВАНИИ
ГИДРАТОВ ПРИРОДНОГО ГАЗА ОТРАДНИНСКОГО
ГКМ В ПЛАСТОВЫХ ВОДАХ ХЛОРИДНО-
КАЛЬЦИЕВОГО ТИПА**

Александр Николаев, Альберт Портнягин, Людмила Калачева,
Сардаана Соловьева

ФИЦ «ЯНЦ СО РАН» ФГБУН Институт проблем нефти и газа СО РАН,
677980, Россия, г. Якутск, ул. Петровского, 2

STUDY OF THE EXTRACTION EFFICIENCY OF C2-C4 COMPONENTS DURING THE NATURAL GAS HYDRATES FORMATION OF THE OTRADNINSKY GAS CONDENSATE FIELD IN CHLORIDE-CALCIUM TYPE STRATUM WATERS

Alexander Nikolaev, Albert Portnyagin, Lyudmila Kalacheva,
Sardaana Solovieva

Institute of Oil and Gas Problems Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 2 Petrovsky st., Yakutsk, 677980, Russia

Annotation. The possibility of using hydrate formation for the enrichment of natural gas with homologues of methane C2-C4 was studied. It is shown that during the formation of hydrates in distilled water, the concentration of C2-C4 components in the gas converted to the hydrate increases by 2.4 times, compared with the source gas. It is also shown that the use of a 10% sodium chloride solution as a hydrate medium leads to an increase in the content of these components in the hydrate by 65.5%, compared with the hydrate formed in distilled water. It was found that the coefficient of gas enrichment efficiency by hydrate formation was 86.1% for hydrates formed in sodium chloride solution, which is 20% higher than that of hydrates formed in distilled water.

1. Введение

Сжигание природного и попутного нефтяного газов (ПНГ) на факельных установках является повсеместной практикой. В апреле 2015 года ООН инициировала начало реализации программы «Полное прекращение регулярного факельного сжигания ПНГ к 2030 году», целью которой является прекращение непродуктивного сжигания ПНГ [1]. Поэтому, в работе рассматривается возможность превращение природного и попутного нефтяного газов в газогидратную форму и обогащение его компонентами C2-C4.

2. Объекты и методы исследования

В данной работе для изучения процессов гидратообразования был выбран природный газ Отрадинского ГКМ, а также исследованы процессы разложения полученных гидратов. Для получения гидратов была использована дистиллированная вода и 10% раствор хлорида натрия, имитирующий пластовую воду хлоридно-кальциевого типа.

Гидраты природного газа получали в стальных камерах объемом 1000 мл, снабженных образцовым манометром и запорной арматурой. Для получения гидратов в камеру заливалось 100 мл жидкости и подавался газ до достижения давления 8 МПа. Далее камера помещалась в термостат с температурой 278,15 К. Эксперимент проводился до прекращения изменения давления в камере. Для разложения полученных гидратов природного газа давление в камере понижали до атмосферного, при этом отбиралась проба газа, оставшегося над гидратом. После этого камеру помещали в термостат, где была установлена температура 298,15 К. Далее измеряли объем газа, выделяющегося при разложении гидрата, через каждую минуту с помощью газосчетчика. Одновременно отбирали пробы газа для анализа компонентного состава.

3. Обсуждение результатов

После разложения гидратов были построены кривые зависимости объемов, выделившихся при разложении гидратов, газа от времени. Показано, что при разложении гидратов, полученных в растворе хлорида натрия, выделилось на 12% меньше газа по сравнению с гидратами, полученными в дистиллированной воде. По объему газов была рассчитана степень разложения гидратов [2].

По кривым зависимости степени разложения гидратов от времени можно оценить время разложения 50% полученных гидратов $\tau_{0,5}$. $\tau_{0,5}$ гидратов, полученных в дистиллированной воде (60 секунд) меньше $\tau_{0,5}$ гидратов, синтезированных в растворе хлорида натрия (160 секунд). Следовательно, гидраты, образованные в растворе хлорида натрия, более устойчивы.

Пробы газа, отобранные над гидратами, а также пробы газа, выделившихся из гидратов в процессе их разложения, были исследованы методом газоадсорбционной хроматографии.

Далее рассчитаны эффективность процесса концентрирования ценных компонентов природного газа в гидратах с помощью универсального коэффициента обогащения (E) по формуле (1):

$$E = (\gamma_k \cdot \beta_k) / \alpha \cdot (\beta_{\text{хо}} \cdot (100 - \beta_k)) / (100 - \alpha),$$

где γ_k – это объем газа, выделившегося при разложении гидрата; β_k – содержание C2-C4 в газе, связанном в гидрат; $\beta_{\text{хо}}$ – содержание C2-C4 в газе над гидратом; α – содержание C2-C4 в исходном природном газе [3].

4. Выводы

Показано, что в процессе гидратообразования происходит увеличение концентрации компонентов C2-C4 в гидратах, синтезированных в дистиллированной воде в 2,4 раза и в 4 раза, полученных в растворе хлорида натрия, по сравнению с исходным природным газом. Концентрирование углеводородов C2-C4 приводит к повышению коэффициента эффективности обогащения газа в гидратах, полученных в растворе хлорида натрия на 20% по сравнению с гидратами, полученными в дистиллированной воде. Таким образом, гидратообразование является эффективным методом обогащения природного газа более тяжелыми гомологами метана для повышения его теплотворной способности с дальнейшим хранением в газогидратной форме.

5. Литература:

- [1] Knizhnikov A.Yu., Ilyin A.M. Problems and Prospects for the Use of Associated Petroleum Gas in Russia. - M.: WWF, 2017. - 32 p. (in Russian)
- [2] Kalacheva L.P., Portnyagin A.S. Properties of natural gas hydrates obtained in model solutions of a hydrocarbonate-sodium type // International Journal of Applied and Basic Research. - 2017. - No. 10-2. - S. 196-200. (in Russian)
- [3] Vorobyov N.I., Novik D.M. Mineral processing: a manual for students of the specialty 1-48 01 01 "Chemical technology of inorganic substances, materials and products" specialization 1-48 01 01 01 "Production technology of mineral fertilizers, salts and alkalis". – Minsk: BSTU, 2008. - 174 p. (in Russian)

УДК 621.671.22

О ПРИЧИНАХ НИЗКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ СЕКЦИОННЫХ НАСОСОВ ПОДЗЕМНЫХ КИМБЕРЛИТОВЫХ РУДНИКОВ

Николай Овчинников¹, Борис Дамбуев¹, Игорь Зырянов²

¹ ФГАОУ ВО Северо-Восточный федеральный университет им. М.К.

Аммосова, 677000, Россия, г.Якутск, ул. Белинского, 58

² МПТИ (ф) СВФУ, 678175, Россия, г. Мирный, ул. Тихонова 5/1

ABOUT THE REASONS FOR LOW OPERATIONAL RELIABILITY OF UNDERGROUND KIMBERLITE MINES' SECTIONAL PUMPS

Nickolay Ovchinnikov¹, Boris Dambuev¹, Igor Zyryanov²

¹ M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, 58 Belinsky st., Yakutsk,
677000, Russia

² MPI (branch) NEFU, Tikhonov street, 5/1, Mirny, 678175, Russia

Annotation. The problem of improving the operational reliability of underground mining objects' pumping equipment operated by mining enterprises of the Russian Federation, in particular JSC ALROSA (PJSC) has become very relevant today. To solve the problem of improving the operational reliability of underground kimberlite mines' section pumps, the first step is to identify the causes of this problem. This article is devoted to this scientific and practical problem.

1. Введение

После августовских событий 2017 г., случившихся в подземном кимберлитовом руднике «Мир», проблема повышения эксплуатационной надежности насосного оборудования подземных горных объектов, эксплуатируемых горнодобывающими предприятиями РФ, в частности АК «АЛРОСА» (ПАО), на сегодняшний день стала очень актуальной. Для решения проблемы повышения эксплуатационной надежности секционных насосов подземных кимберлитовых рудников необходимо первым делом выявить причины возникновения этой проблемы. Именно этой научно-практической задаче и посвящена настоящая работа.

2. Основной раздел

Экспериментально было установлено, что откачиваемая из горных выработок подземных кимберлитовых рудников шахтная вода представляет собой сильнозагрязненный рассол с водородным показателем $pH = 5...9$, негативное воздействие которой на детали проточной части насосного оборудования увеличивается с ростом его подачи и напора [1].

Особенно от действия шахтной воды в условиях подземных кимберлитовых рудников страдает узел гидропята – наиболее отказывающий элемент в конструкции, долговечность которого в значительной степени влияет на периодичность капитальных ремонтов секционных насосов, что подтверждается полученными результатами регрессионной статистики [1, 2].

Потеря работоспособности узла гидропята приводит к активному затиранию корпусных деталей насоса с его рабочими колесами, что влечет за собой катастрофические разрушения последних [2]. Низкая безотказность узла гидропята в условиях подземных кимберлитовых рудников объясняется тем фактом, что изношенные заводские детали данного узла либо восстанавливаются и повторно используются, либо заменяются на неоригинальные детали. Практика показывает, что средневзвешенная наработка таких узлов до отказа обычно в несколько раз ниже средневзвешенной наработки заводских узлов до отказа.

Практика показывает, что кроме своей длительности доставка запчастей или в целом насосного оборудования на предприятия АК «АЛРОСА» (ПАО) имеет еще один недостаток – внеплановое разрушение ряда деталей в процессе перевозки. К примеру, после доставки секционных насосов главного водоотлива подземного кимберлитового рудника «Удачный» из г. Тула, где выполнялась их модернизация и капитальные ремонты, технический ресурс подшипниковых узлов не превышал одного моточаса после запуска.

Данная тенденция объясняется остаточной деформацией валов, возникшей в процессе длительной перевозки насосного оборудования в условиях низкого качества дорожного полотна. Кроме этого, у 25 из 30 исследованных секционных насосов не решена проблема попадания шахтной воды в подшипниковые камеры.

Практика показывает, что при попадании в подшипниковую камеру агрессивная шахтная вода практически полностью уничтожает масляную пленку, вследствие чего, активизируется процесс механического

изнашивания сегментов подшипникового узла, который влечет за собой преждевременный его отказ.

Из всего вышеизложенного, приходим к выводу, что низкая эксплуатационная надежность секционных насосов водоотливных установок подземных кимберлитовых рудников вызвана не только агрессивными физико-механическими и химическими показателями откачиваемой натурной жидкости, но также суровыми дорожными условиями региона, где разрабатываются кимберлитовые месторождения и несовершенством конструкции большинства применяемых секционных насосов [3, 4, 5].

3. Выводы

Для повышения показателей надежности исследованных секционных насосов рекомендуется:

- 1) оснащать водоотливные установки дополнительными прудами-отстойниками с целью снижения концентрации механических примесей в шахтной воде, являющихся одной из причин интенсивного изнашивания насосных деталей;
- 2) жестко крепить вал насосного оборудования в процессе перевозки с целью снижения вероятности возникновения его остаточной деформации;
- 3) модернизировать конструкцию исследованных насосов с целью решения проблемы попадания агрессивной шахтной воды в подшипниковые узлы;

4. Литература:

- [1] Ovchinnikov N.P., Portnyagina V.V., Sobakina M.P. Dependence of the mean time failure a hydraulic balancing machine unit on different factors for sectional pumps of the Alrosa JSC. AIP Conference Proceedings. 2017. Vol. 1915, UNSP. 040043. DOI: 10.1063/1.5017391
- [2] Patsera S., Protsiv V. Kosmin V. Feasible Ways To Improve The Durability Of The Pumps' Parts Operating With Hydroabrasive Mixtures. Mechanics. Materials Science & Engineering. 2015. Vol. 1, p. 133-137.
- [3] Pramod J., Bachche R., Tayade M. Finite element analysis of shaft of centrifugal pump. IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering. 2013. Vol. 7. N 3, p. 37-42.
- [4] Vikulov M.A., Ovchinnikov N.P., Makhno D.E. Measurements of section pump of rotor axial position at Udachny mine. Advances in

Engineering Research. 2017. Vol. 133, p. 884-891. DOI:10.2991/aime-17.2017.143 V.Yu., Gamyarin, G.N. and Polufuntikova, L.I. Metallogeny of gold and silver in South Verkhoyanie // Gorny Zhurnal, 2017, vol. 6, pp. 9-15.

УДК 622.23:551.34

ПРОГНОЗ ПРОЦЕССА ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ ПОЛИ-ДИСПЕРСНОГО РУДНОГО МАТЕРИАЛА

Владимир Попов

ФГБУН Институт горного дела Севера СО РАН им. Н.В. Черского,
677980, Россия, г. Якутск, пр. Ленина, 43

FORECAST OF THE LEACHING PROCESS OF POLY-DISPERSED ORE MATERIAL

Vladimir Popov

Chersky Mining Institute of the North, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, 43 Lenina ave., Yakutsk, 677000, Russia

Annotation. A numerical model of the process of metal leaching in a stack of gold ore is presented. The model allows predicting heat and mass transfer processes taking into account phase and chemical transformations of the leach solution. The data used in the model include physicochemical, geometric, and operational parameters, as well as the size distribution of the bulk material of the ore. Based on the presented model, it is possible to predict the extraction and consumption of reagents using available initial parameters.

1. Введение

Одним из эффективных способов разработки месторождений с низким содержанием полезных компонентов является технология выщелачивания, отличающаяся существенно меньшей трудоемкостью и себестоимостью добычи металла [1]. 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 расположения месторождений. Определяющими параметрами в процессе цианирования являются: количество свободного цианида, соединения, которые вступают в реакцию с цианидом, размер частиц и температурные условия.

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 производных: 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 [2, 3]. Для упрощения, вычислительный эксперимент проведен в предположении однородности горных пород, характеризующихся одной формой уравнения фазового равновесия поровой влаги. Из условия подачи цианистого раствора $0.003 \text{ л}/(\text{м}^2 \text{ сек})$ получим для оценки скорости конвективного переноса фильтрационным потоком K_s величину порядка $3.0 \cdot 10^{-6} \text{ м}/\text{сек}$ для массива штабеля в талом состоянии.

Решение уравнений модели 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. На внешних границах рудного штабеля заданы условия конвективного теплообмена с окружающей средой и условия инфильтрации выщелачивающего реагента, на контакте с подстилающим массивом граничное условие 4 рода для температуры и условие протекания растворов по массообмену. Предполагается, что химическая реакция происходит мгновенно и основное время тратится на диффузионную транспортировку реагентов в реакционную зону. Собственно процесс выщелачивания происходит в кусковом материале руды, который по предположению имеет

шаровидную форму с радиусом 0,02 м. Реагент из фильтрационного потока диффундирует в кусковой рудный материал, а продукты реакции также диффузионным путем выходят в омывающий раствор. Решение этой задачи о диффузии реагента в рудном материале в предположении о шаровидной форме кусков принято в аналитической форме [4] и в дальнейшем используется как приближенное решение для определения соответствующих стоков и источников системы уравнений баланса концентраций. Расход выщелачивающего реагента и переход металла в раствор в результате реакции выщелачивания определяются суммированием диффузионных потоков со всей поверхности реагирующего кускового рудного материала. На рисунках (1-2) представлены результаты расчетов на основе разработанной математической модели процесса выщелачивания. На (рисунке 1) приведены профили концентрации растворенного металла на фронте выщелачивания в конкретные моменты времени. Ширина этих зон определяется распределением кускового рудного материала по размеру. Расчет приведен для размера куска $r=0.02$ м. На (рисунке 2) представлены расположение профилей концентрации выщелачивающего раствора цианида для таких же значений времени.

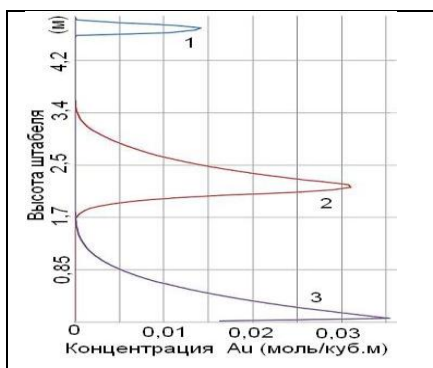


Рисунок 1. Распределение концентрации C_2^f выщелаченного металла в растворе в объеме штабеля для различных моментов времени (1- 2 суток; 2- 16 суток; 3- 32 суток)

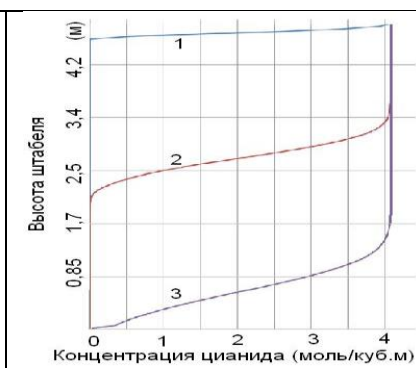


Рисунок 2. Распределение выщелачивающего раствора цианида C_1^f в объеме штабеля для различных моментов времени (1- 2 суток; 2- 16 суток; 3- 32 суток)

3. Результаты

Данная расчетная модель позволяет получить оценку времени на восстановление рабочей температуры штабеля при аварийном простое или необходимые параметры теплоизоляции при продлении работ в условиях влияния отрицательных температур среды [2]. Так как при этом допускается что массив может иметь отрицательную температуру то величины содержаний воды льда и концентрации определяются на основе уравнения фазового равновесия по начальным значениям влагосодержания и концентраций, заданных для талого состояния.

Изменение тепловых условий в теле штабеля может привести к искажению фильтрующихся потоков реагента, образованию непроницаемых зон Любые изменения условий эксплуатации в экстремальных погодных условиях будут зависеть от строения и неоднородности рудного штабеля, а также состава и качества рудного материала. Представленная модель допускает усложнение и детализацию химического взаимодействия в рассматриваемых системах включая конкурентные механизмы расхода реагентов и учета тепловых эффектов при их взаимодействии.

4. Литература:

- [1] Ковлеков И.И., Шерстов В.А., Варламов П.С., Дмитриев А.А. Опыт кучного выщелачивания золотосодержащих руд в Якутии. Наука образование, №1, 2005г. С 22-24
- [2] Попов В.И., Каймонов Определение оптимальных параметров процесса выщелачивания в рудном штабеле при отрицательных температурах окружающей среды. ГИАБ, №524 2017г. С. 292-298.
- [3] Попов В.И. Новый метод решения задач промерзания в спектре температур // Проблемы и перспективы комплексного освоения месторождений полезных ископаемых криолитозоны: Труды международной научно-практической конференции (г. Якутск 14 – 17 июня 2005 г.). Том 2. – Якутск: Изд-во института мерзлотоведения СО РАН. – 2005. – С. 57-59
- [4] Карслоу Г., Егер Д. Теплопроводность твердых тел. Изд-во Наука, Москва 1964, С. 487

УДК 66.011:553.981.2

ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА ОБРАЗОВАНИЯ ГИДРАТОВ ПРИРОДНОГО ГАЗА ИЗ ЛЬДА РАЗЛИЧНОЙ ДИСПЕРСНОСТИ

Матвей Семенов, Альберт Портнягин

ФИЦ «ЯНЦ СО РАН» ФГБУН Институт проблем нефти и газа СО РАН,
677980, Россия, г. Якутск, ул. Петровского, 2

STUDY OF THE FORMATION PROCESS OF NATURAL GAS HYDRATES FROM ICE OF VARIOUS DISPERSION

Matvey Semyonov, Albert Portnyagin

Institute of Oil and Gas Problems Siberian Branch of the Russian Academy of
Sciences, 2 Petrovsky st., Yakutsk, 677980, Russia

Annotation. The paper presents an experimental study of the formation of hydrates of natural gas from various fractions of ice. The morphology of the obtained hydrates and their relative gas content were studied. It is shown that the size of the ice used to form hydrates of natural gas directly affects the completeness of the conversion of ice into hydrate.

1. Введение

Впервые процесс гидратообразования из льда был описан еще в середине прошлого века [1]. В настоящее время широко проводятся экспериментальные исследования кинетики образования гидратов метана [2], природного газа [3] из мелкодисперсного льда. Установлено, что степень превращения в гидрат мелкомолотых частиц льда с размерами $0,2 \div 0,4$ мм может достигать в определенных условиях 95 % [4].

Эффективность метода термоциклирования для получения гидратов метана в песчаных и глинистых породах впервые была продемонстрирована Чувилиным Е.М. с соавторами [5]. Применение этого метода для получения гидратов природного газа из льда описано в работе [6]. В ранних работах нами был подобран оптимальный режим циклического изменения температуры (термоциклирования) в закрытых реакторах для получения гидратов с высоким газосодержанием из формованного льда. Однако влияние размеров используемого для

гидратообразования льда на полноту превращения воды в гидрат ранее для исследуемой системы «лед-природный газ» не изучалось. Поэтому целью данной работы является исследование влияния размера льда на процесс образования гидратов природного газа при термоциклировании системы.

2. Основной раздел

В качестве объектов исследования был выбран лед из дистиллированной воды трех разных размеров: куски льда с размером 20 мм; лед полусферической формы, диаметром 40 мм и лед цилиндрической формы с диаметром основания 80 мм и высотой 20 мм. В качестве газа-гидратообразователя был использован природный газ Средневилуйского газоконденсатного месторождения.

Для образования гидратов природного газа, навеску льда (100 г.) помещали в охлажденную камеру высокого давления, в которую подавали природный газ до достижения избыточного давления в камере равному 5,0 МПа. Далее камеру помещали в термостат-инкубатор Sanyo MIR-254 настроенный на поддержание температуры равной -5°C (Рисунок 1).

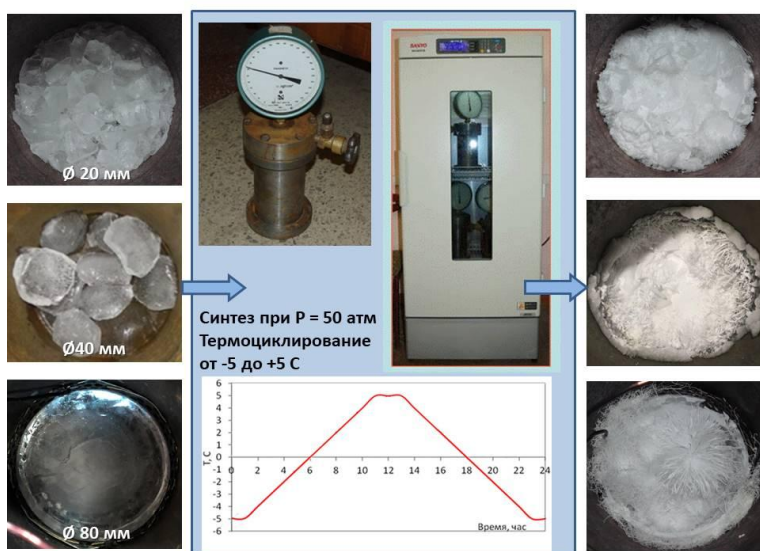


Рисунок 1. Фотографии заправки камер льдом, режим термоциклирования и полученные гидраты ПГ

После того как давление в камерах стабилизируется, что говорит о достижении в камере заданной температуры, запускали на термостате-инкубаторе специальную программу нагревания/охлаждения, график изменения температуры которой приведен на рисунке 1. Процесс образования гидратов фиксировали по изменению давления внутри камер. Вскрытие камер производили в морозильной камере при температуре $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Для чего, сбрасывали остаточное давление в камере, отсоединяли крышку-фланец и фиксировали полученные гидраты на фото-видеоаппаратуру. Затем быстро отбирали образец гидрата (откалыванием кусков с поверхности массива или отбором отдельных кусков), взвешивали и помещали под стеклянный купол расположенный в термостате с температурой 5°C , соединенный с газовым счетчиком ГСБ-400, с помощью которого измеряли объем выделяющегося при диссоциации гидрата газа.

Относительное газосодержание полученных гидратов (α) определяли по отношению количества выделившегося при диссоциации гидрата газа к теоретически возможному содержанию метана в газовом гидрате [9].

На основании полученных экспериментальных данных были изучены морфология и механизм роста гидратов из льда (Рисунок 1), а также рассчитано относительное газосодержание синтезированных гидратов (Таблица 1).

Так, установлено, что из кусков льда размеров 20 мм образуется преимущественно порошкообразный гидрат, при этом самые крупные куски льда сохранили свою форму, однако при даже, самом незначительном на них физическом воздействии разрушались до порошкообразного состояния. Лед в форме полусфер при образовании из него гидрата в основном сохранил свою форму в виде полого остова, который также разрушался при небольшом на него воздействии. Основная же масса гидрата, как и в первом случае, представляла собой мелкодисперсный порошок. В отличие от более мелких фракций льда, ледяные цилиндры полностью сохранили свою форму. Гидрат образовался лишь на их поверхности, вследствие чего цилиндры незначительно уменьшились в размере.

Относительное газосодержание полученных гидратов, представленное в таблице 2, свидетельствует о том, что лед небольших размеров практически полностью перешел в гидрат природного газа, тогда как из ледяных цилиндров в гидрат перешло лишь 42% их массы.

Таблица 1

Параметры полученных гидратов природного газа			
Фракция	$m_{\text{гидрата}}, \text{Г}$	$V_{\text{газа}}, \text{мл}$	$\alpha, \%$
Помол, 20 мм	53±1	7470±448	88,1±0,8
Полусфера, 40 мм	48±0,96	7050±444	91,8±0,9
Цилиндр, 80 мм	67,7±2	4640±273	42,8±0,8

3. Выводы

Таким образом, показано, что величина размеров льда напрямую влияет на процесс гидратообразования при термоциклировании системы «лед - природный газ». Так, при нахождении системы в области положительных температур, мелкодисперсный лед постепенно тает и полностью переходит в гидрат, а большие куски цилиндрического льда в этот промежуток времени не успевают таять, вследствие чего у них наблюдается низкое относительное газосодержание.

4. Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта Рег. № НИОКТР АААА-А17-117040710035-7.

5. Литература:

- [1] Barrer R.M., Ruzicka D.I. Non-stoichiometric clathrate compounds of water. P. 2. Formation and properties of hydrates // Trans. Faraday Soc., 1962. - Vol. 58. - Pp. 2239-2252.
- [2] Liu W., Wang L., Yang M., Song Y., Zhang L., Li Q., Chen Y. Experimental Study on the Methane Hydrate Formation from Ice Powders // Energy Procedia. - 2014. - Vol. 61. - Pp. 619-623.
- [3] Podenko L.S., Drachuk A.O., Molokitina N., Nesterov A.N. Natural gas hydrates formation in dispersed ice stabilized with silica nanoparticles // Earth's Cryosphere. - 2017. - Vol. 21. - Pp. 43-51.
- [4] Liu W., Wang L., Yang M., Song Y., Zhang L., Li Q., Chen Y. Experimental Study on the Methane Hydrate Formation from Ice Powders // Energy Procedia. - 2014. - Vol. 61. - Pp. 619-623.
- [5] Chuvilin E.M., Perlova E.V., Makhonina N.A., Yakushev V.S. Research of hydrate and ice formation in soils during cyclic fluctuations of temperature / Ground Freezing-2000. - Balkema Rotterdam, - 2000. - Pp. 9-14.

[6] Semenov M.E., Portnyagin A.S., Shits E.Yu. Obtaining synthetic natural gas hydrates from ice in closed reactors during thermal cycling // Science and Education, 2017. - No. 3. - Pp. 76-81. (in Russian).

[7] Yakushev V.S. Natural gas and gas hydrates in cryolithozone / M.: Gazprom VNIIGAZ, 2009. – P. 192. (in Russian).

УДК 622.27:548.56

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ
ГИДРАТООБРАЗОВАНИЯ В ВОДНЫХ СИСТЕМАХ,
ОБРАЗУЮЩИХСЯ ПРИ ДОБЫЧЕ НЕФТИ И ГАЗА**

Матвей Семенов, Людмила Калачева, Изабелла Иванова,
Игорь Рожин, Кира Аргунова, Альберт Портнягин, Сардаана Соловьева,
Александр Николаев
ФИЦ «ЯНЦ СО РАН» ФГБУН Институт проблем нефти и газа СО РАН,
677980, Россия, г. Якутск, ул. Петровского, 2

**RESEARCH OF HYDRATE FORMATION PROCESSES
IN WATER SYSTEMS FORMED BY OIL AND GAS
PRODUCTION**

Matvey Semyonov, Lyudmila Kalacheva, Izabella Ivanova,
Igor Rozhin, Kira Argunova, Albert Portnyagin, Sardaana Solovieva,
Alexander Nikolaev
Institute of Oil and Gas Problems Siberian Branch of the Russian Academy of
Sciences, 2 Petrovsky st., Yakutsk, 677980, Russia

Annotation. The paper discusses the results of a study of natural gas hydrates formation in: emulsions of asphalt-resin-paraffin deposits, model of stratum water and, for comparison, distilled water. The synthesis of hydrates was carried out in high-pressure chambers under static conditions in the temperature range $+20\div-10^{\circ}\text{C}$ and a pressure of 8 MPa. From the change in pressure in the chambers during hydrate formation, the rates of gas transition to the hydrated phase in the systems under study were calculated.

1. Введение

Образование гидратов в нефтяных скважинах является актуальной проблемой при разработке месторождений Крайнего Севера, Западной и Восточной Сибири. Нефтяные месторождения Республики Саха (Якутия) сосредоточены в основном на Непско-Ботуобинской нефтегазоносной области (НБНГО). Суровый климат и многолетняя мерзлота этих районов создают благоприятные условия для образования асфальто-смолопарафиновых отложений (АСПО), кристаллизации минеральных солей из пластовой воды, а также гидратообразования на стенках нефтепромыслового оборудования в виде комплексных отложений сложного состава, которые можно объединить общим названием – твердые отложения [1].

Таким образом, целью работы является оценка скорости образования гидратов природного газа в различных системах, образующихся при добыче нефти и газа.

2. Объекты и методы исследования

Объектами исследования являлись гидраты природного газа, синтезированные в системах, состоящих из: 1) дистиллированной воды и промысловых АСПО парафинистого типа (АСПО/вода - 20/80) - образцы отобраны с поверхности насосно-компрессорных труб на Иреляхском месторождении НБНГО, 2) поскольку пластовые воды на месторождениях НБНГО относятся хлоридно-кальциевому генетическому типу [2] в качестве модели пластовой воды использовался раствор хлорида кальция (15 масс.%). Приготовление образцов описано в работе [3].

В качестве газа-гидратообразователя использовался природный газ Средневилюйского нефтегазоконденсатного месторождения, который по своему составу близок к пластовым газам Иреляхского месторождения. Синтез гидратов в исследуемых системах осуществлялся в камерах высокого давления в статических условиях по методике [4]. Заправленные природным газом ($7,8 \pm 0,2$ МПа) камеры помещались в инкубатор-холодильник фирмы SANYO MIR-254 с программируемой системой контроля температуры (точность $\pm 0,3^\circ\text{C}$). Насыщение водных систем природным газом проводилось при температуре $+20^\circ\text{C}$ в течение суток. Затем температура понижалась с линейной скоростью $3,3^\circ\text{C}/\text{ч}$ до -10°C при этом фиксировалось изменение давления в камерах.

3. Обсуждение результатов

На основании полученных экспериментальных данных были рассчитаны скорости гидратообразования для исследуемых систем по методике [5]. Процесс образования гидрата природного газа в водном растворе хлорида кальция (рисунок 1(Б)) длится около 7 часов и характеризуется увеличением скорости гидратообразования в течение первых 3 часов эксперимента до достижения максимальной скорости, которая держится 1 час и затем линейно снижается до полного прекращения процесса.

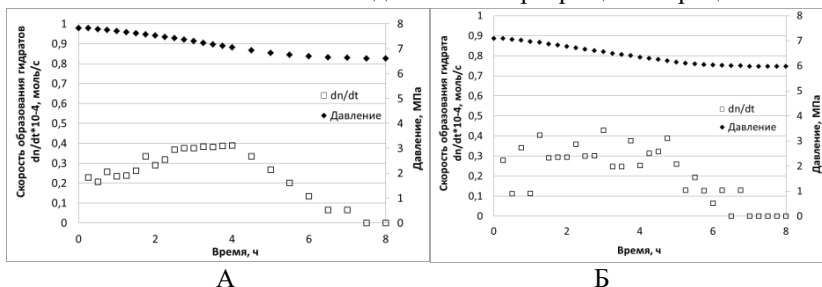


Рисунок 1. Скорость образования гидратов природного газа в растворе хлорида кальция (15 масс.%) (А) и в системе АСПО/вода (20/80) (Б)

Скачкообразное изменение скорости образования гидрата в системе АСПО/вода (рисунок 1 (Б)) связано диспергированным состоянием воды в эмульсии, где каждая капля выступает в качестве микрореактора гидратообразования [3].

В таблице 1 приведены значения скорости гидратообразования в модельных водных системах.

Таблица 1.

Скорость гидратообразования природного газа в водных системах

Объекты	Скорость гидратообразования* 10^{-5} , моль/с
Дист. H ₂ O	4,00
CaCl ₂ 15%	3,68
АСПО/Вода 20/80	3,51

Сравнительно низкую скорость гидратообразования в модельной пластовой воде по сравнению с дистиллированной водой можно объяснить тем, что хлорид кальция является термодинамическим ингибитором процесса гидратообразования.

Минимальное значение скорости гидратообразования в системе АСПО/вода, вероятно, связана с высокой вязкостью эмульсий, а также ингибирующим действием асфальтенов, входящих в состав АСПО, на процесс гидратообразования [6].

4. Выводы

Таким образом, скорость гидратообразования уменьшается в следующей последовательности: дистиллированная вода > 15 масс.% раствор хлорида кальция > высокообводненная эмульсия АСПО. Полученные новые экспериментальные данные хорошо коррелируют с литературными данными зарубежных исследователей [6].

5. Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта Рег. № НИОКТР АААА-А17-117040710035-7.

6. Литература:

- [1] Chertovskikh E.O., Shits E.Yu., Ivanova I.K., Siraev R.U., Vakhromeev A.G. Solid deposits (paraffin deposits, hydrates, salts) in oil wells of Eastern Siberia // Interdisciplinary Institute "Science and Education", 2014. - No 3. - Pp. 106 - 109. (in Russian).
- [2] Water of oil and gas deposits of the USSR: Reference book / ed. L.M. Zorkina. M.: Nedra, 1989. - P. 382. (in Russian).
- [3] Ivanova I.K., Semenov M.E., Koryakina V.V., Shits E.Yu., Rozhin I.I. Investigation of natural gas hydrates formation/decomposition processes in systems consisting of "commercial asphaltene-resin-paraffin deposits and water" // Russian Journal of Applied Chemistry, 2015. - Vol. 88. – No 6. - Pp. 941-948.
- [4] Kalacheva L.P., Shits E.Yu., Rozhin I.I., Semenov M.E. The study of the formation and decomposition of natural gas hydrates as applied to gas hydrate technologies // Chemistry for Sustainable Development, 2010. - Vol. 18. - No 2. - Pp. 153-157. (in Russian).
- [5] Fitzgerald G.C. Methane hydrate formation and thermal based dissociation behavior in silica glass bead porous media / G.C. Fitzgerald, M.J. Castaldi, and J.M. Schicks // I&ES research, 2014. - Vol. 53. - Pp. 6840-6854.
- [6] Zi M., Chen D., Ji H., Wu G. Effects of asphaltenes on the formation and decomposition of methane hydrate: A molecular dynamics study // Energy Fuels, 2016. - Vol. 30. - No 7. - Pp. 5643-5650.

**ОСОБЕННОСТИ ВЕДЕНИЯ ГОРНЫХ РАБОТ НА
РАЗРЕЗАХ В СОСТАВЕ ЦЕПОЧКИ ПОСТАВОК УГЛЯ
В УДАЛЕННЫЕ РАЙОНЫ РС(Я)**

Владислав Федоров¹, Владимир Гаврилов^{1,2}

¹ ФГБУН Институт горного дела Севера СО РАН им. Н.В. Черского,
677980, Россия, г. Якутск, пр. Ленина, 43

² Институт горного дела им. Н.А. Чинакала СО РАН, 630091, Россия, г.
Новосибирск, Красный проспект, 54

**SPECIAL FEATURES OF MINING IN THE COAL
SUPPLY CHAIN TO REMOTE AREAS OF THE
REPUBLIC SAKHA (YAKUTIA)**

Vladislav Fedorov¹, Vladimir Gavrilov^{1,2}

¹ Chersky Mining Institute of the North, Siberian Branch, Russian Academy
of Sciences, 43 Lenina ave., Yakutsk, 677000, Russia

² N.A. Chinakal Institute of Mining, Siberian Branch, Russian Academy of
Sciences, 54 Krasniy ave., Novosibirsk, 630091, Russia

Annotation. The article presents the main reasons for the loss and dilution of energy coal in deliveries to remote areas of Yakutia. The paper shows the methods of reducing the level of coal clogging at the regional coal mines, conditions for improving the efficiency of mining companies as part of solid fuel supply chains. The use of the approaches considered allows to improve the quality of burned coal and leads to an increase in the efficiency of the use of boiler equipment, a decrease in losses of coal in the cycle of coal mining - the production of heat energy.

1. Введение

Уголь является одним из основных видов топливно-энергетических ресурсов для жилищно-коммунального хозяйства труднодоступных районов Якутии. При производстве тепловой энергии в котельных широко применяется местное и завозимое твёрдое топливо. Анализ работы цепочек поставок показал, что часто используемый слоевой

способ сжигания не обеспечивает эффективность, экологическую безопасность и полноту сгорания угля, из-за широкого применения сырья с таким качеством, которое не удовлетворяет потребителей из-за несоответствия его характеристик параметрам установленного оборудования. Наряду со сверхнормативными количественными потерями угля и тепловой энергии, снижением качества топлива при добыче и доставке его навалом в отдалённые энергоизолированные районы периодически возникают крупные чрезвычайные ситуации, ведущие к сбоям во время отопительного сезона и снижению уровня энергетической безопасности [1-2].

2. Объекты исследования

Разрезы малой и сверхмалой мощности северных районов Якутии, функционирующие в составе локальных топливно-энергетических комплексов региона и базирующиеся на запасах местных угольных месторождений, рассмотрены как объекты, где целесообразна и возможна корректировка используемых технологических решений, ориентированных на улучшение качества отгружаемого угля.

3. Изменение качественных и количественных характеристик угля при его добыче и хранении

Важным резервом повышения эффективности работы котельных со слоевым сжиганием является использование угля с минимально возможной зольностью и с крупностью кусков, превышающих размер ячеек колосников. По данным [3] расход рядового и сортового угля при одной и той же потребности в тепле сильно различается. Сортового топлива для получения одного и того же количества тепла требуется в количественном выражении в 1,6–1,7 раза меньше. Утилизация рядового угля с высоким содержанием мелких фракций вместо сортового ведёт к снижению КПД котлов с 64–73% до 23–35%, перерасходу угля до 50–100%.

Анализ показывает, что практически все действующие разрезы региона отгружают уголь в рядовом виде, содержание видимой породы в добытом угле не нормируется, а зольность превышает или находится на допустимых границах, определяемых ГОСТом или техническими условиями. При этом природная зольность угля на месторождениях

региона может быть в целом или на их отдельных участках ниже фактических значений в отгружаемой продукции. В криолитозоне на разрезах для подготовки горной массы к выемке применяется взрывная технология. Результатом её использования является переизмельчение и перемешивание угля и породы в зонах контактов в почве и кровле пластов, породных прослоев. Валовый способ добычи обычно ведёт к росту разубоживания угля высокозольной массой. При отгрузке угля в арктические районы на уровне 200 тыс.т./год 5–10% засорение угля ведёт к необходимости транспортирования до 10–20 тыс. т породы. Как следствие, снижается эффективность работы котельных, увеличиваются затраты на доставку угля (на логистику в структуре стоимости угля на месте потребления приходится до 75%).

Повышение качества угля, отгружаемого потребителям с разрезов, может быть достигнуто путём реализации комплекса предлагаемых мер, ведущих к: снижению засорения угля пустыми породами; увеличению выхода крупных классов; выпуску сортового угля и угля в мягкой таре. Предлагаемый комплекс включает следующие базовые блоки и их элементы: 1) доразведка и планирование горных работ (изучение сложности строения месторождений, оценка изменчивости и потенциала снижения зольности в пластах, их почве и кровле, построение геолого-технологических карт, выявление однородных добычных зон, планирование добычных работ в режиме управления качеством); 2) добычные работы и углеподготовка в разрезе (нормирование запасов по уровню зольности с учётом нагрузки на добычные забои, установление их рациональных параметров, определение уровня технологического разубоживания, зачистка контактов уголь-порода, сухое обогащение разубоженной горной массы, селективная выемка породных прослоев и углей разного качества, формирование более однородных по качеству угольных потоков, управление грансоставом угля на основе выбора рациональных параметров взрывных работ и схем экскавации, сухое обогащение, формирование складов угля и складов на «колёсах», усреднение, смешивание и сортировка угля, загрузка его в мягкую тару).

4. Выводы

Рассматривая цепочку поставок угля в удаленные районы севера как единое целое, становится явным, что во всех случаях ущерб от не

всегда оправданного засорения угля пустыми породами и сжигания топлива низкого качества несет конечный потребитель.

В числе вариантов повышения эффективности отработки угольных месторождений находится селективная отработка пластов, включая механическую отбойку при добыче, сортировка разубоженных углей и сухое обогащение на разрезах, тарирование угля.

Увеличение затрат на дополнительное оборудование и выполнение новых технологических операций при добыче и подготовке угля к поставкам по предварительным оценкам приведёт к снижению расходов на транспортировку и потребление угля. Компенсирование вложений разрезов возможно путём формирования разных цен на уголь разного качества: по классам крупности и уровнем засорения пустыми породами.

5. Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и Субъекта РФ – Республики Саха (Якутия) в рамках проекта №18-45-140048.

6. Литература:

[1] Zaharov V.E., Prohorov D.V., Gavrilov V.L. Poteri jenergeticheskoj cennosti riadovogo uglia pri dostavke do arkticheskikh potrebitelei Respubliki Saha (Jakutija) (Loss of energy value of raw coal delivery to Arctic consumers of the Republic of Sakha (Yakutia)) // Izvestija VUZov. Problemy jenergetiki, 2013. No 5-6. pp. 13-22.

[2] Yakutia will direct 400 million rubles to create reserve fuel reserves in remote uluses. – URL:<https://news.ykt.ru/article/40135>

[3] Tkach S.M., Gavrilov V.L. On the influence of technological chains "georesources – consumers" on coal losses for providing polar regions of Yakutia // Fundamental and applied issues of mining sciences. – 2016. – №3. – t.1. – pp. 213-218.

[4] Batugina N.S., Gavrilov V.L., Khoutanov E.A., Fedorov V.I. Coal deposits of the Arctic zone of Yakutia and Chukotka: The state of the raw material base and the possibilities for its development // Science and education. – 2014. - №4. – PP. 5-11

УДК 622.23:622.24

БУРОВАЯ КОРОНКА С КЛИНОМ В ПРОМЫВОЧНОМ ПАЗУ И УВЕЛИЧЕННЫМ ЧИСЛОМ РЕЗЦОВ

Лазарь Федоров, Илья Федоров,
ФГБУН Институт горного дела Севера СО РАН им. Н.В. Черского,
677980, Россия, г. Якутск, пр. Ленина, 43

DRILL BIT WITH A WEDGE IN THE FLUSHING GROOVE AND AN INCREASED NUMBER OF INCISORS

Lazar Fyodorov, Ilya Fyodorov
Chersky Mining Institute of the North, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, 43 Lenina ave., Yakutsk, 677000, Russia

Annotation. In the crown design with a wedge clip, a low-load free zone is laid between the incisors on the crown ring in the flushing slot to strengthen the crown body. We proposed to install additional incisors in this zone, and to compensate for the weakening of the crown body with new grooves by using 30xgsa steel, the strength of which is 2 times higher than the strength of St. 30 steel on the crown. As a result, the drilling speed increases in proportion to the increase in the number of cutters.

1. Введение

Разъемные механические способы крепления резцов нашли широкое применение в металлообработке. Однако в буровых инструментах известны только опытные образцы. Стесненные забойные условия не позволяют разместить на коронке необходимые для этого детали. Тем не менее, эффективное применение дорогих алмазных или алмазоподобных резцов требует во время их эксплуатации замены или установки на новые режущие грани. А для этого крепление резцов должно обеспечивать их съемность с корпуса буровой коронки. В известных буровых коронках с разъемным клиновым креплением количество резцов уменьшено из-за их вытеснения клиновым зажимом, из-за чего не достигается потенциально возможная скорость бурения. Исходя из вышесказанного, в работе поставлена цель устранить влияние клинового

зажима на количество рабочих резцов на коронке и достигнуть потенциально возможной скорости бурения.

2. Основной раздел статьи

Анализ способов разъемного крепления резцов буровых коронок показывает, что зачастую это достигается за счет уменьшения числа резцов, установленных на коронке. Это касается в первую очередь креплений с применением клиньев, которые вытесняют с корончатого кольца рабочие резцы. Оригинальное решение этой проблемы найдено в конструкции коронки с механическим креплением клиньями, установленными в промывочном канале [1]. Клин здесь работает не только как клин, но и выполняет функцию промывочного канала (рисунок 1). Благодаря этому на корончатом кольце устраняется глубокий паз под клин, который значительно ослабляет его, поэтому перенос клина в промывочный паз является фактором, повышающим прочность и надежность корпуса коронки с клиновым креплением резцов.

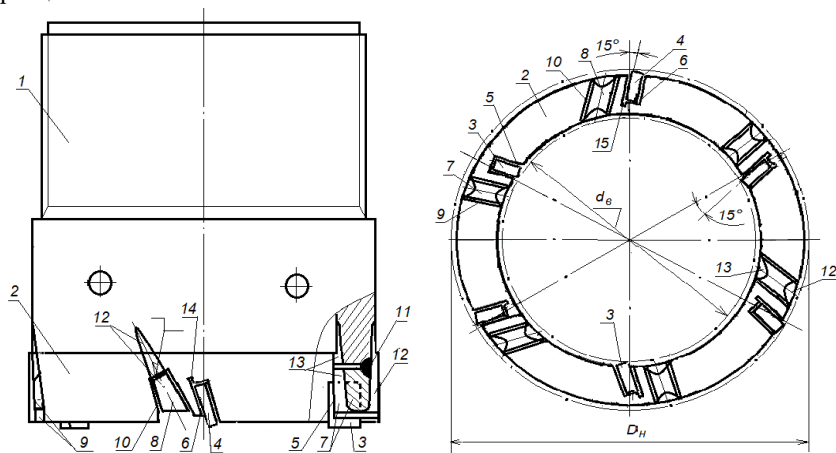


Рисунок 1. Буровая коронка с клином в промывочном пазу:
(расшифровка позиций соответствует рисунку 2)

Однако более детальный анализ показывает, что данное техническое предложение позволяет дополнительно установить на корончатом

кольце резцы, что при соответствующем повышении параметров режима бурения может дать прирост механической скорости бурения пропорционально количеству новых резцов. Но чтоб при этом не потерять прочность корпуса коронки из стали марки Ст.30, следует применить более прочную сталь марки 30ХГСА, которая в два раза прочнее первой. Это показано на рисунке 2, где видно, что число резцов увеличилось в два раза. А это значит, что также в два раза увеличится скорость бурения.

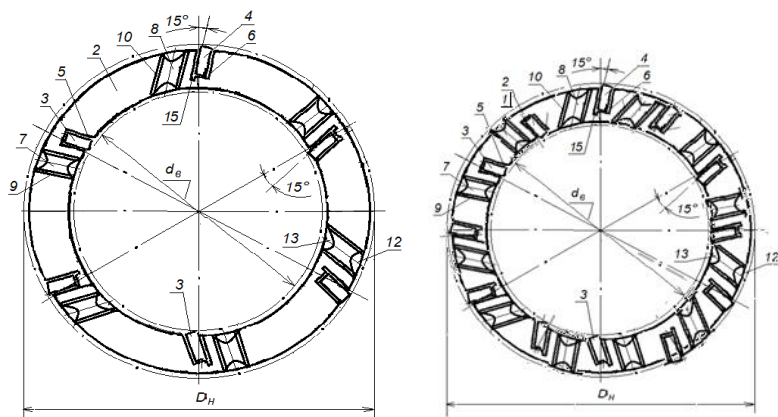


Рисунок 2. Вид снизу на коронки с 6-ю и 12-ю съемными резцами

Коронка состоит из корпуса 1, корончатого кольца 2, керно- и скважинообразующих резцов 3 и 4, установленных в прямоугольные глухие пазы, соответственно, 5 и 6, и прижимных клиньев 7 и 8, установленных в пазы 9 и 10, стенки которых для удержания клина в положении зажима скошены под углы самоторможения, например, конуса Морзе, равным углом скоса прижимных клиньев. Для повышения надежности заклинивания и увеличения жесткости корпуса коронки торец клиньев снаружи приваривается к корпусу коронки, заполняя промежуток между клином и дном паза (сварной шов 11). После этого на клинях и на корпусе коронки изготавливаются наружные и внутренние промывочные каналы 12 и 13, а для повышения равномерности усилия зажима резцов в угловой зоне по контуру глухого паза со стороны

промежуточной стенки выполнены горизонтальный 14 и вертикальный 15 разгрузочные пропилы.

При бурении коронкой с малым числом резцов увеличение скорости бурения достигается за счет увеличения нагрузки на резцы. А это зачастую ведет даже при бурении однородных пород к выкрашиванию, сколам резцов, вследствие чего начинают катастрофически ухудшаться условия работы коронки. Увеличение числа резцов на коронке до 12 обеспечивает их дублирование, что способствует равномерной, менее динамичной работе коронки, следовательно, большей проходке на коронку. А также следует иметь ввиду, что усилие зажима клином зависит также от материала резцов, примененных в коронке [2].

3. Выводы

1. Увеличение резцов в коронке не только повышает скорость бурения, но и обеспечивает более равномерную работу коронки.
2. В конструкции коронки устранен общий недостаток крепления клином - это его вытеснение резцов с короночного кольца, т.е. уменьшение их количества.

В заключение заметим, что в трещиноватых породах применение данной коронки ограничено, ввиду возможных деформаций корпуса коронки, ослабляющих клиновое крепление резцов коронки.

4. Литература:

[1] Fyodorov L.N. Drill bit with flushing channels on the clamping wedge / L.N. Fyodorov, S.A. Ermakov // Geology and mineral resources of the North - East of Russia: Materials of the VII All-Russian scientific and practical. Conf., dedicated to the 60th anniversary of the Institute of Geology of Diamond and Noble Metals of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, April 5-7, 2017: Volume II - Yakutsk: NEFU Publishing House, 2017. - P. 586-591

[2] Fyodorov L.N. The strength of the cutting plates of hard and superhard materials in the conditions of wedge clamp / L.N. Fyodorov, S.A. Ermakov, Mining Informational and Analytical Bulletin (Scientific and Technical Journal) / - 20178. - No. 12 - S. 162-179 - M.: Publishing House "Mountain Book".

ВЫБОР МЕТОДА ИНТЕРПОЛЯЦИИ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ КАРТ КАЧЕСТВА УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Евгений Хоютанов¹, Владимир Гаврилов^{1,2}

¹ ФГБУН Институт горного дела Севера СО РАН им. Н.В. Черского,
677980, Россия, г. Якутск, пр. Ленина, 43

² Институт горного дела им. Н.А. Чинакала СО РАН, 630091, Россия, г.
Новосибирск, Красный проспект, 54

CHOICE OF INTERPOLATION METHOD FOR CONSTRUCTING CARDS OF QUALITY OF COAL DEPOSITS

Evgenii Khoiutanov¹, Vladimir Gavrilov^{1,2}

¹ Chersky Mining Institute of the North, Siberian Branch, Russian Academy
of Sciences, 43 Lenina ave., Yakutsk, 677000, Russia

² N.A. Chinakal Institute of Mining, Siberian Branch, Russian Academy of
Sciences, 54 Krasniy ave., Novosibirsk, 630091, Russia

Annotation. The article shows that complex structural deposits with a heterogeneous distribution of coal's consumer properties in space require increased attention to their management during mining. Among the measures for such management are maps of coal quality in the layers. Confidence in mining and geometric simulation is determined by the adequacy of the choice of the interpolation method, the selection of the main calculated parameters. Ash contour maps constructed using various programs demonstrate low convergence of results. It is shown that when choosing the interpolation method to describe the conditions for the placement of coal properties in the seams, the basis should be based on algorithms tested on specific worked-out areas or similar deposits.

1. Введение

Выбор метода интерполяции, определение и установление его параметров, другие «технические» аспекты при картировании различных

показателей зачастую обходятся стороной, несмотря на то, что имеют важное значение. При сложных неоднородных в пространстве исходных данных, например, показателей качества угля, результаты расчетов методом, например, кригинга могут быть разными у разных специалистов. С одной стороны, такая ситуация приемлема, так как высокая степень неоднородности данных накладывает свои ограничения на применимость геостатистических методов интерполяции. С другой стороны, описываются успешные практики применения геостатистики как для прогнозирования мощности [1-3], так и качества угля с некоторыми ограничениями и модификациями [4, 5]. Такая ситуация может быть связана с неаддитивностью квалиметрических показателей угля и с отсутствием у него фиксированного химического состава [6]. На основе геостатистических методов проводится подсчет запасов и определение плотности разведочной сети. Выполняется условное моделирование для оценки уровня изменчивости свойств угольных потоков на выходе из забоев и на входе на обогатительную фабрику (электростанцию). Апробируются усовершенствованные и новые методы интерполяции, аппроксимации [7, 8], их комбинации с методами экстраполяции [9].

2. Объект исследования

Эльгинское месторождение коксующихся углей (Южная Якутия), представленное двумя десятками пластов для открытых горных работ, характеризуется высоким уровнем пространственной изменчивости качественных и количественных показателей топлива. Зольность, как один из наиболее значимых показателей качества, варьирует по всем направлениям, имеет высокие средние значения. Это, в числе прочего, обусловлено наличием в пластах большого количества породных прослоев разной мощности, учитываемых и не учитываемых при подсчёте запасов.

3. Методика, результаты и обсуждение

Ключевые особенности сложного строения и неоднородного по качеству угля Эльгинского месторождения и подобных ему залежей определяют необходимость применения специальных мер по управлению на основе картирования основных квалиметрических свойств. Достоверность карт

качества определяется корректностью подобранного метода интерполяции, опытом специалиста по их адекватному применению, подбором параметров моделирования.

Для изучения характера и особенностей распределения зольности в пластах с применением программного обеспечения Mineframe, Micromine, Golden Software Surfer 8 и использованием различных методов геостатистики выполнены расчеты и произведена визуализация полученных данных с построением соответствующих геолого-технологических карт. Для примера приведены карты изолиний зольности угля по одному из участков пласта Н₁₆. Карты построены с применением кригинга с линейной вариограммой без учёта «эффекта самородка» (рисунок, а) и методом обратных расстояний (рисунок, б).

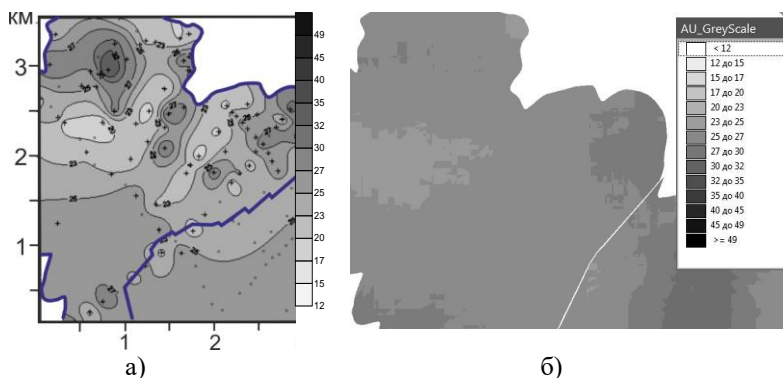


Рисунок. Карты изолиний зольности угля по пласту Н₁₆, построенные в ПО Surfer (а) и Micromine (б)

В процессе работы установлено, что практически все методы интерполяции позволяют устойчиво идентифицировать площадные и вертикальные различия по зольности угля. Однако проведенные сравнения свидетельствуют об относительно невысокой сходимости результатов картирования, сложности использования результатов моделирования при принятии решений, связанных с планированием горных работ и оперативным управлением качеством добываемого угля. Это, в свою очередь, предполагает проведение дополнительных исследований.

4. Литература:

- [1] Srivastava, R.. (2013). Geostatistics: A toolkit for data analysis, spatial prediction and risk management in the coal industry. *International Journal of Coal Geology*. 112. 2–13. 10.1016/j.coal.2013.01.011.
- [2] Pavlides, A. & Hristopulos, Dionissios & Roumpos, Christos & Agioutantis, Zach. (2015). Spatial modeling of lignite energy reserves for exploitation planning and quality control. *Energy*. 93. 1906-1917. 10.1016/j.energy.2015.10.049.
- [3] Md. Mostafijul Karim, M. Farhad Howladar. Volumetric Estimation of Coal Resources in Seam VI for Require Backfill Materials of Barapukuria Coal Mine, Dinajpur, Bangladesh. *Earth Science*. Vol. 2, No. 6, 2013, pp. 113-119. DOI: 10.11648/j.earth.20130206.11
- [4] Ersoy, A., & Yünsel, T. Y. (2006). Geostatistical Conditional Simulation for the Assessment of the Quality Characteristics of Cayrhan Lignite Deposits. *Energy Exploration & Exploitation*, 24(6), 391–416. <https://doi.org/10.1260/014459806780796312>
- [5] Naworyta, W., Sypniowski, S., & Benndorf, J. (2015). Planning for Reliable Coal Quality Delivery Considering Geological Variability: A Case Study in Polish Lignite Mining. *Journal of Quality and Reliability Engineering*, 2015, 941879. <https://doi.org/10.1155/2015/941879>
- [6] Armstrong M., Gillies A.D.S., Just G.D., Lyman G.D., Wu Y.Y. (1989) Review of the Applications of Geostatistics in the Coal Industry. In: Armstrong M. (eds) *Geostatistics. Quantitative Geology and Geostatistics*, vol 4. Springer, Dordrecht
- [7] Qi, Ailing & Kang, Wenhui & Zhang, Guangming & Lei, Haijun. (2019). Coal Seam Thickness Prediction Based on Transition Probability of Structural Elements. *Applied Sciences*. 9. 1144. 10.3390/app9061144.
- [8] Batalov D.A., Strekalov A.V. and Khusainov A.T. Problems of geological modeling // *Neftegazovoe delo*, 2014, vol. 1, pp. 65–93 (in Russian).
- [9] Rogova T.B. and Karabiber S.V. On the application of extrapolation methods in the geometrization of coal deposits // *Marksheyderskiy vestnik*, 2015, vol. 1 (104), pp. 24–27 (in Russian).

УДК 622.361

**ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ДЕЗИНТЕГРАЦИИ
ВЫСОКОДИСПЕРСНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПОСЛЕ
КРИОГЕННОЙ ОБРАБОТКИ**

Григорий Ширман, Андрей Матвеев

ФГБУН Институт горного дела Севера СО РАН им. Н.В. Черского,
677980, Россия, г. Якутск, пр. Ленина, 43

**INTENSIFICATION OF DISINTEGRATION OF HIGHLY
DISPERSED MATERIALS AFTER CRYOGENIC
TREATMENT**

Grigory Shirman, Andrey Matveev

Chersky Mining Institute of the North, Siberian Branch, Russian Academy of
Sciences, 43 Lenina ave., Yakutsk, 677000, Russia

Annotation. The article presents the results of experimental studies of the washing of high-clay sands after cryogenic treatment on a laboratory model of a bathing-type washing machine with a bubbling system. The conditions and characteristics of the influence of cryogenic treatment of clay aggregates on their adhesive properties are established depending on the particle size distribution of the initial sands, the initial moisture content and the number of freezing and thawing cycles on the process of their disintegration in a water-air environment.

1. Введение

Эффективность диспергирования песчано-глинистых смесей для высвобождения полезных компонентов определяется не только минеральным и гранулометрическим составом, применяемым способом дезинтеграции, но и такими факторами как предварительная обработка промываемого материала. Одним из способов разупрочнения песков перед дезинтеграцией является криогенная обработка. В условиях Крайнего Севера, подобная предварительная подготовка материала с применением низких температур вполне реализуема и не потребует больших финансовых затрат.

В ранее выполненной работе [1] были проведены исследования динамики формирования и разрушения глинистых окатышей в глухом промывочном барабане при криогенной обработке исходных комков различной влажности. Эксперименты показали существенное влияние на устойчивость к дезинтеграции комков при воздействии на них циклов замораживания и оттайки в диапазоне температур от 243 К до 293 К.

После 1 цикла замораживания-оттаивания наблюдалось упрочнение комков по сравнению с образцами не прошедшими криогенную подготовку – окатыши формировались и при этом были более устойчивы к дезинтеграции, однако в ходе увеличения количества циклов до 4 адгезионные свойства резко снижались, что исключало формирование плотного окатыша и способствовало увеличению эффективности промывки.

2. Экспериментальная часть

Цель проведенных исследований заключается в оценке влияния криогенной подготовки исходных глинистых песков на характер их диспергирования в водо-воздушной среде, при этом выявив особенности изменения адгезионных свойств высокодисперсных геоматериалов и определить значимые факторы криогенной обработки песков (время и температура, количество циклов промораживания и оттайки) влияющих на динамику их промывки.

Экспериментальные работы посвящены изучению воздействия циклов замораживания-оттаивания глиносодержащих песков при исходной влажности 15% на процесс их дезинтеграции.

Для проведения исследований был изготовлен лабораторный стенд аппарат ванного типа с системой барботажа (рисунок 1). Модель аппарата состоит из ванны, куда в сетчатой корзине подаётся проба. По борту на разной высоте установлены два сливных канала для удаления слива и мелких фракций. В нижней части аппарата имеется бункер для сбора промытого материала, над которым установлен коллектор для подвода воздуха. Подача воды осуществляется через патрубок, расположенный в нижней части аппарата.

Экспериментальные исследования по изучению дезинтегрируемости глинистых образцов осуществлялись следующим образом.

В качестве исходного сырья в экспериментах применялись пески с месторождения р. Б.Куранах (Алданский район, Республика Саха (Якутия), из которого изготавливались образцы определенной влажности

и гранулометрического состава. Затем образцы загружались в герметичные контейнеры и подвергались циклическому замораживанию в холодильной камере при температуре 253 К и оттаиванию в лабораторном помещении при 293 К. Количество циклов от 1 до 6, время выдержки на промерзание и оттаивание составляло 12-15 часов на каждый этап. Наряду с криогеннообработанными образцами испытанию подвергались образцы в воздушносухом и во влажном состоянии, но не подвергнутыми проморозке.

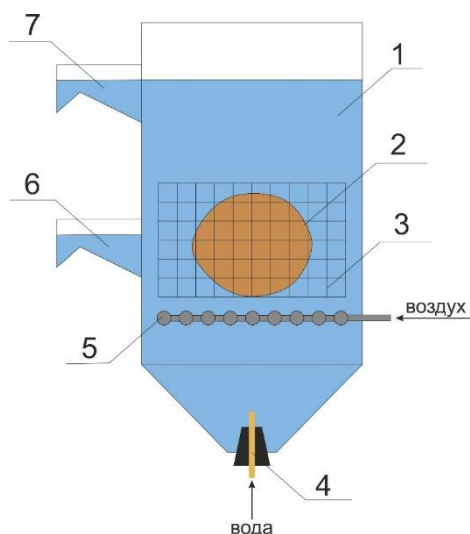


Рисунок 1. Лабораторный стенд водо-воздушного аппарата ванного типа. 1 – корпус, 2 – проба, 3 – корзина, 4 – водовод, 5 – воздушный коллектор, 6, 7 – сливные каналы.

В модель аппарата подается воздух из компрессора СО-74А (давление 0,2 Мпа, максимальный расход 40 л/мин) и вода из водопроводной сети. В сетчатой корзине загружается образец. Эксперимент проводится до полного растворения агломерата.

Всего исследования касались 3 песчано-глинистых смесей с различным содержанием глинистой составляющей 25%, 35% и 50% с заданной влажностью 15%. Без криогенной обработки конгломераты в зависимости от содержания глины полностью растворялись от 18 до 30 минут. Исследования показали, что увеличение циклов

промораживания-протаивания способствует сокращению времени промывки. На рисунке 2 представлен сводный график влияния циклов замораживания-протаивания на время диспергации.

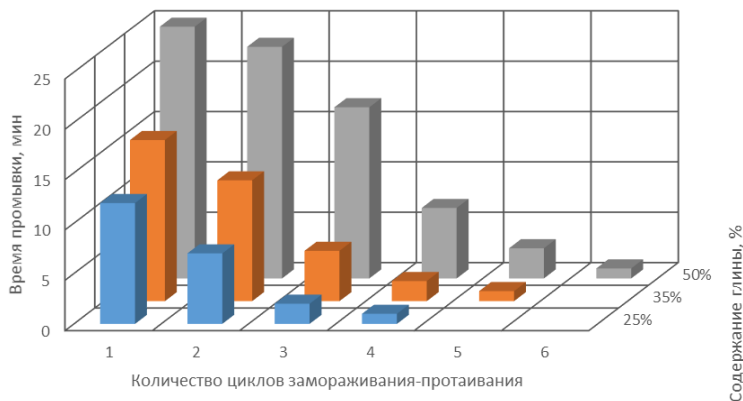


Рисунок 2. Время промывки образцов с заданной исходной влажностью 15% в зависимости от исходного содержания глинистых частиц и количества циклов замораживания-протаивания.

3. Выводы

Таким образом, установлены предварительные условия и особенности влияния криогенной обработки глинистых агрегатов на их адгезионные свойства в зависимости от гранулометрического состава исходных песков и количества циклов промораживания- оттаивания на процесс их дезинтеграции в водо-воздушной среде.

4. Благодарности

Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №18-45-140004 p_a.

5. Литература:

[1] Shirman G.V. Effect of freezing–thawing cycles on disintegration of moist clay aggregates // Mining Informational and Analytical Bulletin, 2018, no. 11, pp. 192-198. (in Russian)

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

Griffin В. 334, 364	Гейслер В. 151
Oliveira L.T. 334, 364	Герасимов Б.Б. 59, 195
Акимова Е.Д. 85	Герасимов Я.Р. 518
Александров А.Р. 168, 214, 301, 460	Гибшер А.А. 334, 364
Алифилова Т.А. 132	Глухов А.Н. 199, 262
Андросов Д.В. 265	Глязнецова Ю.С. 214, 311, 452, 486
Анисимова Г.С. 175, 179	Гололобова А.Г. 456
Антонова Т.А. 93	Горев Н.И. 338
Аргунова К.К. 580, 607	Горохов А.Н. 518
Архипенков А.И. 315	Горайнов С.В. 326
Афанасьев В.П. 319, 322, 326, 369, 386	Горячев Н.А. 192, 308
Аширов Э.Э. 184	Григорьев Б.В. 559
Бабич Ю.В. 326	Гриненко В.С. 15, 20, 42, 46
Баранов В.В. 15, 20, 42, 46	Гурьянов В.А. 116
Баранов Л.Н. 188, 279, 288, 373	Гусев Г.С. 69
Бардухинов Л.Д. 330, 361	Дак А.И. 364
Батугина Н.С. 548	Дамбуев Б.И. 596
Белолобский И.Н. 25	Дзюба О.С. 20
Белянин Д.К. 201	Добрецов Н.Л. 105, 201
Берёзкин В.И. 59, 85, 243, 246	Дульцев Ф.Ф. 502
Бескрованов В.В. 417	Дьячковская Т.К. 417
Биллер А.Я. 369	Дягилева Р.А. 564
Богуш И.Н. 357	Егорова Н.М. 460
Боескоров Г.Г. 25	Елисеев А.П. 326
Брусницына Е.А. 159	Ермаков Н.Н. 30, 51
Бураков А.М. 552	Ерофеевская Л.А. 168
Бурмакина Г.Н. 308	Ершова В.Б. 124
Буруева М.В. 401	Ефимов С.Е. 168
Варламов С.П. 430	Ефремов В.Н. 464
Васильев Д.А. 30, 51	Желонкин Р.Ю. 195
Васильев М.С. 433, 437, 440	Желонкина М.С. 62, 66, 205, 258
Васильев Ю.Р. 132	Жиренко Д.О. 55
Васильева А.Е. 96, 140	Жмодик С.М. 105, 201, 288
Васильева А.Н. 34, 444	Журавлев А.И. 62, 66, 205, 243, 258, 273
Васильева Т.И. 46, 448	Забелин А.В. 409
Верниковская А.Е. 164	Зайцевский Ф.К. 409
Винокуров В.Р. 555	Заякина Н.В. 210
Габышева А.А. 456	Земнухов А.Л. 279
Гаврилов В.Л. 611, 619	Зинчук Н.Н. 341
Галанин А.А. 34, 545	Зуева И.Н. 214, 311, 452, 486
Гамянин Г.Н. 192	Зырянов И.В. 596
Ганелин А.В. 38	Иванников С.И. 265
Гаранин К.В. 334, 364	

Иванов А.И. 62, 66, 205, 258	Кузнецов Ю.А. 293
Иванов А.С. 315, 350, 401	Куляндин Г.А. 564
Иванов В.А. 467	Куть А.А. 474
Иванов Е.Е. 59, 246	Лазарева Е.В. 105, 201, 288
Иванов М.А. 353	Лебедев И.Ф. 588
Иванов М.С. 62, 66, 205, 258	Лебедева О.Ю. 136
Иванова И.К. 567, 580, 584, 607	Легостаева Я.Б. 448, 478, 482
Ильин А.В. 469	Лемешев Я.В. 254
Имаев В.С. 69	Липашова А.Н. 357
Имаева Л.П. 69	Лифшиц С.Х. 214, 311, 452, 486
Каймонов М.В. 571, 575	Лоскутов Е.Е. 62, 66, 205, 243, 246, 258
Калачева Л.П. 567, 580, 584, 592, 607	Лучицкая М.В. 38
Кардаш Е.А. 243, 246	Лыткин В.М. 490
Кардашевская В.Н. 175, 179	Макаров А.А. 82, 109
Карелина О.С. 311	Макаров В.Н. 494, 498, 535
Карманов Н.С. 105, 201	Маклашин В.С. 136
Кедрова Т.В. 357, 361	Макошин В.И. 112
Килясов А.Н. 74	Мальковец В.Г. 334, 364, 369
Киргуев А.А. 78	Маскаев М.В. 38
Киселёв В.В. 571, 575	Матвеев А.И. 555, 623
Кислицын А.А. 218	Мельников А.И. 246
Климова И.В. 444	Минаков А.В. 231
Князев В.Г. 20	Михалицына Т.И. 262
Ковальчук О.Е. 361	Молчанов В.П. 265
Козлов Г.И. 89	Муллаярова Л.С. 334, 364
Козлова И.В. 482	Мягкая И.Н. 288
Козьмин Б.М. 82, 109, 151	Нигай Е.В. 116
Колесник А.Ю. 338	Никифорова З.С. 269
Колова Е.Е. 199	Николаев А.И. 567, 584, 592, 607
Коломиец В.Л. 223, 220	Николаев П. 526
Колосов П.Н. 85	Николенко Е.И. 89, 132, 338, 369
Кондратьева Л.А. 169, 227	Новиков Д.А. 502
Коногорова Д.В. 361	Новоприезжая В.А. 506
Константинов К.М. 78, 89, 93	Ноев Д.С. 482
Копылова А.Г. 96, 140	Овчинников Н.П. 596
Космачева А.Ю. 236	Округин А.В. 188, 205, 243, 273, 279
Костин А.В. 239	Олейников О.Б. 373
Котляров А.В. 131	Опарин Н.А. 373
Котов П.И. 526	Осипов Д.А. 588
Кравченко А.А. 59, 205, 231, 243, 246, 258	Остапенко Д.В. 377
Крюгер Ф. 151	Павлов В.И. 59
Кряжев С.Г. 192	Павлова К.А. 285
Кудрин М.В. 210, 250	Павлова М.Р. 34, 444
Кузнецов В.М. 101	Павлова Н.А. 510
Кузнецов С.В. 218	Павлушин А.Д. 381

<p> Пермяков П.П. 460 Петров Д.М. 301 Петров Е.О. 30, 51 Петрова М.Н. 120 Плетц А. 151 Полуфунтикова Л.И. 250 Пономарчук В.А. 105 Попов Вл.Ф. 482 Попов В.Ф. 599 Попов Н.В. 243, 246 Попова Н.И. 214, 452, 486 Портнягин А.С. 567, 580, 584, 592, 603, 607 Потапов С.В. 93 Похиленко Н.П. 322, 386 Прийменко В.В. 262 Прокопьев А.В. 30, 51, 124, 214 Протопопов Р.И. 128 Протопопов Ф.Ф. 353 Проценко Е.В. 338, 422 Ратьков С.С. 393 Рогов А.В. 136 Рожин И.И. 580, 607 Рожков А.А. 243, 246 Рязанов К.П. 30, 51 Савва Н.Е. 199 Салихов Р.Ф. 396 Сарыг-оол Б.Ю. 288 Сахно В.Г. 293 Севостьянова Р.Ф. 298 Семенов М.Е. 567, 584, 603, 607 Серов И.В. 364 Сивкова Е.Д. 55 Сивцев А.И. 184, 254, 301 Сивцева Н.Е. 514 Симонов В.А. 132 Синчук Е.В. 469 Ситников В.С. 298, 305 Скрябин П.Н. 430 Скрябин Р.М. 559 Скрябина А.С. 545 Собакин П.И. 518 Соколов К.О. 564 Соловьева С.А. 567, 584, 592, 607 Спектор В.Б. 523 Спектор В.В. 474 </p>	<p> Специус З.В. 330, 401 Старкова Т.С. 334, 364, 405 Старостин П.В. 338, 409, 413 Стафеев А.Н. 55 Степенщиков Д.Г. 381 Стокли Д. 124 Ступакова А.В. 55 Сурков О.Н. 105 Сусллова А.А. 55 Суслонов Ю.В. 393 Сыромятников И.И. 490 Сычев С.Н. 136 Тананаев Н.И. 526 Тарских О.В. 409, 413 Терехов А.В. 258 Тимофеев В.Ф. 243, 246 Тирская Д.С. 542 Тихонравова Я.В. 531 Ткач С.М. 548 Толстов А.В. 105, 188, 201, 279, 288, 361, 386, 396, 405 Томшин М.Д. 140, 396 Торговкин Н.В. 498, 535 Торговкин Я.И. 523 Травин А.В. 38, 105 Третьяков Ф.Ф. 144 Трунилина В.А. 147 Туктаров Р.М. 151 Угапьева С.С. 326 Федоров А.А. 564 Федоров В.И. 611 Федоров И.В. 615 Федоров Л.Н. 615 Федоров Н.А. 506 Федорова Л.К. 417 Федорова С.В. 510 Федотова М.А. 353 Фомина М.И. 262 Фридовский В.Ю. 164, 210, 250 Хилько В.А. 502 Хороших М.С. 93 Хоюганов Е.А. 619 Хубанов В.Б. 308 Цыганков А.А. 308 Чалая О.Н. 214, 311, 452, 486 </p>
--	--

Черных А.В. 502 Чертовских Е.О. 502 Чжан А.А. 539 Чжан Т.Р. 467, 542 Шадринова О.В. 478 Шапошников Г.И. 34, 545 Шарина А.К. 59 Шарыгин И.С. 93 Шахурдина Н.К. 338, 413, 422 Шестакова А.А. 523 Шибает С.В. 82, 109, 151 Ширман Г.В. 623	
--	--

Научное издание

**ГЕОЛОГИЯ И МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВЫЕ РЕСУРСЫ
СЕВЕРО-ВОСТОКА РОССИИ**

Материалы X Всероссийской научно-практической конференции
с международным участием
08-10 апреля 2020 г.

Печатается в авторской редакции

Подписано в печать 16.09.2020. Формат 60x84/16.
Печать офсетная. Печ. л. 42,5 Уч.-изд. л.42,75. Тираж 20 экз. Заказ № 129.
Издательский дом Северо-Восточного федерального университета.
677891, г. Якутск, ул. Петровского, 5.
Отпечатано с готового оригинал-макета в типографии ИД СВФУ
