СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИИ И МИНЕРАЛОГИИ
им. В. С. Соболева СО РАН (ИГМ СО РАН)

ИНСТИТУТ НЕФТЕГАЗОВОЙ ГЕОЛОГИИ И ГЕОФИЗИКИ
им. А. А. ТРОФИМУКА СО РАН (ИНГГ СО РАН)

XI СИБИРСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ ПО НАУКАМ О ЗЕМЛЕ

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ

23 • 29 СЕНТЯБРЯ НОВОСИБИРСК 2024

СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИИ И МИНЕРАЛОГИИ
им. В. С. СОБОЛЕВА СО РАН
ИНСТИТУТ НЕФТЕГАЗОВОЙ ГЕОЛОГИИ И ГЕОФИЗИКИ
им. А. А. ТРОФИМУКА СО РАН

XI Сибирская конференция молодых ученых по наукам о Земле

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ

Новосибирск, 23–29 сентября 2024 г.

Новосибирск
2024

УДК 55(063)
ББК Д.я431
О-422

ОРГКОМИТЕТ

Сопредседатели:
чл.-кор. РАН, д-р геол.-минер. наук *Н. Н. Крук,* директор ИГМ СО РАН, Новосибирск
чл.-кор. РАН, проф. РАН, д-р физ.-мат. наук *В. Н. Глинских,*
директор ИНГГ СО РАН, Новосибирск
канд. геол.-минер. наук *Н. В. Максимова*, начальник УОНИ Президиума СО РАН

Секретари:
М. О. Шаповалова, А. В. Нарыжнова, Е. А. Овдина,
Е. О. Шапаренко, Б. М. Попов, И. С. Сотнич, С. М. Ибрагимова

Редакционная группа:
Е. А. Овдина, М. О. Шаповалова

Сборник издан при финансовой поддержке Сибирского отделения РАН,
ИГМ им. В. С. Соболева СО РАН, ИНГГ им. А. А. Трофимука СО РАН,
ПАО «ГМК “Норильский никель”», ПИШ НГУ, ООО «Дата Ист».

О-422 XI Сибирская конференция молодых ученых по наукам о Земле : Материалы конференции. Новосибирск, 23–29 сент. 2024 г. / Сибирское отделение РАН ; Институт геологии и минералогии им. В. С. Соболева СО РАН ; Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН. – Новосибирск : ИПЦ НГУ, 2024. – 312 с.

ISBN 978-5-4437-1668-8

Сборник содержит тезисы докладов конференции молодых ученых по наукам о Земле, включающим такие разделы как петрология, минералогия, металлогения, минерагения и рудогенез, геохимия, геохронология, региональная геология и тектоника, палеонтология и стратиграфия, геоморфология и четвертичная геология, геофизика, геоэкология, гидрогеология, инженерная геология и природопользование, геология и геохимия нефти и газа, геомеханика и технологии для разработки месторождений полезных ископаемых, новые информационные и геоинформационные технологи в геологии и экономическая геология.

УДК 55(063)
ББК Д.я431

© Сибирское отделение РАН, 2024
© Институт геологии и минералогии
им. В.С. Соболева СО РАН, 2024
© Институт нефтегазовой геологии
и геофизики им. А.А. Трофимука, 2024

ISBN 978-5-4437-1668-8

Секция Минералогия

ОСОБЕННОСТИ СОСТАВА КОЛУМБИТОВ ИЗ СПОДУМЕН-АМАЗОНИТОВЫХ ПЕГМАТИТОВ САНГИЛЕНСКОГО НАГОРЬЯ

Акулова Ю.В., Кузнецова Л.Г., Белозерова О.Ю.*

Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, Иркутск, Россия
*e-mail: akulovaulia6184@gmail.com

Аннотация. В работе представлены первые результаты изучения особенностей состава колумбитов из уникальной жилы сподуменовых пегматитов Хартынского поля Южно-Сангиленского пегматитового пояса (ЮСП), сложенной кварц-сподумен-полевошпатовым минеральным комплексом, в котором ассоциируют породообразующие сподумен и амазонит. Проведено сравнение их состава с колумбитами: а) из сподуменовых пегматитов Сутлугского пегматитового поля ЮСП, в которых амазонит отсутствует, и б) из безлитиевых амазонитовых пегматитов с редкоземельной минерализацией двух районов Южной Сибири (по литературным источникам).

Ключевые слова: сподуменовые редкометальные пегматиты, колумбит, Южно-Сангиленский пегматитовый пояс

COMPOSITIONAL FEATURES OF COLUMBITES FROM SPODUMENE-AMAZONITE PEGMATITE OF THE SANGILEN HIGHLAND

Akulova Y.V., Kuznetsova L.G., Belozerova O.Y.

Vinogradov Institute of Geochemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russia, akulovaulia6184@gmail.com

Abstract. The paper presents the first results of studying the compositional features of columbites from a unique vein of spodumene pegmatites of the Khartyn field, which belongs to the Sough Sangilen pegmatite belt (SSB). This vein is composed of a quartz-spodumene-feldspathic mineral complex, in which the rock-forming spodumene and amazonite are associated. Their composition was compared with columbites: a) from spodumene pegmatites of the Sutlug pegmatite field of the SSB, in which amazonite is absent, and b) from lithium-free amazonite pegmatites with rare earth mineralization from two regions of Southern Siberia (according to literary sources).

Keywords: spodumene rare-metal pegmatites, columbite, South Sangilen pegmatite belt

Сподуменовые пегматиты Хартынского поля. Жила Амазонитовая Хартынского поля Южно-Сангиленского пегматитового пояса (ЮСП) сложена кварц-сподумен-полевошпатовым минеральным комплексом, в котором ассоциируют породообразующие сподумен и амазонит, а в качестве второстепенного минерала присутствует высокофтористая железо-литиевая слюда. Предположительно, уникальные характеристики ее минерального состава связаны с более высокой щелочностью и особенностями флюидного режима при формировании сподуменовых пегматитов Хартынского поля, что отличает их от сподуменовых пегматитов других полей ЮСП [3].

На основании полученных нами данных, акцессорными минералами сподуменовых пегматитов жилы Амазонитовой Хартынского поля являются: колумбит, пирохлор, касситерит, апатит, циркон, монацит, эвксенит, фергуссонит, пирит, магнетит, реже встречаются титанит, оксиды Th, U, торит, шеелит, и, в единичных случаях, флюорит.

Основными минералами концентраторами Ta и Nb являются колумбит, пирохлор, а в эндоконтактовой зоне также титанит.

Изучались зерна колумбита из образцов, отобранных в эндоконтактовой и центральной частях жилы. Они имеют таблитчатую форму и иногда содержат микровключения эвксенита и шеелита. В зернах колумбитов не наблюдается четкой зональности в распределении Nb и Ta: содержание оксидов этих элементов слабо варьирует (мас. %): Nb_2O_5 от 66,26 до 70,68, Ta_2O_5 от 6,02 до 7,97, а отношение (в ф. ед.) Ta /(Ta + Nb) очень низкое и составляет 0,06-0,13. В то же время, в составе колумбитов жилы Амазонитовой наблюдается значительное превышение содержаний MnO относительно FeO, что отражается в повышенных отношениях (в ф. ед.) Mn/(Fe+Mn), составляющих 0,40-0,87 (Таблица 1). Помимо главных компонентов, колумбиты жилы Амазонитовой содержат целый ряд примесей (мас. %): WO_3 1,63-2,36, Y_2O_3 0,71-2,34, TiO_2, 1,8-2,87, CaO 0,13-0,41 и, в отдельных случаях, Yb_2O_3 – 0,16-0,42.

Таблица 1. Химический состав минералов группы колумбита из сподумен-амазонитовых пегматитов жилы Амазонитовой Хартынского поля ЮСП (ф. ед.)

№№ образцов	Fe	Mn	Mn/(Fe+Mn)	Nb	Ta	Ta/(Ta+Nb)
	Мас. %					
Тс-11-45	0,18	0,81	0,82	1,79	0,11	0,06
	0,19	0,79	0,81	1,77	0,11	0,06
	0,14	0,82	0,85	1,76	0,11	0,06
Тс-11-71-а	0,12	0,82	0,87	1,72	0,12	0,06
	0,12	0,81	0,87	1,72	0,12	0,07
	0,12	0,81	0,87	1,73	0,11	0,06
	0,14	0,78	0,84	1,73	0,13	0,07
Тс-11-71-б	0,45	0,47	0,51	1,63	0,23	0,12
	0,55	0,37	0,40	1,61	0,20	0,11
	0,44	0,49	0,53	1,61	0,24	0,13

Проведено сравнение их состава с колумбитами: а) из сподуменовых пегматитов обычного состава из соседнего Сутлугского пегматитового поля ЮСП, в которых амазонит отсутствует, и б) из безлитиевых амазонитовых пегматитов с редкоземельной минерализацией двух районов Южной Сибири по [2, 4].

Колумбиты из *сподуменовых пегматитов Сутлугского поля* – главные минералы-концентраторы Nb и Ta. Они представлены длиннопризматическими зернами с характерной концентрической зональностью, что выражается в увеличении содержаний Ta относительно Nb и Mn относительно Fe от центра к краям зерен. При этом соотношение (в ф. ед.) Ta /(Ta + Nb) растет от 0,07 до 0,60, а Mn/(Fe+Mn) увеличивается слабее – в основном от 0,40 до 0,68. В целом колумбиты Сутлугского поля, по сравнению с хартынскими, богаче Ta и беднее Mn (рисунок 1). Кроме того, в этих колумбитах нет элементов-примесей.

Состав колумбитов из *безлитиевых амазонитовых пегматитов нагорья Сангилен по [2] и Приольхонья [4]* – характеризуется такими же, как в пегматитах Хартынского поля, высокими соотношениями Mn/(Fe+Mn), варьирующими от 0,41 до 0,92. Но соотношение Ta/(Ta+Nb) в колумбитах этих объектов сильно различается: в колумбитах из сподумен-амазонитовых пегматитов Хартынского поля оно минимально, а в безлитиевых амазонитовых пегматитах может быть существенно выше, примером чего являются колумбиты из пегматитов Аинского массива [4] (рисунок 1). В-последних, согласно [4],

также, как и в хартынских, содержатся существенные количества примесей, среди которых SnO_2 и TiO_2 (по 1-1,5 мас. %), но особенно много - WO_3 (до 4-8 мас. %).

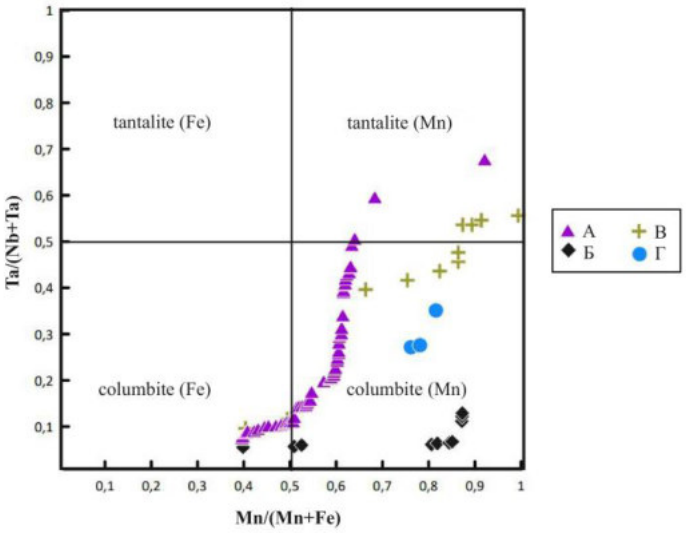

Рисунок 1. Вариации Mn/(Fe+Mn) и Ta /(Ta + Nb) в минералах группы колумбита из пегматитов с различной редкометальной специализацией по классификации [5]: А-Б колумбиты из сподуменовых пегматитов (LCT-тип): А - Сутлугского поля, Б - Хартынского поля ЮСП; В-Г – амазонитовые безлитиевые пегматиты с редкоземельной минерализацией (NYF-тип), данные составов: В - [4], Г - [2]

Согласно классификации [1], безлитиевые амазонитовые пегматиты, изученные на Сангилене и в Приольхонье [2, 4], принадлежат к редкометально-редкоземельной формации; но одновременно по классификации [5] – они относятся к редкометальному семейству NYF. Для этих пегматитов, по данным [1], характерно присутствие колумбита с высоким содержанием марганца (MnO : FeO от 1,4 до 3,5) и явным преобладанием ниобия над танталом. Сходство состава изученных нами колумбитов из сподумен-амазонитовых пегматитов Хартынского поля ЮСП с колумбитами из амазонитовых пегматитов семейства NIF может служить подтверждением принадлежности сподуменовых пегматитов Хартынского поля к гибридному редкометальному типу LCT-NYF.

Финансирование: Исследование проведено в рамках выполнения государственного задания по проекту ИГХ СО РАН № 0284-2021-0007.

Список литературы:

1. Гранитные пегматиты. Том 4. Редкоземельные пегматиты. Пегматиты необычного состава. Ред. Макрыгина В.А. Новосибирск. Наука. 2007. 432 с.
2. Капустин Ю.Л. Находка акцессорного мангано-тантало-колумбита в амазонитовых пегматитах. Труды Минералогического музея им. А.Е. Ферсмана. 1976. № 25. С. 158-165.
3. Кузнецова Л.Г. Взаимодействие корового и мантийного вещества – источников редких элементов при формировании и эволюции раннепалеозойских богатых Li гранитно-пегматитовых систем Юго-Восточной Тувы. Геология и геофизика. 2018. № 12. С. 2079-2100.
4. Савельева В.Б., Канакин С.В., Карманов Н.С. Новые данные по минералогии амазонитовых пегматитов Приольхонья (Западное Прибайкалье). Записки РМО. 2013. ч. 152. № 2. с. 44-66.
5. Černý, P., Ercit T.S. The classification of granitic pegmatites revisited. Can. Miner. 2005. V. 43. P. 2005—2026.

МИНЕРАЛОГИЧЕСКАЯ И ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КАМЕННЫХ БУСИН КУЛЬТУРНОГО СЛОЯ VII СТОЯНКИ УШКИ I (ЦЕНТРАЛЬНАЯ КАМЧАТКА)

Девятиярова А.С.[1], Сокол Э.В.[1], Федорченко А.Ю.[2]*

[1]Институт геологии и минералогии им В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия
[2]Институт археологии и этнографии СО РАН, Новосибирск, Россия
*e-mail: devyatiyarova@igm.nsc.ru

Аннотация. На базе комплекса независимых техник минералогического анализа был разработан и практически реализован методический алгоритм работы с уникальными археологическими артефактами. Были определены главные типы минерального сырья, применявшегося верхнепалеолитическим населением стоянки Ушки I (культурный слой VII, жилище №2) для изготовления изделий неутилитарного назначения. Установлено, что все украшения из изученной коллекции были изготовлены из однотипного минерального сырья – мономинеральной или анхимономинеральной (с учетом присутствия акцессорных фаз) мелко- и/или микрозернистой хлоритовой породы – хлоритолита.

Ключевые слова: сканирующая электронная микроскопия, минералогия, каменные украшения, минеральное сырье, стоянка Ушки I

STONE BEADS FROM CULTURAL LAYER VII OF THE USHKI I SITE (CENTRAL KAMCHATKA): MINERALOGICAL AND GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS

Deviatiiarova A.S.[1], Sokol E.V.[1], Fedorchenko A.Yu.[2]

[1]V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, Novosibirsk, Russia, devyatiyarova@igm.nsc.ru
[2]Institute of Archaeology and Ethnography SB RAS, Novosibirsk, Russia

Abstract. The mineralogy and chemistry of unique archaeological artifacts (stone personal ornaments) from cultural layer VII of the Ushki I site have been analyzed for the first time by several independent analytical technics. The main types of mineral raw materials used for the manufacture of non-utilitarian products were identified. It was established that all the stone beads from the studied collection was made from the same type of mineral raw material – monomineral or anchimonomineral (taking into account the presence of accessory phases) fine- and/or micro-grained chlorite rock – chloritolite.

Keywords: scanning electron microscopy, mineralogy, stone personal ornaments, mineral raw materials, Ushki I site

Среди археологических памятников Северо-Восточной Азии в качестве наиболее информативного археологического объекта, обладающего потенциалом для комплексных исследований погребальных практик, выступает многослойное поселение Ушки I в Центральной Камчатке. Уникальность этому памятнику придает наличие многочисленных жилищных конструкций, очагов, а также трех захоронений, где был обнаружен богатый погребальный инвентарь [1]. Среди материальных свидетельств палеолитического символизма наиболее представительную группу образуют личные украшения, выполненные из разнообразного минерального сырья [2]. Чаще всего эти изделия анализировались с позиций традиционного для палеолитоведения технико-типологического подхода, дающего лишь общее представление о способах производства и использования артефактов [3, 4]. Несмотря на многолетнюю историю исследований, к

настоящему времени в археологии этой обширной территории отсутствует опыт комплексного изучения состава подобных изделий и функциональных характеристик горных пород, из которых они были изготовлены. Одним из направлений комплексных исследований является точная аппаратурная диагностика фазового/минерального и химического состава горных пород и минералов, применявшихся для изготовления украшений и других материальных проявлений символической деятельности.

В рамках данной работы детальные минералогические исследования были осуществлены на материале коллекции артефактов (46 образцов украшений и заготовок для них). Диагностика минералов, слагающих горные породы, характеристика морфологии и определение их химического состава были выполнены с использованием методов сканирующей электронной микроскопии с энергодисперсионной системой химического микроанализа (MIRA3-LMU, AZtec Energy Xmax-50+), Рамановской спектроскопии (Horiba Jobin Yvon LabRAM HR800) и рентгенофазового анализа (SHIMADZU XRD-6000).

Изученные образцы бусин являются наиболее массовой категорией украшений из культурного слоя VII стоянки Ушки I (жилище №2). Бусины представляют собой мелкие изделия (3,5–4,0 мм шириной), форма которых варьирует от округлой до квадратной со сточенными углами. В центре изделий находится отверстие (1,3–1,8 мм шириной). Толщина бусин не превышает 1,2 мм, часть изделий в настоящее время представляют собой тонкие (0,1–0,3 мм) сколы. Изделия расслоились по характерным трещинам отдельности породы. Поверхность бусин заглажена (зашлифована). Все изученные бусины изготовлены из однотипного сырья. Это мономинеральная однородная микрозернистая порода, сложенная чешуйчатым хлоритом. Размеры хлоритовых чешуек варьируют от ≤10 мкм до достаточно крупных розеток (200-300 мкм). Изученные образцы «сырья» и заготовок для бусин представляют собой также однородную микрозернистую породу, сложенную практически мономинеральным агрегатом чешуйчатого хлорита (размер отдельных чешуек ≤10 мкм) с редкими зернами акцессорных минералов. В единичных образцах наряду с хлоритом был обнаружен тальк ($Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$). Акцессории встречаются как в виде крупных отдельных зерен (до 0,2-0,5 мм), так и в виде равномерно распределенной «россыпи» мелких кристаллов (<50 мкм). Среди них преобладают фазы, характерные для магматических горных пород основного состава, сохраняющиеся при их изменении и преобразовании в хлоритолит [5]. Это оксиды Ti, Fe, Mn, Cr (ильменит $FeTiO_3$, минералы группы шпинели $A^{2+}B^{3+}{}_2O_4$, где $A^{2+} = Fe^{2+}$, Ti^{4+}, Mg, Mn, Ni, Cu; $B^{3+} = Fe^{+3}$, Cr, V), реже встречаются силикаты Zr, Ti (циркон $ZrSiO_4$, титанит $CaTiSiO_5$) и фосфаты Ca (апатит $Ca_5(PO_4)_3(OH,Cl,F)$).

Независимыми методами анализа минерального вещества было установлено, что во всех образцах артефактов присутствует клинохлор – Mg-разновидность хлорита ($Mg_5Al(Si,Al)_4O_{10}(OH)_8$, #Mg ≥ 0,50) с переменным количеством Fe и иных примесных компонентов. В заготовках состав хлорита достаточно широко варьирует (#Mg от 0,55 до 0,95): от обогащенного Fe клинохлора ($(Mg_{2.5}Fe_{2.1}Al_{1.3}Ca_{0.05}K_{0.02})_{\sum 6.0}(Si_{2.8}Al_{1.2})_{\sum 4.0}O_{10}(OH)_8$, MgO = 15.8 мас % и FeO = 22,6 мас. %) до практически чистого Mg минерала ($(Mg_{4.2}Fe_{0.3}Al_{1.4}Ca_{0.02})_{\sum 5.9}(Si_{2.9}Al_{1.1})_{\sum 4.0}O_{10}(OH)_8$, MgO = 24,6 мас. % и FeO = 2,6 мас. %). Хлориты из образцов бусин отличаются чуть более узким диапазоном составов (#Mg = 0,49-0,80). Они также представлены серией составов от высоко Fe клинохлора ($(Mg_{2.2}Fe_{2.3}Al_{1.3}Na_{0.1}Mn_{0.04}Ca_{0.03}V_{0.02}Ti_{0.01})_{\sum 6.0}(Si_{2.8}Al_{1.2})_{\sum 4.0}O_{10}(OH)_8$, MgO = 12,7 мас. % и FeO = 22,7 мас. %) до низко Fe клинохлора ($(Mg_{3.8}Fe_{0.9}Al_{1.1}Na_{0.04}Cr_{0.03}Ni_{0.02}Mn_{0.03}Ca_{0.01})_{\sum 6.0}(Si_{3.0}Al_{1.0})_{\sum 4.0}O_{10}(OH)_8$, MgO = 24,1 мас. % и FeO = 10,5 мас. %). Набор и диапазоны содержаний примесных компонентов для хлоритов из

украшений и из заготовок сопоставимы. Постоянно отмечаются (в мас. %): CaO (до 0,8), MnO и Na_2O (до 0,4), K_2O (до 0,2); реже TiO_2 (до 1,1), Cr_2O_3 (до 0,7) и NiO (до 0,4).

Установленные минералого-геохимические особенности артефактов свидетельствует о том, что для изготовления украшений верхнепалеолитическое население стоянки Ушки I (культурный слой VII, жилище №2) использовало однотипное минеральное сырье. Все артефакты (заготовки и украшения) были изготовлены из слабо сланцеватой мономинеральной микрозернистой хлоритовой породы (хлоритолита – в случае отсутствия четкой сланцеватости/текстурирования индивидов хлорита или из хлоритового сланца – в том случае, если таковая проявлена). Характерный набор акцессорных фаз и примесных элементов (Cr, Ni, V, Ti) не оставляет сомнений в том, что хлоритовые породы представляют собой продукты метасоматических преобразований исходных магматических пород ультраосновного и/или основного состава.

Геологическая ситуация в окрестностях изучаемого памятника и повсеместное распространение здесь разнообразных (разновозрастных) магматических пород основного и ультраосновного составов, вероятно, было решающим фактором, определившим доступность и диапазон выбора потребительских/технологических характеристик данного вида сырья. Преимущественно хлоритовые микрозернистые породы обладают низкой твердостью (2 по шкале Мооса), что позволяет обрабатывать их, используя в качестве рабочего инструмента многие легко доступные местные материалы: кремень, халцедон, обсидиан, кость и пр. Хлоритолиты изотропны вследствие разноориентированного распределения минеральных частиц, что также является фактором благоприятным для изготовления из них изделий неутилитарного назначения. Не вызывает сомнения то, что население стоянки Ушки I было хорошо знакомо со свойствами местных горных пород и осуществляло направленную селекцию материала. Ими использовался породный материал несколько различного минерального состава, обладающий при этом однотипными петрографическими и технологическими характеристиками.

Финансирование. Исследование выполнено при поддержке гранта РНФ №24-28-01294, https://rscf.ru/project/24-28-01294/ (Руководитель – А.Ю. Федорченко).

Список литературы:

1. Диков Н.Н. Палеолит Камчатки и Чукотки в связи с проблемой первоначального заселения Америки. История и культура народов севера Дальнего Востока. Магадан. СВКНИИ ДВО РАН, 1993. 68 с.
2. Федорченко А.Ю., Кулик Н.А., Белоусова Н.Е. Каменные украшения палеолитических комплексов Ушковских стоянок: технологии, функции, контекст. V Северный археологический конгресс. Тезисы докладов. Екатеринбург. ООО Универсальная типография «Альфа-Принт». 2019. С. 391–394.
3. Мочанов Ю.А. Древнейшие этапы заселения человеком Северо-Восточной Азии. Новосибирск. Наука. 1977. 264 с.
4. Слободин С.Б. Археология Колымы и Континентального Приохотья в позднем плейстоцене и раннем голоцене. Магадан. СВКНИИ ДВО РАН. 1999. 234 с.
5. Мурзин В.В., Варламов Д.А. Минералогия и геохимия хлоритолитов на площади Непряхинского золоторудного поля (Южный Урал). Минералогия. 2020. Т. 6. №. 3. С. 3–15.

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ CR-ПИРОПОВ ИЗ КСЕНОЛИТОВ ТРУБКИ МИР

Карпутин И.С.[1,2], Агашев А.М.[1]*

[1]Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия
[2]Новосибирский Государственный Университет, Новосибирск, Россия
*e-mail: ivanbasictwo@gmail.com, karputinis@igm.nsc.ru

Аннотация. Химический состав гранатов из мантийных ксенолитов из кимберлитов трубки Мир содержит значительное количество информации для изучения процессов в литосферной мантии. Большая часть гранатов представлена Cr-пиропами и относится к лерцолитовому парагенезису (77,4% от общего числа), их средняя магнезиальность – 79,9, содержание Cr_2O_3 достигает 7,47 мас.% и CaO 9,37 мас.%. По распределениям редкоземельных элементов преимущественно относятся к деплетированным лерцолитам (44,9% от общего количества лерцолитовых Cr-пиропов) и лерцолитам группы 1 и 2 (54,3%). Главная особенность – рост содержаний Zr от деплетированных до лерцолитов группы 1 и 2.

Ключевые слова: литосферная мантия, кимберлит, Cr-пироп, ксенолит, мантийный метасоматоз

GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF CR-PYROPES FROM MIR PIPE XENOLITHS

Karputin I.S.[1,2], Agashev A.M.[1]

[1]V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, Novosibirsk, Russia,
ivanbasictwo@gmail.com, karputinis@igm.nsc.ru
[2]Novosibirsk State University, Russia

Abstract. Chemistry of garnets from mantle xenoliths from kimberlite pipe Mir contains a large amount of information for studying processes in the lithospheric mantle. Cr-pyropes belong to the lherzolite paragenesis (77.4% of the total), their average magnesium content is 79.9, the content of Cr_2O_3 reaches 7.5 wt.% and CaO 9.4 wt.%. According to the distribution of rare earth elements, they mainly belong to depleted lherzolites (44.9% of the total amount of lherzolitic Cr-pyropes) and lherzolite groups 1 and 2 (54.3%). The main feature is the increase in Zr content from depleted to lherzolites of groups 1 and 2.

Keywords: lithospheric mantle, kimberlite, Cr-pyrope, xenolith, mantle metasomatism

Ксенолиты из кимберлитов трубки Мир и химический состав их минералов является уникальным источником информации о процессах, происходящих в субконтинентальной литосферной мантии.

Объектом данного исследования являются гранаты (164 штуки) из ксенолитов (124 штуки) кимберлитов трубки Мир. Гранат был выбран для изучения, так как наиболее характерен для минеральной ассоциации и не затронут вторичным замещением, в отличие от других минералов-индикаторов. Для данной работы были использованы методы рентгеноспектрального микроанализа (JEOL JXA-8100, Япония) и масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (iCAP Q, США) и системой лазерного пробоотбора (NWR-213, США). Данные работы были выполнены в ЦКП Многоэлементных и изотопных исследований СО РАН.

Содержание главных компонентов позволяет отнести большинство гранатов к лерцолитовому парагенезису (127 штук), гарцбургитовому (21), включая алмазоносного парагенезиса (1), эклогитовому (13), мегакристовому (2) и пироксенитовому (1) по классификации [4] (Рисунок 1). Магнезиальность Mg# гранатов варьирует от 66,7 (для

эклогитовых парагенезисов) до 84,7 (для перидотитовых). Содержание Cr_2O_3 варьирует от 0,05 до 7,47 мас.% (в среднем 2,62 мас.%) и CaO от 1,49 до 9,37 мас.% (в среднем 4,52 мас.%) В совокупности с вышеупомянутой классификацией были выделены группы редкоземельных распределений для Cr-пиропов [1, 3], в том числе для Cr-пиропов лерцолитового парагенезиса были выделены подгруппы распадных (1 единица), деплетированных (57 или 44,9% от общего количества лерцолитовых Cr-пиропов) и лерцолитов группы 1 и 2 (7 и 62 штук или 54,3% соответственно).

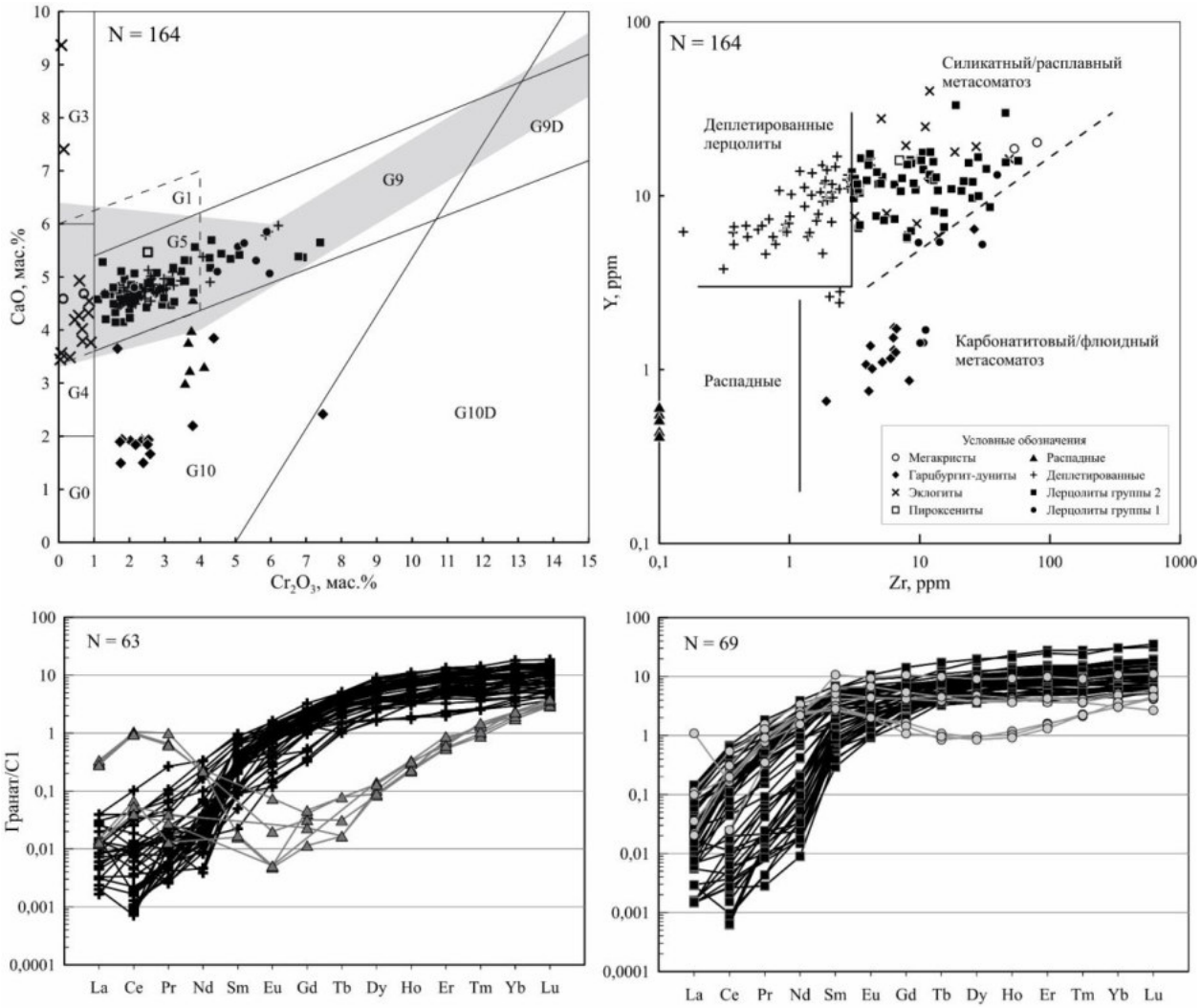

Рисунок. 1. Слева сверху составы гранатов из ксенолитов кимберлитов трубки Мир на CaO-Cr_2O_3 диаграмме. Генетические классы по [4]: G0 – неклассифицируемый; G1 – низкохромистый мегакристовый; G3 – эклогитовый; G4 – пироксенитовый; G5 – пироксенитовый высокожелезистый; G9 – лерцолитовый; G10 – гарцбургит-дунитовый парагенезис, добавочный индекс D обозначает алмазоносный парагенезис. Серой зоной обозначен лерцолитовый парагенезис по [2, 8]. Справа сверху дискриминационная диаграмма по Y-Zr для Cr-пиропов [1, 5]. Слева снизу распределения редкоземельных элементов (нормированные на хондрит C1 [7]) для распадных и деплетированных Cr-пиропов. Справа снизу распределения редкоземельных элементов для лерцолитовых Cr-пиропов группы 1 и 2.

Отличительной особенностью для Cr-пиропов лерцолитовой группы является постепенный рост содержаний циркония от 0,15 до 57,0 ppm. Наблюдается рост легких редкоземельных элементов от 0,001 до 0,11 хондритов (хондрит взят из [7]). В пределах

группы лерцолитовых гранатов выделяются распределения с дифференцированными тяжелыми редкими землями (отношение Yb_n/Gd_n от 3 и более) и недифференцированными (отношение Yb_n/Gd_n близко к 1).

Отдельно выделяется наличие крупных Cr-пиропов (размером вплоть до 8 мм) в образцах, относящихся к группе деплетированных лерцолитов, хотя предполагается, что они должны быть небольшого размера [6]. Детальное изучение Cr-пиропов из разных частей тренда от деплетированных до лерцолитов группы 1 и 2 позволит уточнить их происхождение с учетом различных геохимических характеристик.

Финансирование: Работа была выполнена по государственному заданию ИГМ СО РАН (№122041400157-9), а также при поддержке РНФ 20-77-10018-П.

Список литературы:

1. Агашев А.М., Серов И.В., Толстов А.В., Щукина Е.В., Рагозин А.Л., Похиленко Н.П. Новая генетическая классификация гранатов литосферной мантии. Эффективность геологоразведочных работ на алмазы: прогнозно-ресурсные, методические, инновационно-технологические пути ее повышения. 2018. С. 339-341
2. Соболев Н.В., Лаврентьев Ю.Г., Поспелова Л.Н., Соболев Е.В. Хромовые пиропы из алмазов Якутии. Доклады Академии Наук СССР. 1969. Т. 189. № 1. С. 162-165.
3. Agasheva E.V., Gudimova A.I, Chervyakovskii V.S. Agashev A.M. Contrasting Diamond Potentials of Kimberlites of the V. Grib and TsNIGRI-Arkhangelskaya Pipes (Arkhangelsk Diamondiferous Province) as a Result of the Different Compositions and Evolution of the Lithospheric Mantle: Data on the Contents of Major and Trace Elements in Garnet Xenocrysts. Russian Geology and Geophysics. 2023. V. 64. №. 12. P. 1459-1480.
4. Grütter H.S., Gurney J.J., Menzies A.H., Winter F. An updated classification scheme for mantle-derived garnet, for use by diamond explorers. Lithos. 2004. V. 77. №. 1-4. P. 841-857.
5. Griffin W.L., Ryan C.G. Trace elements in indicator minerals: area selection and target evaluation in diamond exploration. Journal of geochemical Exploration. 1995. V. 53. №. 1-3. P. 311-337.
6. Herzberg C.T. Geodynamic information in peridotite petrology. Journal of Petrology. 2004. V. 45. №. 12. P. 2507-2530.
7. McDonough W.F., Sun S.S. The composition of the Earth. Chemical geology. 1995. V. 120. №. 3-4. P. 223-253.
8. Sobolev N.V., Lavrent'ev Y.G., Pokhilenko N.P., Usova L.V. Chrome-rich garnets from the kimberlites of Yakutia and their parageneses. Contributions to Mineralogy and Petrology. 1973. V. 40. P. 39-52.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕЖДОУЗЕЛЬНЫХ ПАРАМАГНИТНЫХ ЦЕНТРОВ В АЛМАЗЕ МЕТОДОМ ТЕОРИИ ФУНКЦИОНАЛА ПЛОТНОСТИ

Комаровских А.Ю.

Институт неорганической химии им А.В. Николаева, Новосибирск, Россия
*e-mail: komarovskikh@niic.nsc.ru

Аннотация. Проведено теоретическое изучение ряда парамагнитных междоузельных дефектов в алмазе с использованием теории функционала плотности (density functional theory – DFT). На основании согласия экспериментальных и расчётных данных были однозначно подтверждены структуры точечных дефектов R2, R1 и O3 в виде одиночной, двойной и тройной расщеплённой по 〈100〉 междоузельных конфигураций. Предложены новые модели для низкосимметричных центров R13 и R3, строение которых ранее не было известно. Сделан вывод о том, что агрегирование фрагментов, содержащих расщепленные по 〈100〉 междоузлия, в процессе термического отжига алмаза является энергетически выгодным.

Ключевые слова: алмаз, DFT, расщепленные междоузлия, парамагнитные центры, дефектообразование

DENSITY FUNCTIONAL THEORY STUDY OF INTERSTITAL PARAMAGNETIC CENTERS IN DIAMOND

Komarovskikh A.Yu

Nikolaev Institute of Inorganic Chemistry, Novosibirsk, Russia,
*e-mail: komarovskikh@niic.nsc.ru

Abstract. A theoretical study of a series of paramagnetic interstitial defects in diamond was conducted using density functional theory (DFT). Based on the agreement between experimental and calculated data, the structures of point defects R2, R1, and O3 were unequivocally confirmed as mono-, di-, and tri-〈100〉split interstitial configurations. New models have been proposed for low-symmetry centers R13 and R3, whose structures were previously unknown. It is inferred that the aggregation of fragments containing 〈100〉split interstitials during the thermal annealing of a diamond is energetically favorable.

Keywords: diamond, DFT, split-interstitials, paramagnetic centers, defects formation

Исследование радиационных дефектов в алмазе и их эволюции в процессе отжига представляет интерес с точки зрения фундаментальных знаний, в контексте наук о Земле, в связи с возможностью практического использования алмаза в электронике. При этом если особенности дефектообразования вакансионных центров и их трансформации достаточно хорошо изучены, сведений о поведении междоузельной компоненты френкелевской пары не так много. В том числе до сих пор не до конца ясен механизм образования так называемых плейтлетс дефектов – междоузельных агрегатов, появляющихся при высокотемпературном отжиге азотсодержащих алмазов.

В ходе настоящей работы были проведены квантовохимические расчёты для ряда структурных моделей междоузельных парамагнитных центров и осуществлено сравнение с литературными экспериментальными данными. Рассмотрение выполнено в рамках теории функционала плотности (density functional theory – DFT) с использованием программных пакетов ORCA версии 5.0.2 и BAND 2022.105. Было реализовано моделирование как в алмазных кластерах, размером вплоть до $C_{286}H_{232}$, так и в суперячейке, содержащей 216

атомов углерода. Уровни энергии и параметры тензора расщепления в нулевом поле D рассчитаны с использованием гибридного функционала B3LYP и расщеплённого валентного базисного набора def2-SVP, содержащего 14 базисных функций для углерода. На первом шаге были изучены три радиационных парамагнитных центра R2, R1 и O3 со спином $S = 1$, для которых ранее были предложены модели в виде одиночной, двойной и тройной расщеплённой по 〈100〉 междоузельных конфигураций, соответственно [1, 2, 3]. Показано, что собственные значения и вектора D-тензора определяются диполь-дипольным взаимодействием между парамагнитными фрагментами, и получено хорошее согласие рассчитанных данных с экспериментом (Таблица 1). Таким образом, установлена корректность использованной методика расчёта, а указанные модели получили однозначное подтверждение. На втором шаге был выполнен научный поиск среди возможных структурных моделей для собственных низкосимметричных парамагнитных центров R13 и R3 со спином $S = 1$. Для указанных дефектов были предложены новые модели в виде агрегатов, состоящих из трёх и пяти расщеплённых по 〈100〉 междоузельных конфигураций (Рисунок 1). В структуре дефектов атомы углерода организуются таким образом, чтобы минимизировать количество неспаренных электронов, что приводит к уменьшению конечной энергии протяженных междоузельных агрегатов. Наконец, была выполнена оценка энергии образования парамагнитных центров R2, R1, O3, R13, R3, свидетельствующая о том, что укрупнение междоузельных дефектов в процессе отжига является энергетически выгодным.

Таблица 1. Собственные значения (в МГц) и собственные вектора D-тензоров для серии парамагнитных междоузельных центров. Знаки собственных значений были экспериментально определены только для центров R1 и O3. Экспериментальные значения взяты из работ [3, 4].

Центр	Эксперимент	DFT расчёт
R2	D_1 = ±2760 МГц ‖ [1, 0, 0] D_2 = ∓1380 МГц ⊥ [1, 0, 0] D_3 = ∓1380 МГц ⊥ [1, 0, 0]	D_1 = -2752 МГц ‖ [1.00, -0.01, 0.00] D_2 = +1375 МГц ‖ [0.01, 0.74, 0.68] D_3 = +1377 МГц ‖ [-0.01, -0.68, 0.74]
R1	D_1 = -2805 МГц ‖ [0.67, 0.67, -0.30] D_2 = +1397 МГц ‖ [0.21, 0.21, 0.95] D_3 = +1409 МГц ‖ [0.71, -0.71, 0.00]	D_1 = -2831 МГц ‖ [0.68, 0.67, -0.31] D_2 = +1222 МГц ‖ [0.22, 0.22, 0.95] D_3 = +1609 МГц ‖ [0.70, -0.71, 0.00]
O3	D_1 = -809 МГц ‖ [0.0, 0.95, -0.31] D_2 = +350 МГц ‖ [0.0, 0.31, 0.95] D_3 = +458 МГц ‖ [1, 0, 0]	D_1 = -773 МГц ‖ [0.00, 0.95, -0.31] D_2 = +329 МГц ‖ [0.00, 0.30, 0.95] D_3 = +444 МГц ‖ [1.00, 0.00, 0.00]
R13	D_1 = ±1365 МГц ‖ [0.92, 0.30, 0.26] D_2 = ∓515 МГц ‖ [0.04, 0.58, -0.81] D_3 = ∓850 МГц ‖ [-0.40, 0.75, 0.52]	D_1 = -1302 МГц ‖ [0.92, 0.30, 0.26] D_2 = +538 МГц ‖ [0.08, 0.52, -0.85] D_3 = +763 МГц ‖ [-0.39, 0.80, 0.45]
R3	D_1 = ±277 МГц ‖ [0.93, 0.31, 0.21] D_2 = ∓124 МГц ‖ [-0.24, 0.08, 0.97] D_3 = ∓153 МГц ‖ [0.28, -0.95, 0.15]	D_1 = -238 МГц ‖ [0.94, 0.29, 0.20] D_2 = +114 МГц ‖ [-0.15, -0.18, 0.97] D_3 = +124 МГц ‖ [0.32, -0.94, -0.12]

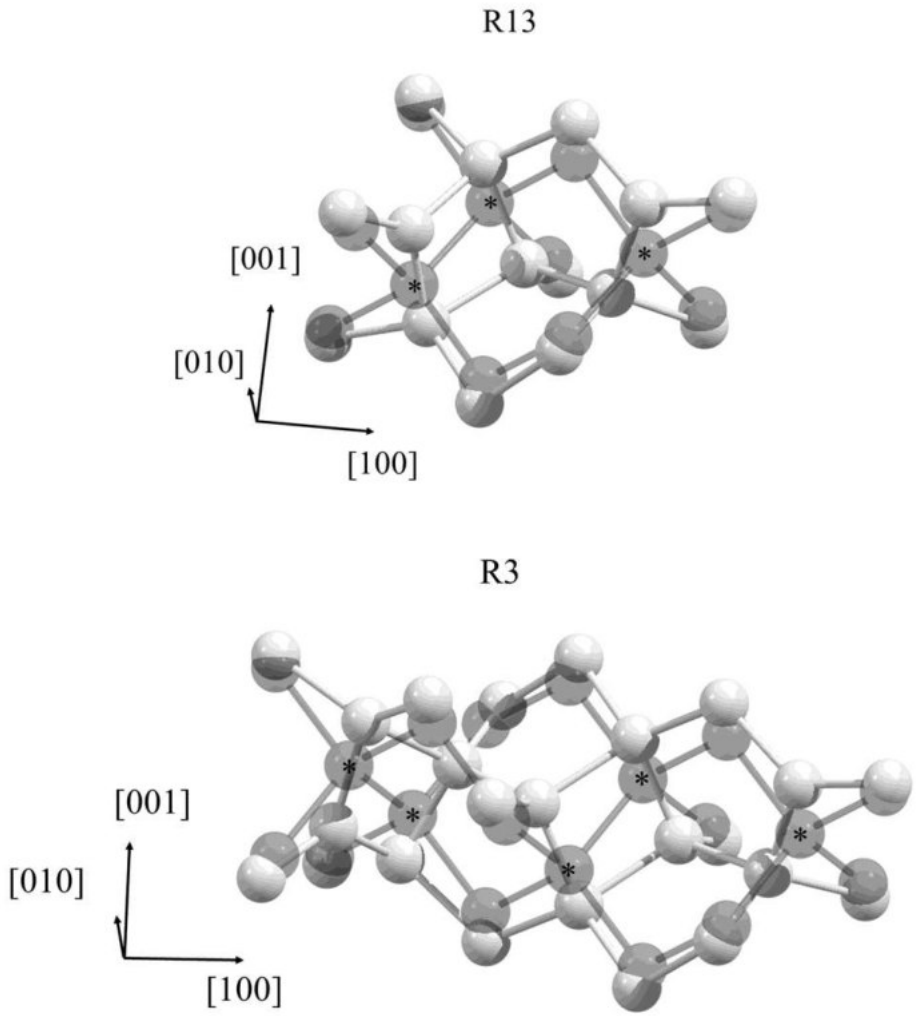

Рисунок 1. Оптимизированное положение атомов, образующих центры R13 (вверху) и R3 (внизу), относительно исходной алмазной решётки. Атомы углерода, порождающие междоузельные пары по [001], отмечены звездочкой.

Финансирование: Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 23-77-01025) и в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № 121031700313-8). Часть расчетов проведена с использованием вычислительных мощностей кластера центра коллективного пользования ИНХ СО РАН.

Список литературы:

1. Hunt D.C., Twitchen D.J., Newton M.E., Baker J.M., Anthony T.R., Banholzer W.F., Vagarali S.S. Identification of the neutral carbon 〈100〉-split interstitial in diamond. Phys. Rev. B. 2000. V. 61. P. 3863–3876.
2. Twitchen D.J., Newton M.E., Baker J.M., Tucker O.D., Anthony T.R., Banholzer W.F. Electron-paramagnetic-resonance measurements on the di-〈001〉-split interstitial center (R1) in diamond. Phys. Rev. B. 1996. V. 54. P. 6988–6998.
3. Hunt D., Twitchen D., Newton M., Baker J., Kirui J., Van Wyk J., Anthony T., Banholzer W. EPR data on the self-interstitial complex O3 in diamond. Phys. Rev. B. 2000. V. 62. P. 6587–6597.
4. Ammerlaan C.A.J. Paramagnetic centers in diamond, in Landolt–Börnstein, Numerical Data and Functional Relationships in Science and Technology, New Series. Berlin. Springer Verlag. 2002. V. III41A2α. P. 6–76.

МИНЕРАЛЬНЫЙ СОСТАВ ПЕРЕРАБОТАННЫХ РУД БЕРИКУЛЬСКОГО ХВОСТОХРАНИЛИЩА (КУЗНЕЦКИЙ АЛАТАУ)

Лобанова К.Н.[1,3], Шавекина А.Ш.[1,2], Бортникова С.Б.[2], Волынкин С.С [2]*

[1]Институт геологии и минералогии им В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия
[2]Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука, Новосибирск, Россия
[3]Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия
*e-mail: k.lobanova@g.nsu.ru, lobanovakn@igm.nsc.ru

Аннотация. Для Берикульского хвостохранилища (п. Новый Берикуль, Кемеровская обл., Кузнецкий Алатау) охарактеризован минеральный состав переработанных руд. По степени измененности вещества на хвостохранилище выделяют малоокисленное и окисленное вещество. В результате активного окисления сульфидов (пирита, галенита, арсенопирита, пирротина), происходит перераспределение металлов и металлоидов и образование вторичных минеральных фаз, которые представлены гидроксидами железа, ярозитами, скородитом.

Ключевые слова: хвостохранилище, минеральный состав, вторичные изменения.

THE MINERAL COMPOSITION OF THE PROCESSED ORES OF THE BERIKULSKY TAILINGS DAM (KUZNETSKY ALATAU)

Lobanova K.N.[1,3], Shavekina A.Sh.[1,2], Bortnikova S.B.[2], Volynkin S.S [2]

[1]V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, Novosibirsk, Russia,
k.lobanova@g.nsu.ru, lobanovakn@igm.nsc.ru
[2]A.A. Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics, Novosibirsk, Russia
[3]Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia

Abstract. The mineral composition of the processed ores has been characterized for the Berikulsky tailings dump (Novy Berikul settlement, Kemerovo region, Kuznetsky Alatau). According to the degree of change of the substance, low-oxidized and oxidized ores are isolated at the tailings dump. As a result of the active oxidation of sulfides (pyrite, galena, arsenopyrite, pyrrhotite), metals and metalloids are redistributed and secondary mineral phases are formed, which are represented by iron hydroxides, yarosites, and skorodite.

Keywords: tailings storage, mineral composition, secondary changes.

Введение. Исследование хвостохранилищ переработанных руд является актуальной научной задачей, поскольку существует возможность повторной переработки отходов, извлечение полезного компонента и его эффективное использование [1, 2, 3]. *Цель работы* – охарактеризовать минеральный состав переработанных руд Берикульского хвостохранилища.

Объектом исследования является хвостохранилище переработанных руд Ново-Берикульского золото-кварц-сульфидного месторождения, расположенного в п. Новый Берикуль Кемеровской области (Кузнецкий Алатау). Благородные металлы (Au, Ag) в начале 1970-х гг. извлекались на золотоизвлекательной фабрике с помощью цианирования и складировались на хвостохранилище прудового типа (размер 500 на 100 м).

Методика исследования. На хвостохранилище опробованы шурфы, характеризующие вещество разной степени измененности: шурф 1 – малоокисленное вещество, шурф 2 – окисленное вещество. В шурфах были опробованы все визуально различающиеся слои (проба ~2 кг), характеризующие минеральный и химический состав переработанных руд.

Глубина шурфов варьирует от 0,5 до 2,2 м. Пробы были гомогенизированы и методом квартования разделены на части. Для изучения минерального состава и их взаимоотношений по разрезу были отобраны штуфные образцы, характеризующие минеральные ассоциации. Образцы характеризуют неразрушенное вещество в естественном его залегании.

Аналитические работы выполнены в ЦКП Многоэлементных и изотопных исследований СО РАН (Новосибирск). Исследование минеральных ассоциаций и химического состава минералов осуществлено с помощью сканирующего электронного микроскопа (СЭМ) TESCAN MIRA 3LMU (Tescan, Чехия) и рудного микроскопа Olympus BX53P.

Результаты. Разрез малоокисленного вещества (шурф 1, мощность до 2,2 м) представлен субгоризонтальными слоями песчанистого вещества от светло-бежевого до темно-коричневого цвета, с прослойками голубых глин. Текстура переработанных руд – однородная, с чередованием полосчатой. Структура вещества – равномернозернистая, неравномернозернистая, среднезернистая. Нерудные (породообразующие) минералы представлены кварцем, плагиоклазом, калиевым полевым шпатом (КПШ), карбонатами (сидерит, доломит, кальцит), хлоритом, мусковитом, ильменитом, рутилом. Среди рудных минералов отмечены: пирит, арсенопирит, сфалерит, халькопирит, пирротин, галенит, скуттерудит, тетраэдрит, самородное золото. Среднее содержание рудных минералов составляет около 10 %. Пирит встречается в виде обломков, раздробленных и идиоморфных зерен, размеры не превышают 100 мкм. Пирит часто находится в срастании со сфалеритом, галенитом, карбонатами (сидеритом, доломитом), мусковитом и хлоритом. Среди примесей отмечается Zn до 4,76 мас. %, Co до 1,51 мас. %, As до 1,05 мас. %. Отмечено включение самородного золота (пробностью 760 ‰), размер которого не превышает 10 мкм. По краям и в трещинах зерен отмечаются вторичные новообразованные фазы, по составу относящиеся к гидроксидам железа. Арсенопирит представлен в виде обломков, раздробленных и удлиненных зерен, размером до 100 мкм. В качестве примесей отмечаются Ni до 0,46 мас. %, Sb до 0,38 мас. %. Зерна трещиноватые без видимых вторичных изменений, находятся в срастании с кварцем, кальцитом. Сфалерит отмечается в виде трещиноватых раздробленных зерен размерами до 400 мкм и сплошных агрегатов неправильной формы до 60 мкм. Вокруг зерен встречаются тонкие каймы гидроксидов железа. Сфалерит встречается в срастании с халькопиритом. Среди примесей отмечается Fe до 0,82 мас. %, Cd до 1,85 мас. %, Cu до 0,68 мас. %. Халькопирит наблюдается в виде единичных зерен округлых и неправильных форм в срастании с кальцитом, сфалеритом, рутилом, кварцем, тетраэдритом, КПШ, плагиоклазом. Примесь Zn до 0,52 мас. %. Пирротин часто заметен в виде мелких зерен изометричной формы размерами до 100 мкм. У зерен наблюдаются редкие трещины, часто раздробленные на более мелкие. Отмечен в срастании с хлоритом, доломитом. В качестве примесей отмечается Co до 0,46 мас. %. Вокруг зерен пирротина присутствуют каймы гидроксидов железа. Галенит отмечен в виде «изъеденных» обломков изометричной формы и неизмененных зерен идиоморфной формы до 40 мкм мкм и как включение в пирите 1-2 мкм. Среди примесей определены Fe до 1,13 мас. %, Bi до 3,77 мас. %. Скуттерудит присутствует в виде мелких единичных вкрапленников округлой формы, в срастании с кварцем и ильменитом. Размеры зерен не превышают 4 мкм. Вторичные минералы представлены гидроксидами железа, которые образуют каймы вокруг сульфидов, а также корочки, примазки, среди примесей

обнаружены – As до 0,78 мас. %, Sb до 0,94 мас. %, Pb до 0,69 мас. %, Zn до 1,38 мас. %, S до 4,12 мас. %, Ca до 1,26 мас. %, Al до 1,75 мас. %.

Разрез окисленного вещества (шурф 2, мощностью до 60 см) представлен субгоризонтальными слоями песчанистого вещества от светло-бежевого до рыже-коричневого цвета, с прослойкой горизонта черного цвета. Текстура переработанных руд – однородная, с чередованием полосчатой. Структура вещества – равномернозернистая, неравномернозернистая, от мелкозернистой до крупнозернистой. Нерудные минералы представлены мусковитом, плагиоклазом, кварцем, хлоритом, апатитом, калиевым полевым шпатом (КПШ), сидеритом, баритом. Среди рудных минералов отмечены пирит, халькопирит, сфалерит, тетраэдрит, магнетит. Также наблюдаются вторичные минералы – ярозит, скородит, гидроксиды железа, гетит и ангидрит. Содержание рудных минералов в образцах составляет 5 %. Пирит, халькопирит и сфалерит по морфологии и химическому составу аналогичны таковым из малоокисленного вещества. В пирите отмечена примесь As до 1,06 мас. %. Тетраэдрит присутствует в виде трещиноватых обломков, размерностью около 40 мкм, в котором содержание As достигает 2,24 мас. %, Zn – 4,24 мас. %. Магнетит представлен округлыми обломками размерами до 100 мкм. Среди вторичных минералов выделяются: ярозит, скородит и гидроксиды железа. Ярозиты образуют сплошные, мелкозернистые агрегаты, среди примесей отмечены Cu до 0,32 мас. %, Zn до 0,54 мас. %, As до 5,82 мас. %, Pb до 20,23 мас. %. Скородит представляет собой сплошные мелкозернистые агрегаты, образующие скопления округлой формы. Размеры зерен не превышают 100 мкм. Среди примесей обнаружен Pb до 0,53 мас. %. Гидроксиды железа образуют корочки, примазки, каймы вокруг сульфидов с примесями As до 7,15 мас. %, Zn до 0,52 мас. %, Cu до 0,23 мас. %, Ti до 2,22 мас. %, Ca до 0,33 мас. %, S до 1,83 мас. %, Al до 1,59 мас. %, Sb до 0,34 мас. %.

Заключение. На Берикульском хвостохранилище происходит активное окисление сульфидов (пирита, галенита, арсенопирита, пирротина), перераспределение металлов и металлоидов и образование вторичных минеральных фаз, которые представлены гидроксидами железа, ярозитами, скородитом.

Финансирование: Работа выполнена по государственному заданию ИГМ СО РАН (проект 122041400237-8) и ИНГГ СО РАН (проект 0266-2022-0028).

Список литературы:

1. Хусаинова А.Ш., Бортникова С.Б., Гаськова О.Л., Волынкин С.С., Ю.А. Калинин Вторичные минералы Fe, Pb, Cu в сульфидсодержащем хвостохранилище: последовательность образования, электрохимические реакции и физико-химическая модель (Талмовские Пески, Салаир, Россия). Russian Journal of Earth Sciences. 2023. Т. 23. ES1006.
2. Blowes D.W., Ptacek C.J., Jambor J.L., Paktunc D., Johnson D.B. The Geochemistry of Acid Mine Drainage. Treatise on Geochemistry (Second Edition). Oxford: Elsevier, 2014. P. 131–190.
3. Bortnikova S.B., Yurkevich N.V., Gaskova O.L., Volynkin S.S., Edelev A.V., Grakhova S.P., Kalnaya O.I., Khusainova A.Sh., Khvashchevskaya A.A., Saeva O.P., Podolynnaya V.A., Kurovskaya V.V. Arsenic and metal quantities in abandoned arsenide tailings in dissolved, soluble, and volatile forms during 20 years of storage. Chemical Geology. 2021. Vol. 586. P. 120623.

НАХОДКИ ГИПСА В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ МАЛЫХ ОЗЕР ПОДТАЕЖНОЙ ЗОНЫ ЮГА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Малов В.И.[1], Максимова А.А.[2] Страховенко В.Д.[1], Овдина Е.А. [1], Малов Г.И.[1]*

[1]Институт геологии и минералогии им В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия;
[2] Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, Новосибирск, Россия.
*e-mail: malov@igm.nsc.ru

Аннотация. В работе докладывается о находках гипса в донных отложениях малых озер подтаежной зоны юга Западной Сибири. Термодинамические расчеты в программном комплексе HydroGeo, показали невозможность образования гипса из воды исследуемых озер. В работе предложен ряд механизмов, которые могли привести к формированию гипса, наиболее вероятные из которых: криоконцентрирование и образование из остаточных поровых растворов, при высушивании проб в ходе пробоподготовки.

Ключевые слова: геохимия, минералогия, донные отложения.

FINDS OF GYPSUM IN BOTTOM SEDIMENTS OF SMALL LAKES IN THE SUBTAIGA ZONE OF THE SOUTH OF WESTERN SIBERIA

Malov V.I.[1], Maksimova A.A.[2] Strakhovenko V.D.[1], Ovdina E.A. [1], Malov G.I.[1]*

[1]V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, Novosibirsk, Russia;
[2]Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, Novosibirsk, Russia
*e-mail: malov@igm.nsc.ru

Abstract. The paper reports on the findings of gypsum in the bottom sediments of small lakes in the subtaiga zone in the south of Western Siberia. Thermodynamic calculations in the HydroGeo software package showed the impossibility of gypsum formation from the water of the studied lakes. The work suggests a number of mechanisms that could lead to the formation of gypsum, the most likely of which are: cryoconcentration and formation from residual pore solutions when drying samples during sample preparation.

Keywords: geochemistry, mineralogy, bottom sediments.

Образование гипса является распространённым процессом для соленых озёр и морских отложений. Гипс играет ключевую роль в глобальном круговороте серы и служит индикатором прошлых условий окружающей среды [3]. Однако, образование гипса в пресноводных озерах, является уникальным явлением. Понимание процессов образования гипса в таких условиях поможет выстроить более корректную модель реконструкции условий окружающей среды в прошлом.

Целью работы являлось установить возможные механизмы, приведшие к образованию гипса в ультрапресных озерах.

Объектами исследования являются три малых озера подтаёжной ландшафтной зоны, расположенных на юге Васюганской равнины (Лайское-1, Малое Щучье, Щучье (Обь)). Все три озера относятся к Краснояровской озерной системе. Материал был отобран в ходе экспедиционных работ летом 2019 года и включал в себя пробы донных отложений и пробы воды. Отбор донных отложений производился из катамарана цилиндрическим пробоотборником с вакуумным затвором. Физические и химические переменные

параметров воды регистрировались непосредственно в полевых условиях (pH, Eh, TDS). Состав воды определялся методом ионной хроматографии. Для исследования морфологии, фазового и химического составов образцов применялся сканирующий электронный микроскоп MIRA 3 TESCAN (Tescan, Чехия), оснащенный энергетическим спектрометром «Oxford» (Oxford Instruments, Великобритания) с использованием Si (Li) энергетического детектора «Oxford». Аналитические работы выполнены в ЦКП Многоэлементных и изотопных исследований СО РАН, г. Новосибирск. Термодинамические расчеты проводились в программном комплексе HydroGeo, который разработан в Томском политехническом университете [4].

Воды всех трех озер по общей минерализации относятся к ультрапресным (TDS от 4,2 до 11,7 мг/л). Химический состав вод представлен в Таблице 1.

Таблица 1. Химический состав проб воды озер. Данные представлены в виде формулы Курлова

оз. Лайское-1	оз. Малое Щучье	оз. Щучье (Обь)
$4{,}2\,\frac{HCO_3^- 43 SO_4^{2-} 38 Cl^- 19}{K^+ 45 Na^+ 32 Mg^{2+} 24 Ca^{2+} 0}$	$11{,}7\,\frac{HCO_3^- 77 Cl^- 15 SO_4^{2-} 8}{Ca^{2+} 66 Mg^{2+} 18 Na^+ 11 K^+ 5}$	$10{,}9\,\frac{HCO_3^- 50 SO_4^{2-} 29 Cl^- 21}{Ca^{2+} 46 Mg^{2+} 28 Na^+ 18 K^+ 8}$

Донные отложения исследуемых озер представлены органоминеральными илами (сапропелями). Зольность донных отложений равна 50, 29 и 20 для оз. Лайское-1, оз. Малое Щучье, оз. Щучье (Обь) соответственно. Минеральная составляющая донных отложений для всех озер в основном представлена кварцем, полевым шпатом, слюдой.

Во всех трех озерах среди акцессорных минералов был определен гипс (Рисунок 1). Форма выделения гипса указывает, что образование гипса происходило непосредственно в донном осадке.

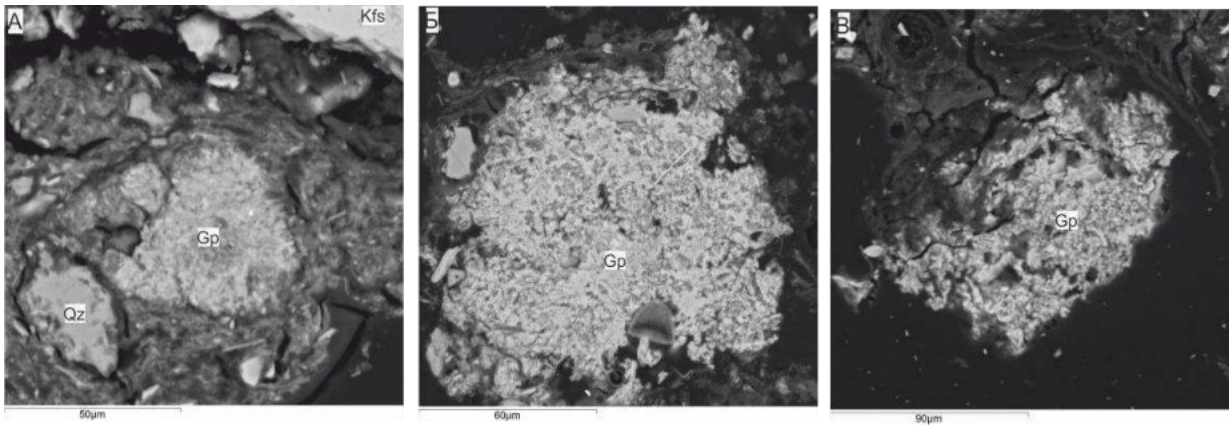

Рисунок 1. Гипс в донных отложениях А) оз. Лайское-; Б) оз. Малое Щучье; В) оз. Щучье(Обь).

Основной генезис гипса в донных отложениях озер – выпадение кристаллов гипса из воды с увеличением минерализации и наступлением пресыщения растворов относительно гипса [1]. Термодинамический расчет возможности кристаллизации гипса из воды исследуемых озер показал, что при данных параметрах системы образование гипса в озерах невозможно. Также были рассчитаны параметры системы при которых мог бы начаться процесс минералообразования гипса. В модели были приняты условия, что концентрация всех компонентов системы увеличена пропорционально, а параметры системы (pH, Eh, T)

оставались прежними. Термодинамический расчет показал, что для начала минералообразования гипса необходимо увеличить концентрацию более чем в 100 раз.

Таким образом находки гипса свидетельствуют о процессах концентрирования растворов в донных отложениях, которые привели к образованию гипса. Существует несколько возможных процессов концентрирования в донных отложениях. Во-первых, это процесс выпаривания, при котором нарушается баланс между поступающим и испаряющемся количеством воды, что для исследуемых озер не наблюдается.

Процесс криоконцентрирования также может приводить к образованию гипса. При образовании льда в озерах происходит увеличение минерализации в подлёдной воде, особенно в мелководных озерах. При полном промерзании всей толщи воды и части донных отложений, возможно достижение необходимых концентраций, приводящих к образованию аутигенных минералов. Подобные случаи описаны для озер Горного Алтая [5]. Однако для исследуемых таежных озер столь сильное промерзание, которое могло бы привести к образованию высокоминерализованных растворов не наблюдается.

Возможным механизмом, приводящим к образованию гипса, может быть биоконцентрирование. В работе [2] докладывается о роли цианобактерий *Synechococcus* в формировании гипса, кальцита и магнезита в щелочных озерах, однако в работе указываются более высокие концентрации растворенных солей в воде.

Неэвапоритовое образование гипса также может происходить в донных отложениях из-за различных механизмов, таких как смешивание морской воды в сочетании с растворением фораминиферового ила, окисление осадочных сульфидных минералов в богатых карбонатами осадках, в процессе образование газогидратов, в результате просачивания рассолов [3]. Однако такие механизмы описаны только для морских отложений и отложений соленых озер.

Более вероятный процесс приведший к образованию гипса в донных отложениях – образование из остаточных поровых растворов, при высушивании проб в ходе пробоподготовки. Однако достоверное установление механизмов, приведших к формированию гипса требует дополнительных исследований.

Финансирование: Работа выполнена по государственному заданию ИГМ СО РАН (№ 122041400193-7).

Список литературы:

1. Okrusch M., Frimmel H. E. Mineralogy: An introduction to minerals, rocks, and mineral deposits. Springer Nature. 2020. 711 p.
2. Thompson J. B., Ferris F. G. Cyanobacterial precipitation of gypsum, calcite, and magnesite from natural alkaline lake water. Geology. 1990. T. 18. №. 10. C. 995-998.
3. Van Driessche A. E. S., Stawski T. M., Kellermeier M. Calcium sulfate precipitation pathways in natural and engineered environments. Chemical Geology. 2019. V. 530. P. 119274.
4. Букаты М. Б. Разработка программного обеспечения в области нефтегазовой гидрогеологии. Разведка и охрана недр. 1997. № 2. С. 37–39.
5. Страховенко, В. Д., Малов, Г. И., Овдина, Е. А., Малов, В. И. Минеральный состав и условия формирования донных отложений малых озер плато Укок (Горный Алтай). Геоморфология и палеогеография. 2023. Т.4. С. 207-225.

ПРИРОДА БИОГЕННЫХ ГОРИЗОНТОВ В ОСАДКАХ ДЕНИСОВОЙ ПЕЩЕРЫ

Некипелова А.В. [1], Сокол Э.В. [1], Кох С.Н. [1], Козликин М.Б. [2]*

[1]Институт геологии и минералогии им В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия
[2]Институт археологии и этнографии СО РАН, Новосибирск, Россия
*e-mail: nekipelova@igm.nsc.ru

Аннотация. В осадках Денисовой пещеры ряд разновозрастных темноокрашенных горизонтов и линз обладает единым комплексом минералого-геохимических меток. Специфический комплекс вещественных характеристик позволяет квалифицировать их как прослои гуано насекомоядных летучих мышей, претерпевшие глубокую биодеградацию.

Ключевые слова: Денисова пещера, минералогические и геохимические маркеры, гуано насекомоядных летучих мышей.

THE ORIGIN OF BIOGENIC HORIZONS IN THE DENISOVA CAVE SEDIMENTS

Nekipelova A.V. [1], Sokol E.V. [1], Kokh S.N. [1], Kozlikin M.B. [2]

[1]V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia, nekipelova@igm.nsc.ru
[2]Institute of Archaeology and Ethnography Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia

Abstract. All dark-colored horizons and lenses from the sedimentary sequence of Denisova Cave manifest a similar set of mineralogical and geochemical markers. We conclude that these horizons and lenses mostly consist of insectivorous bats guano, which had undergone deep biodegradation.

Keywords: Denisova Cave, mineralogical and geochemical markers, guano of insectivorous bats.

Денисова пещера на Алтае – ключевой объект изучения древнейшей истории Северной и Центральной Азии, поскольку ее многометровая осадочная толща содержит артефакты и иные свидетельства антропогенного присутствия на протяжении последних 300 тыс. лет. Пещера состоит из системы сообщающихся пологонаклонных галерей, разрезы рыхлых отложений которых отличаются крайне сложным строением. Стратиграфические подразделения – слои, выделенные с привлечением литологических, биостратиграфических и археологических данных – в верхах осадочных разрезов залегают субгоризонтально. Строение нижней части разреза гораздо более сложное, слои здесь выклиниваются, развиты асимметрично и/или резко меняют мощность. Для тонкой стратификации таких толщ и корреляции разрезов на разных участках пещеры важно обоснованно выделить маркирующие горизонты. В качестве таковых удобно использовать хорошо различимые визуально и имеющие сходный облик темноокрашенные (бурые до черных) тонкие протяженные горизонты и линзы, присутствующие в разрезах всех галерей пещеры. В голоценовой части разреза такого рода осадки располагаются в кровле слоев 6, 7, 8 восточной галереи и центрального зала, а также в подошве слоя 8 южной галереи. Аналогичные по облику осадки есть и в плейстоценовой части разреза: в слое 16 восточной галереи, в слое 18 южной галереи и в слое 21.2 центрального зала. До настоящего времени их аппаратурное исследование не выполнялось. Цель настоящего исследования –

обосновать природу темноокрашенных горизонтов из Денисовой пещеры на основании установленного комплекса их типоморфных характеристик.

Валовые пробы темноокрашенных осадков и смежных с ними горизонтов были охарактеризованы по единой схеме: выполнен количественный рентгенофазовый анализ и определено содержание рентгеноаморфной составляющей; произведена идентификация и анализ слагающих их фаз методом сканирующей электронной микроскопии; определены содержания главных и примесных элементов методами рентгенфлуоресцентного анализа и масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой; осуществлен элементный анализ (C, N, H, S) органического вещества осадка. Детали методик изложены в [1].

По фазовому, макро- и микроэлементному составу темноокрашенные горизонты и линзы контрастны со смежными слоями и характеризуются высоким содержанием органического вещества (вплоть до его преобладания над алюмосиликатной компонентой осадков). Суммарное содержание рентгеноаморфного (преимущественно биогенного) материала достигает 30-40 мас. %. Он включает фрагменты хитинового экзоскелета насекомых и спрессованной N-содержащей органики, а также новообразованные фосфаты Ca и/или Ca-Mg различной степени кристалличности. Такие осадки характеризуются значительной величиной потерь при прокаливании – 19.0-50.5 мас. %, главный вклад в которую вносит богатое азотом органическое вещество (в мас. %: C – 7.2-27.9; N –2.4-7.9; H – 0.9-1.9; S – до 0.4). В них также аномально высока концентрация эссенциальных микроэлементов, задействованных в метаболических процессах млекопитающих: Zn (619-3030 ppm) и Cu (225-1837 ppm). Вещество таких биогенных горизонтов обеднено кварцем и алюмосиликатами (их доли от общего содержания кристаллических фаз не превышают 20 и 13 % соответственно), и всеми элементами, связанными с песчано-глинистой составляющей осадка (в мас. %): SiO_2 – 8,2-14,3, TiO_2 – 0,1-0,2, Al_2O_3 – 1,9-3,4, Fe_2O_3 – 0,9-1,7, Na_2O – 0,1-0,9, K_2O – 0,5-1,0 и (в ppm): Nb – 0,3-2,1, Zr – 8,6-23, Ga – 1,3-9,3. Осадки горизонтов бурого цвета обладает таким же комплексом особенностей, однако содержания органического вещества и эссенциальных микроэлементов здесь ниже.

На основании указанных характеристик материал разновозрастных темноокрашенных горизонтов и линз из Денисовой пещеры можно определить, как претерпевшее глубокую биохимическую деградацию вещество гуано насекомоядных летучих мышей. Процесс бактериальной деградации гуано является одним из значимых факторов постдепозиционных химических изменений пещерных осадков. Колонии летучих мышей длительно обитают в пещерных залах только в период отсутствия людей. Поэтому выдержанные слои гуано могут быть квалифицированы индикаторами периодов отсутствия или редкого появления людей в пещерах. Если колония летучих мышей покидает пещеру, то органическая составляющая гуано относительно быстро деградирует. В ходе биодеградации гуано продуцируются растворы органических кислот (pH = 3-5), которые разлагают находящиеся в горизонте гуано и подстилающих отложениях останки мягких и костных тканей животных. Содержащийся в протеинах и костях фосфор переходит в раствор в форме $(PO_4)^{3-}$ и $(HPO_4)^{2-}$. Постепенно эти кислые и богатые фосфором растворы дренируют толщу сформировавшихся ранее пещерных осадков и взаимодействуют с различными их компонентами (алюмосиликатами, карбонатами). В результате происходит нейтрализация исходно кислых растворов, сопровождающаяся осаждением различных фосфатов. Таким образом, в колонке осадков, ниже деградирующего горизонта гуано, формируются два сопряженных профиля – геохимический и минералогический (фосфатный) [1, 2].

Голоценовые разрезы Денисовой пещеры (слои 6-9 восточной и южной галерей, а также центрального зала) дают яркие примеры полной хемогенно-осадочной последовательности данного типа. В восточной галерее основная масса фосфора осадилась в форме апатита и брушита в слое 11.1, где кислотные «протечки» были нейтрализованы обильным обломочным материалом известняков. Этот естественный геохимический барьер по существу предотвратил уничтожение уникальных антропологических материалов нижележащего слоя 11.2 – костных останков денисовского человека.

Минеральный состав вещества черноокрашенных горизонтов и линз из плейстоценовых частей разрезов (слои 16 и 18 восточной и южной галерей, а также 21.2 центрального зала) указывает на относительную малочисленность колонии рукокрылых, обитавшей в пещере во время накопления слоев. Преобладание в осадках карбонат-гидроксил апатита и его ассоциация с кальцитом характерны для фосфатного профиля, кислотный потенциал которого был практически полностью нейтрализован [2]. Нейтрализацию органических кислот в данном случае обеспечил ограниченный ресурс известняковой дресвы, сосредоточенный в слое. Вместе эти факты позволяют сделать заключение о том, что объем органических кислот, а значит, и продуцировавшего их гуано, не был значительным.

Выявленный комплекс минералого-геохимических характеристик уникален и позволяет идентифицировать сходные биогенные горизонты в разрезах любых пещерных памятников. Использование таких горизонтов как маркирующих позволит в перспективе осуществлять корреляцию разрезов в пределах конкретного памятника. Реконструкция исходного типа осадка и уровня его преобразований критически важно для оценки сохранности археологически-значимых материалов (артефактов, костного материала, древесного угля, растительных остатков и проч.) в конкретной депонирующей среде.

Финансирование: Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-18-00069, https://rscf.ru/project/24-18-00069/. Работы сотрудников ИГМ СО РАН выполнены по государственному заданию ИГМ СО РАН (№122041400176-0).

Список литературы:

1. Sokol E.V., Kozlikin M.B., Kokh S.N., Nekipelova A.V., Kulik N.A., Danilovsky V.A., Khvorov P.V., Shunkov M.V. Phosphate record in Pleistocene-Holocene sediments from Denisova Cave: formation mechanisms and archaeological implications. Minerals. 2022. Vol. 12. №. 5. P. 1-43.
2. Shahack-Gross R., Berna F., Karkanas P., Weiner S. Bat guano and preservation of archaeological remains in cave sites. Journal of Archaeological Sciences. 2004. Vol. 31. № 9. P. 1259-1272.

О ВОЗРАСТЕ АУТИГЕННЫХ МЕТАН-ПРОИЗВОДНЫХ КАРБОНАТОВ МОРЯ ЛАПТЕВЫХ

Рубан А.С..[1], Максимов Ф.Е.[2]*

[1]Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия
[2]Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия
*e-mail: ruban@tpu.ru

Аннотация. Состав стабильных изотопов карбонатного углерода характеризуется сильно отрицательными значения $\delta^{13}C$, свидетельствующими о первостепенной роли анаэробного окисления метана в формировании изученных карбонатных образований. Разгрузка газосодержащих флюидов на внешнем шельфе моря Лаптевых длится не менее 1,8 ± 0,5 тыс. лет, а на континентальном склоне – не менее 2,7 ± 0,6 тыс. лет. Значительные различия в изотопном составе углерода карбонатов с континентального склона могут указывать на изменение с течением времени состава и, вероятно, источника флюида, контролирующего карбонатообразование.

Ключевые слова: карбонаты, анаэробное окисление метана, Арктика

THE AGE OF METHANE-DERIVED AUTHIGENIC CARBONATES FROM THE LAPTEV SEA

Ruban A.S.[1], Maksimov F.E.[2]

[1]National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia, ruban@tpu.ru
[2]St Petersburg State University, St Petersburg, Russia

Abstract. The stable carbon isotope composition of studied carbonates is characterized by strongly negative δ13C values, indicating the primary role of anaerobic methane oxidation in their precipitation. Seep of Gas-bearing fluids on the Laptev Sea outer shelf lasts at least 1.8 ± 0.5 thousand years, and on the continental slope - at least 2.7 ± 0.6 thousand years. Significant differences in the carbon isotopic composition of carbonates from the continental slope may indicate a change over time in the composition and, probably, the source of the fluid controlling carbonate formation.

Keywords: carbonates, anaerobic oxidation of methane, the Arctic

Аутигенные карбонатные образования являются частыми и типичными находками в обстановках разгрузки газосодержащих флюидов в пределах как активных, так и пассивных континентальных окраин [1-3]. Эти карбонаты содержат в себе уникальную и важную информацию не только о природе и источнике флюида, но и также о микробиологических, геохимических, температурных и прочих условиях, в которых происходило их формирование [4-6]. Образованные в толще донных осадков метан-производные карбонаты сохраняются на месте своего формирования даже после снижения интенсивности или прекращения флюидного просачивания, что делает их незаменимым архивом данных об истории эмиссии углеводородных газов.

В рамках данного исследования были изучены образцы аутигенных карбонатных образований, отобранные в пределах участков с зарегистрированной разгрузкой метан-содержащих флюидов. Рассматриваемые участки приурочены к внешнему шельфу [7] и континентальному склону [8] моря Лаптевых. Изотопный состав углерода и кислорода в карбонатах определялся на масс-спектрометре Delta V Plus (Thermo Fisher Scientific).

Датирование образцов выполнялось уран-ториевым методом (^{230}Th/U). Поскольку анализируемые карбонатные стяжения содержат включения детритового материала, являющегося дополнительным и “загрязняющим” источником ^{230}Th, была применена изохронная коррекция [9].

Аутигенные карбонатные образования, приуроченные к метановым сипам, представлены корками и стяжениями различных форм, залегающими среди нелитифицированных донных осадков. Основным карбонатным минералом в изученных образцах является высокомагнезиальный кальцит с содержанием молекулы $MgCO_3$ в пределах от 8,9 до 14,2 %. В подчиненном количестве присутствуют доломит и кутногорит. Состав стабильных изотопов углерода демонстрирует весьма низкие значения $\delta^{13}C$, изменяющиеся в пределах от –53,0 ‰ до –27,1 ‰. Такие значения $\delta^{13}C$ свидетельствуют о том, что основным источником углерода, участвующего в карбонатообразовании, служил метан. Следовательно, ключевым процессом, контролирующим образование аутигенных карбонатов на исследуемых участках, является сульфат-управляемое анаэробное окисление метана. В карбонатах, образующихся на внешнем шельфе моря Лаптевых, значения $\delta^{13}C$ изменяются в пределах от –34,6 ‰ до –27,1 ‰, что позволяет рассматривать в качестве основного источника углекислоты метан термогенного происхождения. Аутигенные карбонаты, отобранные на участках разгрузки метана в пределах континентального склона моря Лаптевых, демонстрируют более легкий изотопный состав углерода с разбросом значений $\delta^{13}C$ в пределах от –53,0 ‰ до –32,4 ‰. Столь широкий диапазон значений $\delta^{13}C$ может отражать не только несколько источников углерода, но и также их переменное доминирование. На основе изотопного состава углерода изученные карбонаты поделены на две группы: к первой отнесены образцы с наиболее низкими значениями $\delta^{13}C$ (от –53,0 ‰ до –41,8 %), ко второй – образцы с более тяжелым (относительно первой группы) изотопным составом ($\delta^{13}C$ от –35,8 ‰ до –32,4 ‰). Характерные для первой группы образцов крайне низкие значения $\delta^{13}C$ свидетельствуют о первостепенной роли биогенного метана в качестве источника углерода. Изотопный состав углерода в образцах второй группы отражает либо смешение биогенного метана с ещё одним или несколькими дополнительными источниками углерода, либо изменение состава флюида с течением времени.

^{230}Th/U изохронный возраст одного из отобранных на внешнем шельфе моря Лаптевых карбонатных стяжений равен 1,8 ± 0,5 тыс. лет. Возраст двух проанализированных образцов с континентального склона оценен в 1,8 ± 0,3 и 2,7 ± 0,6 тыс. лет. Как видно возраст одного из образцов с континентального склона аналогичен возрасту изученного карбонатного стяжения с внешнего шельфа. Однако результаты датирования второго “склонового” образца указывают на его более древний возраст. Разновозрастные карбонатные стяжения, по-видимому, отражают несколько этапов флюидной разгрузки или несколько периодов её интенсификации, каждый из которых характеризовался активным карбонатообразованием. Следовательно, формирование выявленных изотопных групп карбонатов могло происходить в разные периоды. Таким образом, анализ полученных данных по возрасту и составу стабильных изотопов углерода аутигенных карбонатных образований моря Лаптевых, позволяет сделать предварительный вывод о том, что разгрузка газосодержащих флюидов на внешнем шельфе длится не менее 1,8 ± 0,5 тыс. лет., а на континентальном склоне – не менее 2,7 ± 0,6 тыс. лет. При этом, значительные различия в изотопном составе углерода карбонатов, отобранных на одном участке, могут указывать

на изменение с течением времени состава и, вероятно, источника флюида, контролирующего формирование карбонатов.

Финансирование: работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 23-77-10002).

Список литературы:

1. Greinert J., Derkachev A. Glendonites and methane-derived Mg-calcites in the Sea of Okhotsk, Eastern Siberia: Implications of a venting-related ikaite/glendonite formation. Marine Geology. 2004. V. 204. P. 129–144.
2. Peckmann J., Reimer A., Luth U., Luth C., Hansen B.T., Heinicke C., Hoefs J., Reitner J. Methane-derived carbonates and authigenic pyrite from the northwestern Black Sea. Marine Geology. 2001. V. 177. P. 129–150.
3. Smrzka D., Zwicker J., Misch D., Walkner C., Gier S., Monien P., Bohrmann G., Peckmann J. Oil seepage and carbonate formation: A case study from the southern Gulf of Mexico. Sedimentology. 2019. V. 66. P. 2318–2353.
4. Aloisi G., Pierre C., Rouchy J.M., Foucher J.P., Woodside J. Methane-related authigenic carbonates of Eastern Mediterranean Sea mud volcanoes and their possible relation to gas hydrate destabilisation. Earth and Planetary Science Letters. 2000. V. 184. P. 321–338.
5. Feng D., Chen D., Roberts H.H. Petrographic and geochemical characterization of seep carbonate from Bush Hill (GC 185) gas vent and hydrate site of the Gulf of Mexico. Marine and Petroleum Geology. 2009. V. 26. P. 1190–1198.
6. Han X., Suess E., Liebetrau V., Eisenhauer A., Huang Y. Past methane release events and environmental conditions at the upper continental slope of the South China Sea: constraints by seep carbonates. International Journal of Earth Sciences. 2014. V. 103. P. 1873–1887.
7. Shakhova N., Semiletov I., Sergienko V., Lobkovsky L., Yusupov V., Salyuk A., Salomatin A., Chernykh D., Kosmach D., Panteleev G., Nicolsky D., Samarkin V., Joye S., Charkin A., Dudarev O., Meluzov A., Gustafsson O. The East Siberian Arctic Shelf: towards further assessment of permafrost-related methane fluxes and role of sea ice. Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences. 2015. V. 373. 20140451.
8. Ruban A., Rudmin M., Mazurov A., Chernykh D., Dudarev O., Semiletov I. Cold-seep carbonates of the Laptev Sea continental slope: Constraints from fluid sources and environment of formation. Chemical Geology. 2022. V. 610. 121103.
9. Geyh M.A. Reflections on the 230Th/U dating of dirty material. Geochronometria. 2001. V. 20. P. 9–14.

БЛАГОРОДНЫЕ МЕТАЛЛЫ В ОТХОДАХ ФЛОТАЦИОННОГО ОБОГАЩЕНИЯ СУЛЬФИДНЫХ МЕДНО-НИКЕЛЕВЫХ РУД

Старостина С.И.[1], Шавекина А.Ш.[1,2], Юркевич Н.В.[3]*

[1]Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука, Новосибирск, Россия
[2]Институт геологии и минералогии им В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия
[3]Научно-исследовательский центр по проблемам экологической безопасности и сохранения благоприятной окружающей среды Сибирского отделения РАН, Новосибирск, Россия
*e-mail: starostinasi@ipgg.sbras.ru

Аннотация. Объектом исследования выступают отходы флотационного обогащения сульфидных медно-никелевых руд (хвосты). В работе рассматриваются минеральные формы нахождения благородных металлов, таких как Ag, Au и Pt, а также их подвижные формы, образующиеся при переходе в раствор из хвостов. При выполнении работ были определены концентрации благородных металлов, которые составили в среднем 0,058 – 0,73 г/т. Как примесь Ag отмечено в пентландите (до 8,61 мас. %), Au и Pt обнаружены в виде самостоятельных минералов: электрум и мончеит $(Pt, Pd)(Te, Bi)_2$. Показано, что основными формами миграции Au и Pt в рассматриваемых растворах являются гидроксидные комплексы.

Ключевые слова: благородные металлы, флотационное обогащение, термодинамическое моделирование.

PRECIOUS METALS IN WASTES OF FLOTATION ENRICHMENT OF SULFIDE COPPER-NICKEL ORES

Starostina S.I.[1], Shavekina A.S.[1,2], Yurkevich N.V.[3]

[1]A.A. Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, Novosibirsk, Russia, starostinasi@ipgg.sbras.ru
[2]V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, Novosibirsk, Russia
[3]Scientific-Research Center for Problems of Environmental Safety and Preservation of a Favorable Environment Siberian Branch of RAS, Novosibirsk, Russia

Abstract. The object of the study is waste from flotation enrichment of sulfide copper-nickel ores (tailings). The article discusses the mineral forms of precious metals such as Ag, Au and Pt, as well as their mobile forms formed during the transition into solution from tailings. During the work, concentrations of precious metals were determined, which averaged 0.058–0.73 g/t. As an impurity Ag is noted in pentlandite (up to 8.61 wt.%), Au and Pt are found in the form of independent minerals: electrum and moncheite $(Pt, Pd)(Te, Bi)_2$. It has been shown that the main forms of migration of Au and Pt in the solutions under consideration are hydroxide complexes.

Keywords: precious metals, flotation enrichment, thermodynamic modeling.

Введение. Отходы горнорудного производства составляют неотъемлемую часть при добыче и переработке полезных ископаемых. В ходе нового технологического уклада, сложившегося вследствие стагнации в горнодобывающей и перерабатывающей отраслях, техногенные отходы принято рассматривать как дополнительный источник рудного сырья для получения металлов (благородных, цветных, черных) и ценных компонентов [2]. Данный подход в том числе способствует сохранению природных ресурсов и решению проблемы загрязнения окружающей среды [1]. Поэтому настоящая работа посвящена изучению минерального состава вещества отходов флотационного обогащения сульфидных руд и подвижных форм благородных металлов.

Цель работы: определение минеральных и подвижных форм нахождения благородных металлов (золото, серебро, платина) в отходах флотационного обогащения сульфидных медно-никелевых руд.

Объектом исследования является хранилище отходов флотационного обогащения сульфидных медно-никелевых руд, расположенное в Красноярском крае.

Методы. Во время полевых работ в бассейне хвостохранилища, находящегося в Красноярском крае, было отобрано 14 образцов вещества отходов флотационного обогащения сульфидных медно-никелевых руд в герметичные пакеты. Изучение минерального состава хвостов проводили с использованием бинокулярного микроскопа и сканирующего электронного микроскопа TESCAN MIRA 3LMU (Tescan, Чехия).

Подвижные формы элементов извлекали из твердого вещества по методике Тессье [4]. Водные вытяжки изготавливали в соотношении «дистиллированная вода:твердое»=10:1, слабокислые вытяжки на основе аммонийно-ацетатного буферного раствора (pH 4,8) – в соотношении «раствор:твердое» = 5:1. Определение элементного состава отходов и полученных растворов проводили методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой с помощью масс-спектрометра ELAN DRC-e в ХАЦ «Плазма» (г. Томск). Для всех полученных растворов измеряли pH и окислительно-восстановительный потенциал (Eh) прямым потенциометрическим методом с помощью портативного прибора «Эксперт-001» («Эконикс-Эксперт», Москва) и удельную электропроводность (УЭП) прямым кондуктометрическим методом с использованием прибора Cond 315i (производство Wissenschaftlich-Technische Werkstätten GmbH). Концентрацию основных анионов (Cl^-, NO_3^-, SO_4^{2-}) в растворах определяли методом капиллярного электрофореза на приборе «Капель-105М» («Люмэкс», Россия). Количественное определение гидрокарбонат-иона (HCO_3^-) проводили путем потенциометрического кислотно-основного титрования. Содержания сульфат-иона в аммонийно-ацетатных вытяжках определяли весовым методом по ГОСТ 26426-82.

Термодинамический расчет форм нахождения элементов в растворе осуществляли в программном комплексе HCh 0.6 [3]. Для расчетов использовали термодинамическую базу данных UNITHERM, которая была расширена константами для платины и ее соединений.

Результаты. Концентрации благородных металлов в среднем составляют для Ag – 0,73 г/т, Pt – 0,31 г/т, Au – 0,058 г/т. В минеральном составе отходов благородные металлы найдены в качестве примесей, а также в виде самостоятельных минералов (Рисунок 1). В пентландите установлена примесь Ag от 1,16 до 8,61 мас. %. Обнаружено несколько выделений самородного золота, размер которых составляет 1-3 мкм. Их состав близок к электруму AuAg с содержанием Ag от 27,51 до 34,22 мас. % и примесью Pd от 1,92 до 4,6 мас. %. Найден один прожилок длиной 10 мкм в срастании с сульфидами, состав которого по стехиометрии схож с минералом мончеитом $(Pt, Pd)(Te, Bi)_2$.

Результаты модельных вычислений показали, что преобладающей формой миграции Pt в растворах со слабощелочными значениями (pH 8,1) является $Pt(OH)_3^-$ (до 99,5 %), до 0,5 % приходится поровну на $Pt(OH)_4^{2-}$ и $Pt(OH)^+$. В кислой среде (pH 4,9) доля $Pt(OH)^+$ достигает 99,9 %. Au установлено только в растворах с кислыми значениями, где его основная форма нахождения AuOH (99,8 %). На $Au(OH)^{2-}$ приходится только 0,2 % от всех форм. Содержание Ag и Pd в растворах ниже предела обнаружения. Термодинамические расчеты индексов насыщения показали, что изучаемые растворы находятся в равновесии с $Au^0_{(s)}$ и $Pt^0_{(s)}$.

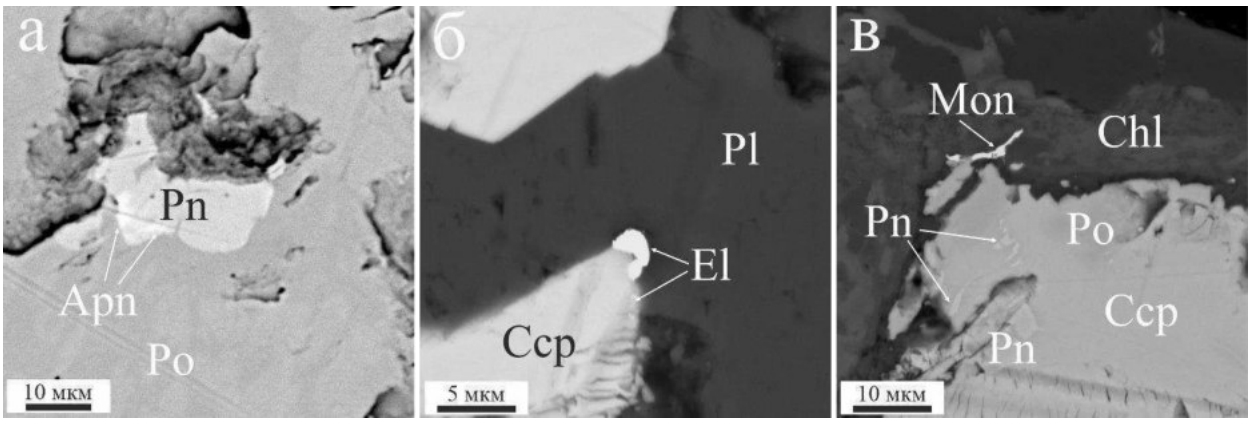

Рисунок 1. Минеральные формы нахождения благородных металлов. Снято на сканирующем микроскопе в режиме BSE-съемки. Условные обозначения: Apn – аргентопентландит, Ccp – халькопирит, Chl – хлорит, El – электрум, Mon – мончеит, Pl – плагиоклаз, Pn – пентландит, Po – пирротин.

Выводы. По результатам элементного состава концентрация благородных металлов (серебра, золота, платины) в отходах флотационного обогащения сульфидных медно-никелевых руд составляет в среднем 0,058 – 0,73 г/т.

В минеральном составе благородные металлы отмечаются в качестве примесей (Ag), а также установлены в самородной форме (электрум) и в виде самостоятельных минералов (мончеит $(Pt, Pd)(Te, Bi)_2$).

Согласно результатам термодинамического моделирования, формы миграции благородных металлов – гидроксидные комплексы. В слабощелочных растворах Pt находится в виде $Pt(OH)_3^-$, в кислых – $Pt(OH)^+$. Au определено только в растворах с кислой средой преимущественно в форме AuOH. Также рассчитанные индексы насыщения показали, что изучаемые растворы равновесны к $Au^0_{(s)}$ и $Pt^0_{(s)}$.

Финансирование: Исследование проводилось при финансовой поддержке программы ФНИ (проект № FWZZ-2022-0029).

Список литературы:

1. Чантурия В.А., Козлов А.П. Современные проблемы комплексной переработки труднообогатимых руд и техногенного сырья. Сб. науч. тр. Междунар. науч. конф. «Плаксинские чтения – 2017». Красноярск Сиб. федер. ун-т. 2017. С. 3–6.
2. Чантурия В.А., Шадрунова И.В., Горлова О.Е., Колодежная Е.В. Развитие технологических инноваций глубокой и комплексной переработки техногенного сырья в условиях новых экономических вызовов. Известия ТулГУ. Науки о Земле. 2020. № 1. С. 159–171.
3. Шваров Ю.В. HCh: Новые возможности термодинамического моделирования геохимических систем, предоставляемые Windows. Геохимия. 2008. № 8. С. 898–903.
4. Tessier A., Campbell P.G.C., Bisson M. Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals. Analytical Chemistry. 1979. V. 51. P. 844–851.

ТИПОМОРФНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ БАРИТА (ХВОСТОХРАНИЛИЩЕ ДЮКОВ ЛОГ, САЛАИР)

Шавекина А.Ш., Волынкин С.С., Юркевич Н.В., Бондаренко В.П.*

НИЦ «Экология» СО РАН, Новосибирск, Россия
*e-mail: khusainova@igm.nsc.ru

Аннотация. Проведен комплекс минералого-геохимических исследований, позволивший выделить типоморфные характеристики барита в хвостохранилище Дюков Лог (Салаирский Кряж, Кемеровская обл.). Среднее содержание BaO по укрупненной пробе составляет 18 %. Более 76% материала хвостов имеет крупность менее 100 мкм. Барит встречается в виде зерен или обломков неправильных, реже пластинчатых, таблитчатых форм; цвет от белого, бесцветного до рыжеватого. Барит отмечен в срастании с кварцем, мусковитом, покрыт вторичными пленками (ярозит, плюмбогуммит, сванбергит).

Ключевые слова: баритоносность, типоморфные характеристики, хвостохранилище

TYPOMORPHIC CHARACTERISTICS OF BARITE (DYUKOV LOG TAILINGS DUMP, SALAIR)

Shavekina A.Sh., Volynkin S.S., Yurkevich N.V., Bondarenko V.P.*

National Research Center "Ecology" SB RAS, Novosibirsk, Russia, khusainova@igm.nsc.ru

Abstract. A complex of mineralogical and geochemical studies was carried out at the Dyukov Log tailings dump (Salair ridge, Kemerovo region). The typomorphic characteristics of barite were determined. The average BaO content for the enlarged sample is 18%. More than 76% of the tailings material has a particle size of less than 100 microns. Barite occurs in the form of grains or fragments of irregular, less often lamellar, tabular shape; color ranges from white, colorless to reddish. Barite is observed intergrown with quartz, muscovite and covered with secondary films (jarosite, plumbogummite, svanbergite).

Keywords: barite, typomorphic characteristics, tailings dump

Введение. Данная работа направлена на определение типоморфных характеристик барита, которые необходимы для проведения технологических исследований с целью получения концентратов, пригодных для применения в нефтегазовой промышленности в качестве утяжелителей буровых растворов.

Объектом исследования является хвостохранилище Дюков Лог, расположенное к юго-востоку от Салаирского рудного поля близ г. Салаир (Кемеровская обл.). Хвостохранилище представляет собой лог юго-западного падения размером 400×300 м. В средней части, в субширотном направлении, уже после консервации, построена дамба высотой 10 м, по которой проходит дорога [1]. Вещество, слагающее хвостохранилище, поступало из природной зоны окисления Салаирского рудного поля, которое объединяет группу барит-полиметаллических месторождений. Начало эксплуатации Салаирских месторождений приходится на 30-е гг. XX в. Разрабатывались верхние, наиболее богатые части рудных тел из зоны окисления на благородные (Au, Ag) и цветные (Pb, Zn, Fe) металлы. Для этих руд характерно сочетание неокисленных кварц-баритовых линз с рыхло сцементированным глинистым материалом. Руды обогащались гравитационным и флотационным методами. Усредненный минеральный состав переработанных руд представлен кварцем (58 %), баритом (28,5 %), слюдами – мусковитом, биотитом (5,2 %),

кальцитом (2 %), каолинитом (2,6 %), сульфидами (4,3 %). Среди сульфидов отмечены пирит, халькопирит, сфалерит и блеклые руды [1].

Методика исследования. Минеральный и химический состав хвостохранилища изучен по вертикальным разрезам (шурфам), по которым описана зональность и опробованы все визуально различающиеся слои. Содержание породообразующих и примесных элементов (Si, Al, Fe, Mg, Ca, Na, K, Ti, P, Mn, Ba) определено методом рентгенофлуоресцентного анализа (РФА) в ЦКП Многоэлементных и изотопных исследований СО РАН на спектрометре ARL-9900XP (Thermo Fisher Scientific Ltd, США) (аналитик Карманова Н.Г.). Гранулометрический анализ технологических проб проведен с помощью набора сит для восьми классов крупности (1; 0,5; 0,315; 0,25; 0,16; 0,1; 0,071; 0,005 мм). Содержания основных оксидов в классах крупности получены методом РФА. Значения содержаний $BaSO_4$ получены прямым пересчетом молекулярной массы барита от содержаний BaO по результатам РФА. Исследование минеральных ассоциаций и химического состава минералов осуществлено с помощью сканирующего электронного микроскопа (СЭМ) TESCAN MIRA 3LMU (Tescan, Чехия).

Результаты. По данным гранулометрического анализа для вещества из хвостохранилища характерно преобладание тонких классов крупности. Более 76% материала пробы имеет крупность менее 100 мкм. Полезный компонент в пробе распределен довольно равномерно при среднем содержании BaO 18 % (Таблица 1). Химический состав усредненной пробы по основным компонентам представлен в таблице 1.

Таблица 1. Химический состав укрупненной пробы хвостохранилища Дюков Лог

Компонент	**SiO_2**	**Al_2O_3**	**Fe_2O_3**	**CaO**	**P_2O_5**	**K_2O**	**Na_2O**	**BaO**	**SO_3**	**LOI**	**SUM**
Конц., %	55	7	3	0,5	0,2	1,5	0,3	18	9	4	98,5

По разрезам шурфов наблюдается тонкая горизонтальная слоистость вещества, в частности барита, реже косая (наклонная). Барит относительно равномерно распределен по массе вещества (Рисунок 1). Визуально можно выделить горизонты, где: 1) барит представлен зернами и обломками размерностью до 100 мкм, совместно с породообразующими минералами и сульфидами; 2) барит представлен тонкозернистыми, тонкодисперсными зернами (1–30 мкм), которые образуют прослойки, сцементированные агрегаты, объединенные цементом вторичных минеральных фаз.

Барит ($BaSO_4$) имеет преимущественно белый, реже бесцветный или рыжий цвет. Зерна неправильных, реже пластинчатых, таблитчатых форм. Встречаются массивные, однородные зерна, а также хрупкие, трещиноватые. Барит отмечен в срастании с кварцем, мусковитом, ярозитом и плюмбоярозитом, плюмбогуммитом ($PbAl_3(PO_4)_2(OH)_5 \cdot H_2O$), горцейкситом ($BaAl_3(PO_4)(PO_3OH)(OH)_6$), коркитом ($PbFe^{3+}{}_3(PO_4)(SO_4)(OH)_6$), гинсдалитом ($Pb_{0,75}Sr_{0,25}Al_3(PO_4)(SO_4)(OH)_6$), и сванбергитом ($SrAl_3(PO_4)(SO_4)(OH)_6$) (Рисунок 1). Среди примесей в барите отмечен Pb до 15,14 мас. %, образуя Pb-содержащую разность барита. Основными формами Ba в веществе отходов являются ионы бария (Ba^{2+}), молекулы $BaSO_{4(aq)}$ и твердые фазы $BaSO_{4(solid)}$.

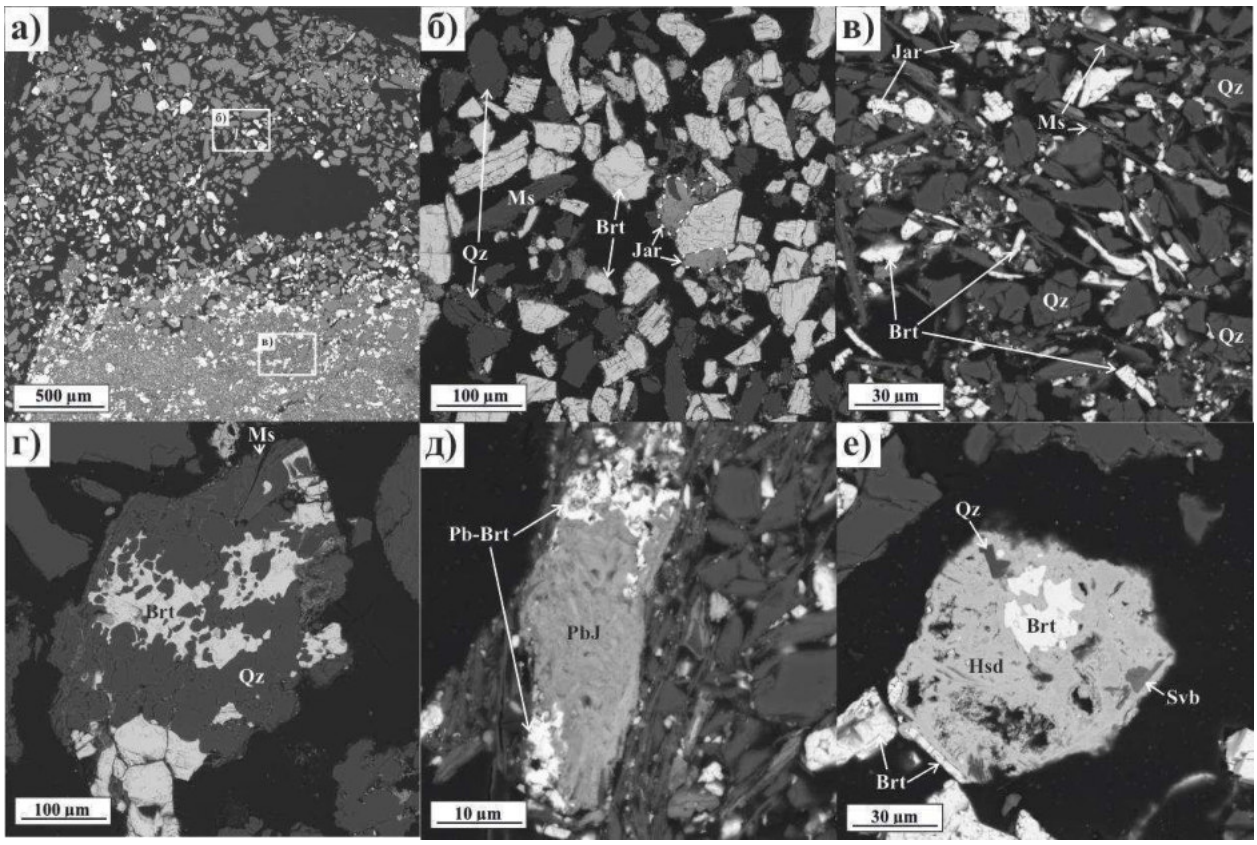

Рисунок 1. Типоморфные характеристики барита: а) текстурно-структурные особенности; б-в) ув. фрагменты; г-е) морфология барита. Условные обозначения: Brt – барит; Qz – кварц; Ms – мусковит; Jar – ярозит; Pb-Brt – Pb-содержащий барит; Hsd – гинсдалит; Svb – сванбергит.

Заключение. Проведенный комплекс минералого-геохимических исследований показал, что в системе «вода – порода» основными формами Ba в веществе отходов являются ионы бария (Ba^{2+}), молекулы $BaSO_{4(aq)}$ и твердые фазы $BaSO_{4(solid)}$. Среднее содержание BaO по укрупненной пробе составляет 18 %. Более 76% материала хвостов имеет крупность <100 мкм. Твердые фазы, преимущественно представленные баритом, являются превалирующими формами в веществе отходов. Барит встречается в виде зерен или обломков неправильных, реже пластинчатых, таблитчатых форм; цвет от белого, бесцветного до рыжеватого. Кроме того, встречаются вторичные Ba-содержащие минеральные фазы, такие как: горцейксит ($BaAl_3(PO_4)(PO_3OH)(OH)_6$) и примесь BaO (до 5 мас. %) в плюмбоярозите, гинсдалите.

Финансирование: Работа выполнена при поддержке гранта РНФ №23-27-00340 (https://rscf.ru/project/23-27-00340/).

Список литературы:

1. Бортникова С.Б., Гаськова О.Л., Айриянц А.А. Техногенные озера: формирование, развитие и влияние на окружающую среду. Новосибирск. Изд-во СО РАН, филиал «Гео». 2003. 120 с.

Секция Экспериментальная минералогия

УТОЧНЕНИЕ ФАЗОВОЙ ДИАГРАММЫ СИСТЕМЫ $Na_2Mo_{2x}W_{2(1-x)}O_7$

Артемьева М.А.[1,2], Григорьева В.Д.[1,2]*

[1]Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия
[2] Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, Новосибирск, Россия
*e-mail: m.artemeva1@g.nsu.ru

Аннотация. Кристаллы молибдатов и вольфраматов щелочных металлов широко используются в качестве фотонных материалов благодаря физико-химической стабильности, большому диапазону пропускания и относительно низкой стоимости. Однако, чистые кристаллы $Na_2W_2O_7$ и $Na_2Mo_2O_7$ имеют относительно низкую светоотдачу. Эта характеристика может быть улучшена в кристаллах твердого раствора $Na_2Mo_{2x}W_{2(1-x)}O_7$.

Ключевые слова: фазовая диаграмма, дифольфрамат натрия, димолибдат натрия

CONCLUSION OF THE PHASE DIAGRAM OF THE SYSTEM $Na_2Mo_{2x}W_{2(1-x)}O_7$

Artemieva M.A.[1,2], Grigorieva V.D.[1,2]*

[1]Novosibirsk State University, Novosibirsk 630090, Russia
[2]Nikolaev Institute of Inorganic Chemistry SB RAS, Novosibirsk 630090, Russia
*e-mail: m.artemeva1@g.nsu.ru

Abstract. Alkali metal molybdate and tungstate crystals are widely used as photonic materials due to their physicochemical stability, large transmittance range and relatively low cost. However, pure $Na_2W_2O_7$ and $Na_2Mo_2O_7$ crystals have relatively low luminosity. This characteristic can be improved in $Na_2Mo_{2x}W_{2(1-x)}O_7$ solid solution crystals.

Keywords: phase diagram, sodium dipholframate, sodium dimolybdate

Введение. Термодинамические свойства $Na_2Mo_2O_7$ и $Na_2W_2O_7$ изучены в широком диапазоне температур. Но, несмотря на большое количество работ по изучению физико-химических свойств системы $Na_2Mo_2O_7$-$Na_2W_2O_7$, термодинамические исследования расплавленной фазы системы $Na_2Mo_2O_7$-$Na_2W_2O_7$ и данные по твердым растворам представлены недостаточно широко.

Цель работы: уточнить фазовую диаграмму системы $Na_2Mo_2O_7$ - $Na_2W_2O_7$

Объект исследования: система $Na_2Mo_2O_7$ - $Na_2W_2O_7$

Методы: рентгеновская кристаллография, Рамановская спектроскопия и рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия

Экспериментальная часть.

Кристаллы $Na_2Mo_{2x}W_{2(1-x)}O_7$ (x=0,1 с шагом 0,1) были получены в две фазы:

1) кристаллы $Na_2W_2O_7$ и $Na_2Mo_2O_7$ получали методом твердофазного синтеза
2) кристаллы $Na_2W_2O_7$ и $Na_2Mo_2O_7$, выращенные низкоградиентным методом Чохральского, были отожжены при 600°C в течение 12 часов для удаления H_2O, измельчены до состояния порошка и смешаны в пропорциях $Na_2Mo_{2x}W_{2(1-x)}O_7$ с шагом 10 мол.%.

Три серии соединений $Na_2Mo_{2x}W_{2(1-x)}O_7$ были спечены при 600°C (ниже точки плавления $Na_2Mo_2O_7$) и 800°C (выше точки плавления $Na_2W_2O_7$) для определения

температуры кристаллизации каждого соединения и построения уточненной фазовой диаграммы $Na_2Mo_2O_7$ - $Na_2W_2O_7$.

Для получения данных, необходимых для построения кривой ликвидуса $Na_2Mo_2O_7$ - $Na_2W_2O_7$, были проведены эксперименты по росту кристаллов. Из исходных $Na_2Mo_2O_7$ и $Na_2W_2O_7$ были приготовлены три смеси с составами $0{,}7Na_2Mo_2O_7$-$0{,}3Na_2W_2O_7$, $0{,}5Na_2Mo_2O_7$-$0{,}5Na_2W_2O_7$ и $0{,}3Na_2Mo_2O_7$-$0{,}7Na_2W_2O_7$. Заряды нагревали до 800 °C и выдерживали в течение 2 часов для гомогенизации расплава. Затем получали температуру кристаллизации путем высева на платиновую петлю с постепенным охлаждением с шагом 5 °C от температуры 735 °C (Таблица 1).

Результаты и выводы:

Таблица 1. Состав кристаллов и температуры кристаллизации

Состав исходных кристаллов	**Температура кристаллизации в начале процесса роста**	**Состав кристаллов в начале процесса роста**	**Температура кристаллизации в конце процесса роста**	**Состав кристаллов в конце процесса роста**
$0.7Na_2Mo_2O_7$-$0.3Na_2W_2O_7$	660 °C	$Na_2Mo_{1.26}W_{0.74}O_7$	640 °C	$Na_2Mo_{1.12}W_{0.88}O_7$
$0.5Na_2Mo_2O_7$-$0.5Na_2W_2O_7$	685 °C	$Na_2Mo_{0.81}W_{1.19}O_7$	665 °C	$Na_2Mo_{0.85}W_{1.15}O_7$
$0.3Na_2Mo_2O_7$-$0.7Na_2W_2O_7$	710 °C	$Na_2Mo_{0.45}W_{1.55}O_7$	690 °C	$Na_2Mo_{0.52}W_{1.48}O_7$

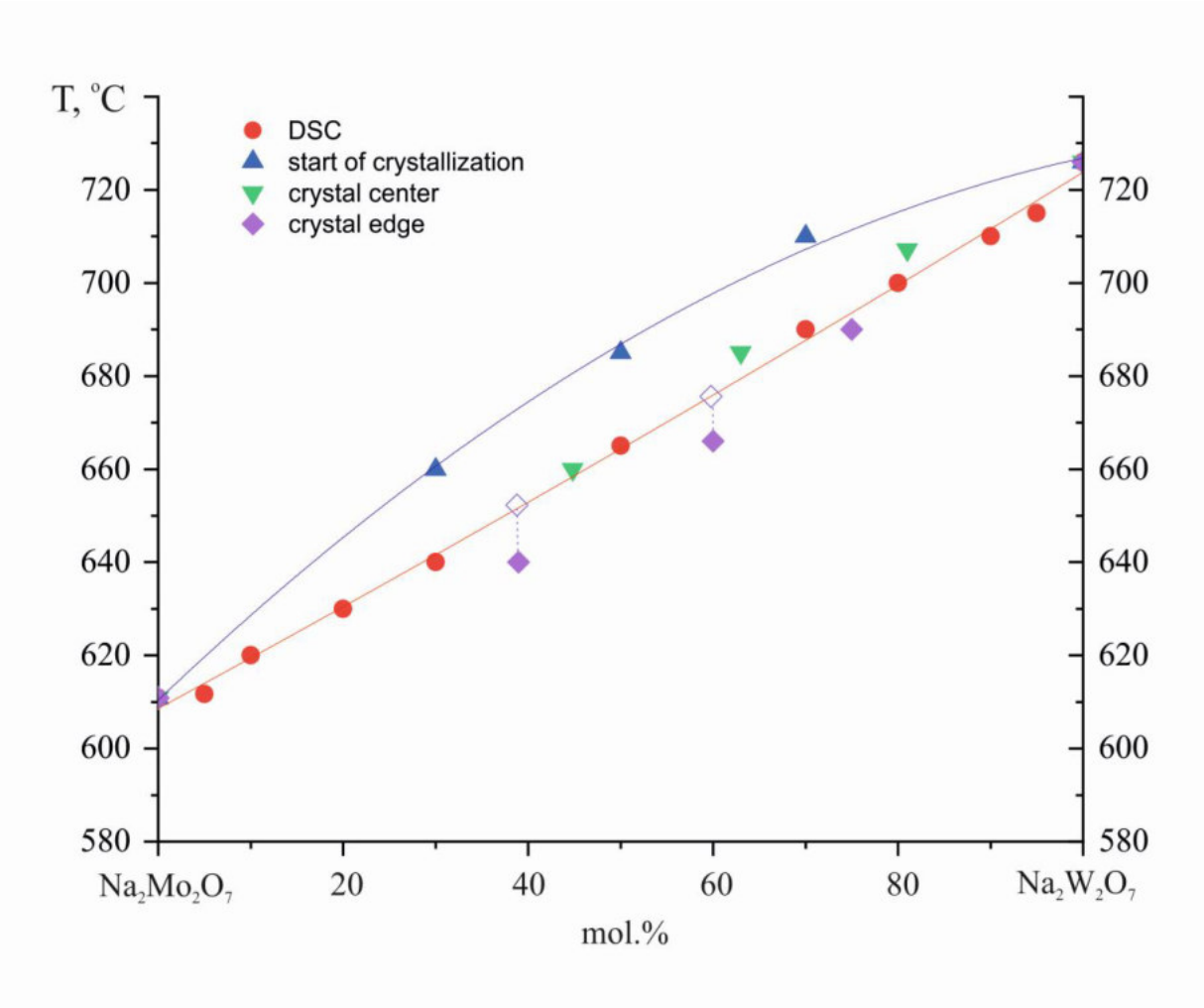

Рисунок 1. Фазовая диаграмма системы $Na_2Mo_{2x}W_{2(1-x)}O_7$

Выводы. Полученные данные позволяют сделать вывод, что для всех экспериментов по спонтанной кристаллизации при снижении температуры параметры элементарной ячейки уменьшаются с понижением температуры, а кристалл содержит более высокую концентрацию молибдена, чем остатки расплава. Таким образом, солидус должен иметь более крутой наклон в вольфрамовой части и пологий - в молибденовой. На основании всех представленных данных мы предлагаем уточненный взгляд на фазовую диаграмму системы $Na_2Mo_{2x}W_{2(1-x)}O_7$ (Рисунок 1). Сдвиг температур начальной и конечной точек кристаллизации обусловлен изменением градиента в процессе роста кристаллов [1].

Финансирование. Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 23-23-10068 и гранта Новосибирской области № р-49 (https://rscf.ru/project/23-23-10068)

Список литературы:

1. Bondareva, A.F., Artemyeva, M.A., Kuznetsov, A.B. et al. Formation of Na2Mo2XW2(1−X)O7 Solid Solutions and Derived Phase Diagram. Journal of Structural Chemistry. 2024. V. 65. № 4. P. 683–692.

МОРФОЛОГИЯ СОЕДИНЕНИЯ $Na_6Mo_{11}O_{36}$ ПРИ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ИЗ РАСПЛАВА В УСЛОВИЯХ НИЗКИХ ГРАДИЕНТОВ ТЕМПЕРАТУР

Бондарева А.Ф.[1,2], Григорьева В.Д.[2]*

[1]Новосибирский Государственный Университет, Новосибирск, Россия
[2]Институт неорганической химии им. А.В. Николаева Сибирского отделения Российской академии наук (ИНХ СО РАН), Новосибирск, Россия
*e-mail: a.bondareva04@mail.ru

Аннотация. Кристалл $Na_6Mo_{11}O_{36}$ высокого оптического качества был выращен низкоградиентным методом Чохральского. Определены оптимальные условия роста и изучена зависимость морфологии от условий роста. Низкоградиентная модификация метода Чохральского за счёт градиента температуры 0,1–1 К/см снижает термоупругие напряжения, сокращает количество дефектов в растущем кристалле. Кристаллы, выращенные низкоградиентным методом Чохральского, могут иметь огранку, что даёт возможность изучения соединения.

Ключевые слова: Чохральский, огранка кристалла, кристаллическая структура.

MORPHOLOGY OF THE COMPOUND $Na_6Mo_{11}O_{36}$ DURING CRYSTALLIZATION FROM A MELT UNDER CONDITIONS OF LOW TEMPERATURE GRADIENTS

Bondareva A.F.[1,2], Grigorieva V.D.[2]*

[1]Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia
[2]Nikolaev Institute of Inorganic Chemistry, Siberian Branch of Russian Academy of Science (NIIC SB RAS), Novosibirsk, Russia
*e-mail: a.bondareva04@mail.ru

Abstract. The $Na_6Mo_{11}O_{36}$ crystal of high optical quality was grown by the low-thrmal-gradient Czochralski method. Optimal growth conditions were determined and the dependence of morphology on growth conditions was studied. A low–gradient modification of the Czochralski method reduces thermoelastic stresses due to a temperature gradient of 0.1-1 K/cm and reduces the number of defects in the growing crystal. Crystals grown by the low-gradient Czochralski method can be faceted, which makes it possible to study the compound.

Keywords: Czochralski, crystal faceting, crystal structure.

Введение. В Институте неорганической химии группой учёных была разработана уникальна модификация метода Чохральского [1]. Метод заключается в вытягивании затравочного кристалла из расплава при температуре плавления. Модель роста имеет схожие черты с природным образованием кристаллов. При контроле градиента температур в разных зонах, а также скоростях вытягивания и вращения появляется возможность влиять на форму и огранку растущего кристалла.

Целью настоящей работы является изучить кристалл $Na_6Mo_{11}O_{36}$ с точки зрения структуры, понять, как условия роста влияют на его морфологию. Для этой цели нами были использованы рентгенофазовый анализ (РФА), рентгеноструктурный анализ (РСА) и люминесцентный анализ.

Результаты. Нами были получены около десятка образцов кристаллов $Na_6Mo_{11}O_{36}$, выращенных низкоградиентным методом Чохральского, размером 70 мм. Один из кристаллов представлен на Рисунке 1. Образцы либо монокристаллические, либо имеют

крупные монокристаллические блоки, все полученные кристаллы огранены. Кристалл характеризуется сплющенной формой.

Рисунок 1. Кристалл $Na_6Mo_{11}O_{36}$.

Обсуждение. Установка низкоградиентного метода Чохральского имеет три независимые нагревательные зоны, отклоняя температуру на нижней зоне, можно как вытравить грани, так и огранить кристалл в большей степени. Кроме того, данный метод выращивания позволяет задать форму кристалла. Стандартно используется цилиндрическая форма, но как уже было заявлено, кристалл сплющен ввиду наличия сильных боковых граней семейства ромбической призмы (022) и пинакоида (002), (040). Однако если уменьшить скорость вращения форма кристалла станет менее плоской.

Для кристалла $Na_6Mo_{11}O_{36}$ был оценён критерий Джексона для основных трёх направлений, он составил достаточно большие значения. Это говорит о склонности соединения к огранке.

Также спецификой кристалла $Na_6Mo_{11}O_{36}$ является ось растрескивания, которая проявляется из-за так называемого затравления «на платину», то есть без затравочного кристалла. В этом случае образуется множество точек затравления и выращенные таким образом кристаллы имеют направление роста [100].

Дальнейшие эксперименты по росту кристалла $Na_6Mo_{11}O_{36}$ в одном из перпендикулярных направлений дали возможность нам сделать вывод, что наиболее выгодным направлением роста является именно [100]. Поскольку в процессе роста на

затравку в направлении [001] кристалл переориентировался в направление [100], итогом этого эксперимента является двойник.

По данным РФА и РСА была получена модель кристалла $Na_6Mo_{11}O_{36}$. Кристалл имеет монокристаллическую структуру. Соединение проявляет люминесценцию при комнатной температуре.

Выводы. Кристалл $Na_6Mo_{11}O_{36}$ высокого качества был получен низкоградиентным методом Чохральского. Соединение требует дальнейшего изучения для определения механизма его роста и уточнения структуры.

Финансирование: Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 23-23-10068 и гранта Новосибирской области № р 49 (https://rscf.ru/project/23-23-10068).

Список литературы:

1. Васильев Я.В., Боровлев Ю.А., Галашов Е.Н., Иванникова Н.В., Кузнецов Ф.А., Павлюк А.А., Стенин Ю.Г., Шлегель В.Н. Низкоградиентная технология выращивания кристаллов сцинтилляционных оксидов. Сцинтилляционные материалы, техника, устройства и приложения. Харьков. ИСМА. 2011. 320 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ $NaHCO_3$ И Na_2CO_3 ПРИ ВЫСОКИХ *P-T* ПАРАМЕТРАХ В ВОДНОЙ СРЕДЕ

Бородина У.О., Горяйнов С.В., Лихачёва А.Ю.*[1]

Институт геологии и минералогии им В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия
*e-mail: borodinauo@igm.nsc.ru

Аннотация. Большинство исследований *P–T* поведения карбонатов проводится в безводной среде, что не соответствует природным условиям. Поведение карбонатов в водной среде при повышении температуры и давления остается малоизученным. Изучение устойчивости карбонатов натрия и их превращений в водно-карбонатном флюиде в условиях высоких *P–T* актуально с точки зрения понимания геохимических процессов Na-связанной циркуляции углерода в земной коре и зонах субдукции. В данной работе были изучено поведение $NaHCO_3$ и Na_2CO_3 при повышении *P* и *T*. Карбонаты разлагались с образованием органических молекул, формиатов.

Ключевые слова: карбонаты. КР-спектроскопия, высокие давления, высокие температуры, органические молекулярные кристаллы

STUDY OF $NaHCO_3$ AND Na_2CO_3 AT HIGH P-T CONDITION IN WATER MEDIUM

Borodina U.O., Goryainov S.V., Likhacheva A.Yu.

V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, Novosibirsk, Russia,
borodinauo@igm.nsc.ru

Abstract. The behavior of carbonates in an aqueous environment with increasing temperature and pressure remains poorly understood. The study of the stability of sodium carbonates and their transformations in aqueous-carbonate fluid under high *P–T* conditions is relevant for understanding the geochemical processes of Na-bound carbon circulation in the earth's crust and subduction zones. In this study, the behavior of $NaHCO_3$ and Na_2CO_3 with increasing *P–T*-parameters was investigated. The carbonates decomposed with subsequent formation of organic molecules, formates.

Keywords: carbonates, Raman spectroscopy, high pressure, high temperature, organic molecular crystals

Введение. Были исследованы синтетические аналоги минералов нахколит и натрит. Нахколит, $NaHCO_3$, широко распространен и участвует во многих геологических процессах в форме минерала и его водного раствора. Синтетический аналог минерала нахколита, также называемый содой, широко используется в химической, фармацевтической и пищевой промышленности. Минерал натрит, Na_2CO_3 – наиболее редкий в группе шести природных Na-карбонатов. Природный натрит был найден в глубоких скважинах пегматитов, залегающих в дифференцированных щелочных массивах (Кольский полуостров, Россия) и в содалитовых ксенолитах, связанных с интрузивным щелочным габбро-сиенитовым комплексом (Мон-Сен-Илер, Канада). Натрит образует ассоциации со многими минералами. В воде натрит образует сильнощелочной раствор. При атмосферных условиях нахколит имеет моноклинную структуру $P2_1/c$, a = 3.54, b = 9.78, c = 8.11, β = 112.19, Z = 4 [8]. Натрит имеет модификацию γ-Na_2CO_3 с моноклинной псевдогексагональной структурой, $C2/m$ (γ $C2/m(\alpha 0\gamma)0s$), a = 8.92, b = 5.25, c = 6.05, β = 101.35, Z = 4 [3]. Известны следующие структурные переходы натрита: γ $C2/m(\alpha 0\gamma)0s$ → β C2/m → α $P6_3/mmc$, $T \geq 330$ °C и ≥ 480 °C при P = 1 атм [1].

Цель данного исследования – изучить поведение бикарбоната, $NaHCO_3$, и карбоната натрия, Na_2CO_3, в среде воды при высоких *P–T* параметрах, определить пределы их стабильности и продукты разложения.

Эксперимент. Были исследованы образцы синтетического бикарбоната натрия $NaHCO_3$ (катионный состав Na-Ca-K с содержанием натрия 99,96%, производство ООО «Сода», г. Стерлитамак, Россия) и синтетического карбоната натрия, Na_2CO_3 (Химреактив, ГОСТ 83-79). Чистота образцов была проверена методом XRD. Далее карбонаты были помещены в отверстие гаскеты из Fe-стали и сжаты в алмазной ячейке (DAC) в водной среде. Поведение карбонатов изучалось *in situ* с помощью спектрометра Horiba Jobin Yvon LabRam HR800 (ИГМ СО РАН, Новосибирск), с Ar-лазером, 514.5 нм. Давление в ячейке оценивалось по линии люминесценции R_1 рубина [2].

Результаты и обсуждение. Методом *in situ* КР-спектроскопии было обнаружено, что при сжатии в водной среде в присутствии металлического железа нахколит разлагается на безводные фазы: натрит γ-Na_2CO_3, сидерит, магнетит (из-за растворения стальной прокладки Fe), Na-формиат и, вероятно, органический молекулярный кристаллический сольват Na-формиата и метилформиата. Na-формиат был ранее обнаружен в наших исследованиях среди продуктов разложения шортита и канкринита при высоких *P–T* [4]. Предполагалось, что бикарбонат в водной среде будет образовывать различные гидратные фазы, однако, они среди продуктов найдены не были. Образование формиата натрия, HCOONa, при разложении нахколита, $NaHCO_3$, вероятно, происходит в ходе следующих реакций:

$$2NaHCO3 = Na2CO3 + CO2 + H2O \qquad 4.4\ \text{ГПа},\ 200\ °C \qquad (1)$$

$$2Na2CO3 + 2H2O + 2CO2 + 3Fe = 4HCOONa + Fe3O4 \qquad 1.5\ \text{ГПа},\ 400\ °C \qquad (2)$$

Сначала нахколит разлагается с образованием натрита. Затем натрит растворяется в водном флюиде с образованием органических молекул и последующей их кристаллизацией из раствора.

Для подтверждения данных результатов был проведён аналогичный эксперимент с образцом натрита. В исходном спектре Na_2CO_3 (Римунок 1) наблюдаются следующие моды: колебания решётки (50-250 см$^{-1}$); деформационные асимметричные колебания C–O связи, $(CO_3)^{2-}$ υ_4 (699+703 см$^{-1}$); симметричные валентные колебания, $(CO_3)^{2-}$ υ_1 (1061+1079+1083 см$^{-1}$); асимметричные валентные колебания, $(CO_3)^{2-}$ υ_3 (1422+1431 см$^{-1}$) [5]. В КР-спектре образца после эксперимента при параметрах до 1,7 ГПа, 400 °C в области 1360-1400 см$^{-1}$ появляется несколько пиков, соответствующих формиату натрия, HCOONa: COO^- ν_2, COO^- ν_6 [7, 9]; появляется несколько дополнительных пиков в области колебаний решётки и в области $(CO_3)^{2-}$ υ_4 колебаний; меняется вид спектра наиболее интенсивных $(CO_3)^{2-}$ υ_1 мод: более явно проявляется расщепление пика, моды смещаются и проявляются на частотах 1069+1079+1082 см$^{-1}$; появляется дополнительный пик при 1535 см$^{-1}$, который может соответствовать нескольким типам колебаний: асимметричные валентные (ν_5) колебания C−O связи в COO^-, деформационные $(CO_3)^{2-}$ υ_4 колебания [5, 7]. Изменения вида $(CO_3)^{2-}$ υ_4 мод и пик при 1535 см$^{-1}$ можно отнести как к колебаниям в формиате, так и к структурному переходу в Na_2CO_3.

Выводы. In situ КР-исследование Na-содержащей системы карбонат-вода-железо в условиях высоких *P–T* показало, что карбонаты разлагаются с образованием органических соединений, что отличается от поведения карбонатов в условиях безводной среды. В данном исследовании бикарбонат натрия, $NaHCO_3$, при повышении давления и

температуры до 4,4 ГПа, 200 °C частично разлагается с образованием карбоната Na_2CO_3, который, в свою очередь, растворяется во флюиде при 1,5 ГПа, 400 °C, с последующей кристаллизацией из раствора Na-формиата. Результаты нашего эксперимента напрямую подтверждают гипотезу Хориты и Берндта [6] о возможном образовании органических молекул в системе карбонат-вода-металл. Предположительно, помимо частичного разложения, при данных параметрах Na_2CO_3 претерпевает изменение структурной модификации, γ $C2/m(\alpha 0\gamma)0s \rightarrow \beta$ C2/m.

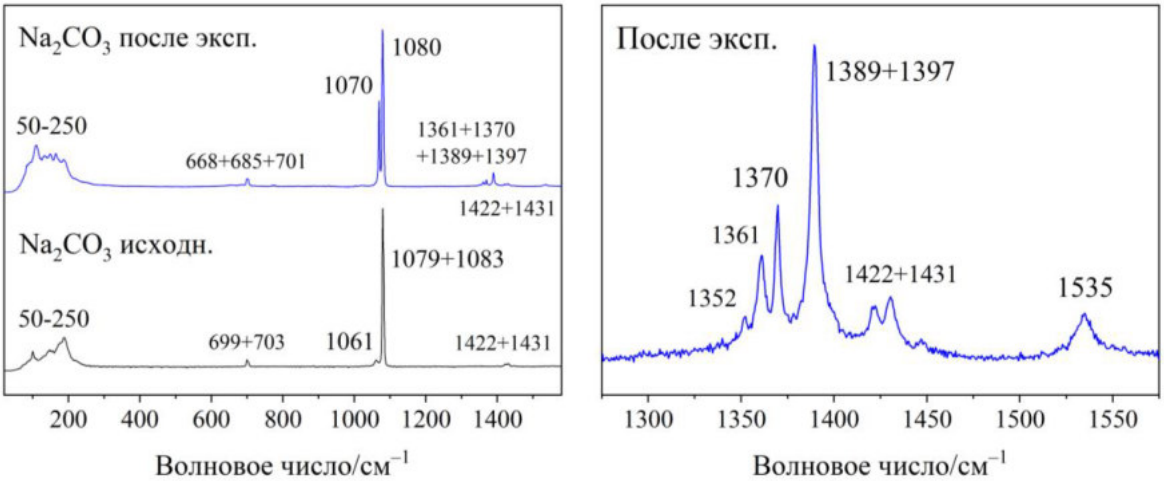

Рисунок 1. КР-спектры исходного Na_2CO_3 и образца после эксперимента при высоких *P-T*. В области 1350-1400 см$^{-1}$ появились пики, соответствующие спектру Na-формиата.

Финансирование: Работа выполнена в рамках государственного задания ИГМ СО РАН (122041400176-0) и гранта Российского Фонда Фундаментальных Исследований № 21-55-14001_ANF.

Список литературы:

1. Arakcheeva, A. A. and Chapuis G.. A reinterpretation of the phase transitions in Na_2CO_3. Acta Crystallographica Section B: Structural Science. 2005. V. 61 № 6. P. 601–607.

2. Datchi, F., Dewaele, A., Loubeyre, P., Letoullec, R., Le Godec, Y., Canny, B. Optical pressure sensors for high-pressure–high-temperature studies in a diamond anvil cell. High Pressure Research. 2007. V. 27. № 4. P. 447–463.

3. Dušek, M., Chapuis, G., Meyer, M., and Petricek, V. Sodium carbonate revisited. Acta Crystallographica Section B: Structural Science. 2003. V. 59. № 3. P. 337–352.

4. Goryainov, S. V., Krylov, A. S., Borodina, U. O., Likhacheva A. Yu., Krylova S. N., Seryotkin Yu. V., Bogdanov N. E., Vtyurin A. N., Grishina S. N. Raman study of decomposition of Na-bearing carbonates in water fluid at high *P–T* parameters (in press).

5. Goryainov S. V., Krylova, S. N., Borodina, U. O., Krylov, A. S. Dynamical immiscibility of aqueous carbonate fluid in the shortite–water system at high-pressure–temperature conditions. The Journal of Physical Chemistry C. 2021. V. 125. №. 33. P. 18501–18509.

6. Horita J., Berndt M. Abiogenic methane formation and isotopic fractionation under hydrothermal conditions. Science. 1999. V. 285. № 5430. P. 1055–1057.

7. Rudolph W., Irmer G. Raman Spectroscopic Studies on Aqueous Sodium Formate Solutions and DFT Calculations. Journal of Solution Chemistry. 2022. V. 51. № 8. P. 935–961.

8. Sharma B. Sodium bicarbonate and its hydrogene atom. Acta Crystallographica. 1965. V. 18. P. 818–819.

9. Tajima I., Takahashi H., Machida K. Polarized IR reflection and Raman spectra of sodium formate crystal. Spectrochim Acta A. 1981. V. 37. №. 10. P. 905–910.

НЕСОРАЗМЕРНАЯ МОДУЛЯЦИЯ В СТРУКТУРЕ ФЛЕЙМИТА ПРИ ВЫСОКОМ ДАВЛЕНИИ

Игнатов М. А., Ращенко С. В., Богданов Н. Е., Романенко А. В., Сокол Э. В., Кох С. Н.*

Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия
*e-mail: ignatovma@igm.nsc.ru

Аннотация: Исследование несоразмерной модуляции в минерале *флеймит* аналогичного высокотемпературной фазе α'_H-Ca_2SiO_4 проводилось с использованием монокристальной рентгеновской дифракции при давлении до 6 ГПа. Несмотря на изменение давления, вектор модуляции оставался постоянным (q = 0,2698(10) b*), что связано с химической природой несоразмерной модуляции и накоплением замещающих катионов. Объем элементарной ячейки флеймита уменьшался с увеличением давления, а объемный модуль упругости составил 87(2) ГПа.

Ключевые слова: пирометаморфизм, кристаллическая структура, несоразмерная модуляция, высокое давление.

INCOMMENSURATE MODULATED STRUCTURE OF FLAMITE AT HIGH PRESSURE

Ignatov M. A., Rashchenko S. V., Bogdanov N. E., Romanenko A. V., Sokol E. V., Kokh S. N.*

V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, Novosibirsk, Russia
*e-mail: ignatovma@igm.nsc.ru

Abstract: The study of incommensurate modulation in the *flamite* mineral, similar to the high-temperature phase α'_H-Ca_2SiO_4, was carried out using single-crystal X-ray diffraction at pressures up to 6 GPa. Despite the pressure change, the modulation vector remained constant (q = 0.2698(10) b*), which is due to the chemical nature of the incommensurate modulation and the accumulation of substituting cations. The unit cell volume of the flamite decreased with increasing pressure, and the bulk modulus was 87(2) GPa.

Key words: Pyrometamorphism, crystal structure, incommensurate modulated structure, high pressure

Повышенные интерес к изучению высокотемпературных полиморфных модификаций Ca_2SiO_4 обусловлен их важностью для химии цемента. В частности, известна несоразмерно модулированная фаза α'_H-Ca_2SiO_4 (*Pnma*(α00)0*ss*, q = 0,3725 a*) образующаяся в диапазоне температур 1160–1425 °C [1]. В природных условиях в ходе высокотемпературного-низкобарического пирометаморфизма образуется аналогичная фаза, известная как минерал флеймит. Флеймит стабилизируется замещениями катионов Ba, K, Na → Ca и P → Si и при сохранении средней пространственной группы симметрии *Pnma* характеризуется другим направлением вектора несоразмерной модуляции q = 0,2728(2) b* и 3+1 пространственной группы симметрии *Pnma*(0β0)00*s* [2].

В данной работе исследована зависимость несоразмерной модуляции в структуре флеймита от высокого давления в диапазоне до 6 ГПа методом монокристальной рентгеновской дифракции. Дифракционные данные были получены на дифрактометрах XtaLAB Synergy-DW в ЦКП «Структурная диагностика материалов» ИК РАН (0,16–3,48 ГПа) и TD-5000 в ИГМ СО РАН (3,97–6,05) ГПа.

Особенностью полученных данных является неизменность вектора модуляции q = 0,2698(10) b* во всем исследованном диапазоне давлений (Рисунок 1а). Наиболее вероятной причиной такого поведения является химическая природа несоразмерной модуляции

флеймита, связанная с периодическим накоплением замещающих катионов в плоскостях перпендикулярных вектору модуляции.

С увеличением давления объем элементарной ячейки флеймита регулярно уменьшается (Рисунок 1б). При этом объемный модуль упругости K_0 согласно уравнению состояния Бирча-Мурнагана второго порядка составляет 87(2) ГПа.

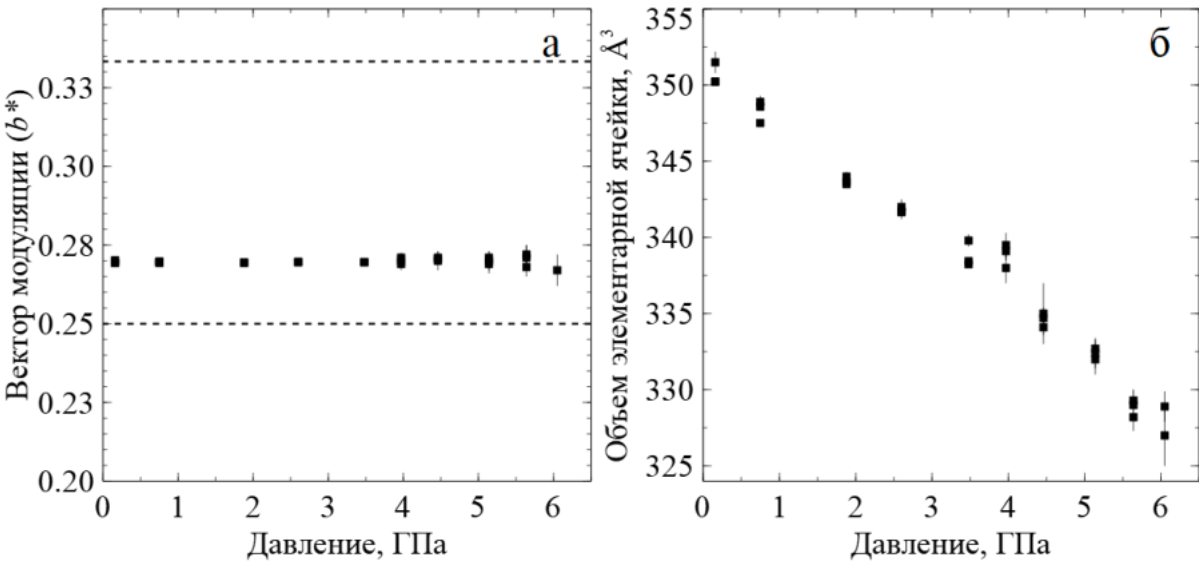

Рисунок 1. (а) Зависимость вектора несоразмерной модуляции в структуре флеймита от давления. Пунктирами показаны значения 1/3 и 1/4. (б) Зависимость объема элементарной ячейки флеймита от давления.

Финансирование: Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-77-10047.

Список литературы:

1. Plana-Ruiz S. et al. Three-dimensional electron diffraction on clinkers: the belite α'_H incommensurate modulated structure. Acta Crystallogr B Struct Sci Cryst Eng Mater. 2024. V. 80. P. 105–116.

2. Rashchenko S.V. et al. Incommensurately modulated crystal structure of flamite - natural analogue of α'_H-Ca_2SiO_4. Acta Crystallogr B Struct Sci Cryst Eng Mater. 2019. V. 75. P. 1137–1143.

МЕХАНИЧЕСКАЯ И ТЕРМИЧЕСКАЯ ГОМОГЕНИЗАЦИЯ СИНТЕТИЧЕСКОГО ПИРРОТИНА ДЛЯ ПОДГОТОВКИ СТАНДАРТОВ ДЛЯ ЛА-ИСП-МС

Климов А.О.[1], Кох К.А. [1], Абрамова В.Д. [2]*

[1]Институт геологии и минералогии им В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия
[2]Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии, Москва, Россия
*e-mail: a.klimov1@g.nsu.ru

Аннотация. В работе с оксидными фазами успешно применяется метод масс-спектроскопии с индуктивно связанной плазмой и лазерной абляцией (ЛА-ИСП-МС). Однако существует ряд ограничений для успешного применения ЛА-ИСП-МС для анализа сульфидов. Ключевыми проблемами стали не обеспечивающие требуемую гомогенность стандарты и ряд инструментальных проблем. В данной работе приводятся результаты экспериментов по изготовлению стандартов для ЛА-ИСП-МС и анализ влияния условий съемки на расчетные концентрации и распределение примесных элементов.

Ключевые слова: Сульфидные стандарты, ЛА-ИСП-МС, пирротин.

MECHANICAL AND THERMAL HOMOGENISATION OF SYNTHETIC PYRRHOTITE FOR THE PREPARATION OF STANDARDS FOR LA-ISP-MS

Klimov A.O.[1], Kokh K.A.[1], Abramova V.D.[2]*

[1]V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, Novosibirsk, Russia,
[2] Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry, Moscow, Russia
*e-mail: a.klimov1@g.nsu.ru

Abstract. Inductively coupled plasma and laser ablation mass spectrometry (LA-ICP-MS) has been successfully applied to oxide phases. However, there are a number of limitations to the successful application of LA-ICP-MS for sulphide analysis. The main problems are reference materials (RMs) that do not provide the required homogeneity and a number of instrumental issues. This paper presents the results of experiments on the preparation of RMs for LA-ICP-MS and analyses the influence of measurement conditions on the calculated concentrations and distributions of trace elements.

Keywords: Sulphide reference materials, LA-ISP-MS, pyrrhotite.

Введение. Измерение концентраций элементов-примесей в сульфидах является крайне необходимым для понимания процессов рудообразования и решения других геохимических задач. С точки зрения геохимии, в соотношении микроэлементов часто записана важная информация, необходимая для понимания гидротермальных и магматических процессов, а также для оценки условий эволюции мантии [1, 3, 5]. Помимо научных целей, исследование примесей в сульфидах позволяет решать коммерческие задачи. Например, корректные измерения концентраций благородных металлов в сульфидных фазах позволяют определить оптимальные алгоритмы обогащения руд [2]. Среди всех примесей особый интерес представляют благородные металлы.

Одним из наиболее распространенных локальных прецизионных методов анализа является масс-спектроскопия с индуктивно связанной плазмой и лазерной абляцией (ЛА-ИСП-МС). Однако данный метод существует два основных ограничения для успешного применения ЛА-ИСП-МС для анализа сульфидных фаз. Первое – качество существующих

сульфидных стандартов. С одной стороны, опубликовано множество работ, в которых приводятся выдающиеся характеристики гомогенности элементов примесей в синтетических сульфидах. С другой стороны, ни один из существующих сульфидных стандартов не может обеспечить оптимальную гомогенность для широкого набора элементов.

Другим ограничением ЛА-ИСП-МС анализа сульфидов является ряд инструментальных проблем. К ним относится различие в фракционировании элементов при использовании лазерного пробоотбора разных с разной длинной волны и различие в фракционировании для разных диаметров лазерного пучка.

Целью данной работы является исследования влияния параметров механической и термической гомогенизации образцов, а также условий съемки на расчетную концентрацию и распределение элементов-примесей в синтетическом пирротине.

Материалы и методы. Подготовка образцов. На первым этапе был получен синтетический пирротин для использования в качестве матрицы стандарта. Синтез проводился путем реакции железа и серы в вакуумированных кварцевых ампулах при температуре 800°C в течение 4 суток. Мольное соотношение Fe/S составляло 0.92. Далее ампулы вскрывались, а их содержимое измельчалось в агатовой ступке до однородного порошка. В полученный порошок добавлялись элементы-примеси (Ag, Au, Bi, Cd, Co, Cu, In, Mo, Ni, Pb, Pd, Rh Sb, Sn, Zn, As, Se, Te,), взятые в элементарной форме. Предполагаемая концентрация каждого элемента должна была составлять 100 ppm. Далее, для гомогенизации смеси она измельчалась в шаровом гомогенизаторе в течение 30 мин. После гомогенизации порошок пирротина с примесями запрессовывался в таблетки диаметром 5 мм под давлением около 2 кбар. Полученные таблетки отжигались при температуре 600, 800 и 1000°C в течение 9 и 28 суток.

Методы исследования. Фазовая однородность матричного пирротина проверялась с помощью порошкового дифрактометра Дрон-8 (Cu-Kα, 1,54 Å).

Морфология и концентрация основных компонентов во всех образцах определялись с помощью оптического микроскопа Carl Zeis AxioScope A1 с цифровой фотокамерой Canon PowerShot A 590 и сканирующих электронных микроскопов MIRA 3LMU (TESCAN, Чехия) и JSM 6510 LV (JEOL, Япония) с ускоряющим напряжением 20 кВ.

Микрогомогенность образцов стандартов проверялась с помощью ЛА-ИСП-МС анализа на квадрупольном масс-спектрометр Thermo Xseries с лазерной приставкой New Wave 213. Диаметр пучка лазера варьировался от 40 до 80 мкм., скорость сканирования 10 мкм./сек. Коррекция дрейфа приборных параметров проводилась с помощью внутреннего стандарта – Fe^{57}.Для калибровки использовались внешние стандарты USGS MASS-1 [4] и UQAC-FeS1 (UQAC, Chicoutimi, Canada).

Результаты. С помощью ЭДС анализа было установлено, что состав пирротина во всех образцах соответствует составу матричного пирротина до отжига. Ввиду относительно низкой чувствительности метода, элементы-примеси не были зафиксированы. В образцах с температурой отжига 600°C обнаружены многоэлементные включения (не более десятка на всей площади образца).

Результаты ЛА-ИСП-МС анализа показывают отклонение измеренной концентрации от заданных 100 ppm и вариацию концентраций для разных диаметров лазерного пучка на фоне одинакового характера спектров для всех анализов. Распределения элементов-примесей становится более равномерным по мере снижения температуры отжига и увеличения диаметра лазерного пучка.

Выводы. Оптимальной температурой отжига, обеспечивающей стабилизацию образцов и отсутствие включений является $T_{отж.} > 600°C$. Увеличение длительности отжига при этом не способствует полному растворению включений, но приводит к обеднению их элементного состава. Отклонение концентрации примесей от предполагаемых для анализов с размером лазерного пучка 80 и 60 мкм. вызваны ошибками навесок (±0.00005 г) и различием в фракционировании для 80 и 60 мкм. лазерных пучков. Для 40 мкм. к указанным факторам добавляется влияние микровключений и отдельных негомогенных участков образцов.

Список литературы:

1. Dehnavi A. S., McFarlane C. R., Lentz D. R., Walker J. A. Assessment of pyrite composition by LA-ICP-MS techniques from massive sulfide deposits of the Bathurst Mining Camp, Canada: From textural and chemical evolution to its application as a vectoring tool for the exploration of VMS deposits. Ore Geology Reviews. 2018. V. 92. P. 656-671.
2. Kelvin M., Whiteman E., Petrus J., Leybourne M., Nkuna V. Application of LA-ICP-MS to process mineralogy: Gallium and germanium recovery at Kipushi copper-zinc deposit. Minerals Engineering. 2022. V. 176. P. 107322.
3. Oyebamiji A., Hu R., Zhao C., Zafar T. Origin of the Triassic Qilinchang Pb-Zn deposit in the western Yangtze block, SW China: Insights from in-situ trace elemental compositions of base metal sulfides. Journal of Asian Earth Sciences. 2020. V. 192. P. 104292.
4. Wilson S. A., Ridley W. I., Koenig A. E. Development of sulfide calibration standards for the laser ablation inductively-coupled plasma mass spectrometry technique. Journal of Analytical Atomic Spectrometry. 2002. V. 17. №. 4. P. 406-409.
5. Yang W., Zhao H., Zhang W., Luo T., Li M., Chen K., Hu S., Hu Z. A simple method for the preparation of homogeneous and stable solid powder standards: Application to sulfide analysis by LA-ICP-MS. Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy. 2021. V. 178. P. 106124.a

ВОЗНИКНОВЕНИЕ НЕСОРАЗМЕРНОЙ МОДУЛЯЦИИ В K-КИМРИТЕ ПРИ ВЫСОКОМ ДАВЛЕНИИ

Романенко А.В.[1], Ращенко С.В.[1,2], Корсаков А.В[1], Сокол А.Г.[1]*

[1]Институт геологии и минералогии им В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия
[2]Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия
*e-mail: romanenko.alxndr@gmail.com

Аннотация: в данной работе изучена структура K-кимрита при высоком давлении. Обнаружено появление несоразмерной модуляции как механизм реагирования на сжатие. Изучено изменение вектора модуляции, а также расшифрована несоразмерно модулированная структура.

Ключевые слова: K-кимрит, несоразмерная модуляция, алмазные наковальни, кристаллохимия

APPEARANCE OF INCOMMENSURATE MODULATION IN K-CYMRITE AT HIGH PRESSURE

Romanenko A.V.[1], Rashchenko S.V.[1,2], Korsakov A.V.[1], Sokol A.G.[1]*

[1]V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, Novosibirsk, Russia
[2]Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia
*e-mail: romanenko.alxndr@gmail.com

Abstract. The crystal structure of K-cymrite at high pressure is reported. An appearance of incommensurate modulation in responce to compression is observed. A variation of modulation vector with pressure is studied and incommensurately modulated crystal structure is solved.

Keywords. K-cymrite, incommensurate modulation, diamond anvils, crystal chemistry

Введение. K-кимрит является высокобарическим полиморфом $KAlSi_3O_8 \cdot H_2O$ с топологией дмиштейнбергита, который кристаллизуется при температурах выше 400°C и давлении более 2.3 ГПа [1; 3]. Его структура характеризуется двойными слоями алюмосиликатных тетраэдров $[(AlSi)_2O_5]_{2\infty}$, связанными через мостиковые атомы кислорода, чередующиеся со слоями катионов калия. Основная цель исследования — изучение его сжимаемости и структурной эволюции при давлении до 18 ГПа с использованием синхротронной рентгеновской дифракции.

Методы. Эксперименты проводились на кристалле K-кимрита в среде неона с использованием ячейки высокого давления с алмазными наковальнями и синхротронной рентеговской дифракции.

Результаты. Методом синхротронной монокристаллической рентгеновской дифракции изучены сжимаемость и структурная эволюция K-кимрита. K-кимрит сохраняет исходную симметрию *P*6/*mmm* до давления 7,3 ГПа. При дальнейшем увеличении давления наблюдаются слабые сателлитные рефлексы, указывающие на несоразмерную модуляцию см. Риунок 1a,b). Однако после снятия давления кристалл возвращается в первоначальное состояние.

Это явление связано с несоизмеримой модуляцией, аналогичной описанной для кимрита ($BaAl_2Si_2O_8 \cdot H_2O$) при комнатных условиях [2]. При повышении давления от 7,3 ГПа до 8,5 ГПа вектор модуляции существенно увеличивается от 0,18a* до 0,30a*, затем увеличивается до 0,33a* до давления 16,2 ГПа и снова снижается до 0,30a* до 18,4 ГПа. (см. Рисунок 1d). После сброса давления K-кимрит возвращается в исходное монокристаллическое состояние с пространственной группой *P*6/*mmm*.

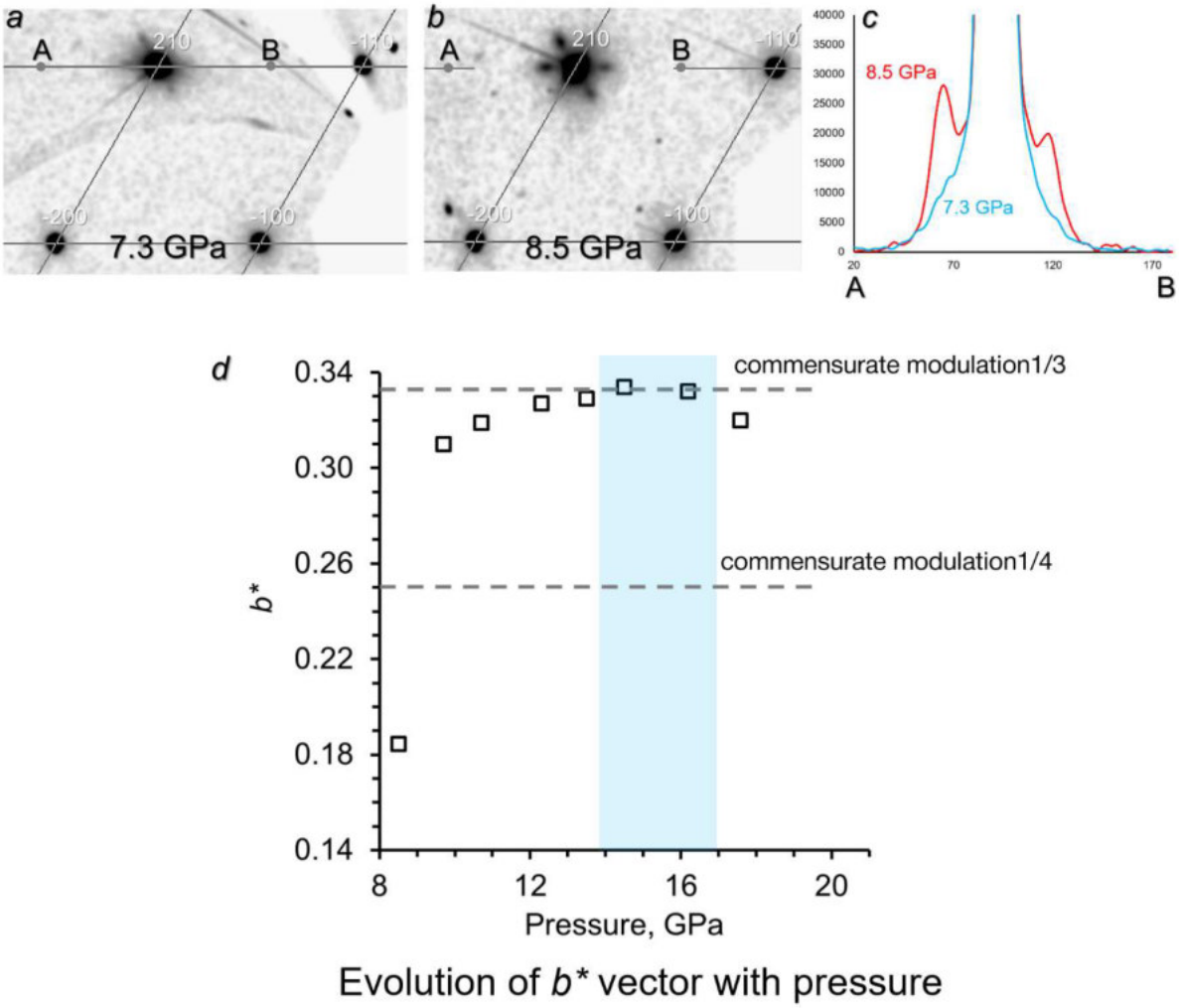

Рисунок 1. Плоскость (hk0) обратной решетки K-кимрита при 7,3 ГПа (a), 8,5 ГПа (b); (c) сечение интенсивности дифракции через A-B; изменение вектора модуляции с давлением (d)

Финансирование: Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 23-77-10047.

Список литературы:

1. Seki Y., Kennedy G. C. The breakdown of potassium feldspar, KAlSi3O8 at high temperatures and high pressures. American Mineralogist. 1964. V. 49. P. 1688-1706.
2. Bolotina N. B., Rastsvetaeva R. K., Kashaev A. A. Refinement of the twinned structure of cymrite from the Ruby Creek deposit (Alaska). Crystallography Reports. 2010. V. 55. № 4. P. 569-574.
3. Krivovichev S. V. Feldspar polymorphs: diversity, complexity, stability. Zapiski RMO (Proceedings of the Russian Mineralogical Society). 2020. V. CXLIX. FELDSPAR POLYMORPHS. № 4. P. 16-66.

ПОРЯДОК КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ФАЗ В МОДЕЛЬНОЙ ГРАНИТНОЙ СИСТЕМЕ Si-Al-Na-K-Li-F-O-H ПРИ ПОНИЖЕНИИ ТЕМПЕРАТУРЫ ОТ 1000°C ДО 400°C И 1 КБАР С РАЗНЫМ СОДЕРЖАНИЕМ ВОДЫ

Русак А.А.[1], Щекина Т.И.[2]*

[1]Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского, Москва, Россия
[2]Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия
*e-mail: rusak@geokhi.ru

Аннотация. В настоящий момент вопрос рудоконцентрации редкоземельных элементов (REE) и лития в природе становится всё более актуальным. В данной работе, основанной на экспериментальных данных, предлагается рассматривать криолит и другие щелочные алюмофториды в качестве реперных минералов при поисках и изучении редкометальной минерализации в гранитах. Изучен возможный механизм накопления редкоземельных элементов и лития в силикатно-солевой модельной гранитной системе Si-Al-Na-K-Li-F-O-H от 400 до 1000°C и 1 кбар с разным содержанием воды. На тройной диаграмме Si-Al-(Na+K) составы экспериментальных стекол, полученных при понижении температур гранитной системы, попадают в область алюмосиликатного расплава, богатого Si и Al, равновесного с алюмофторидным расплавом, богатым щелочами, и не содержащим Si. Данный порядок кристаллизации может служить моделью образования криолитсодержащих гранитов на поздних стадиях дифференциации магматического расплава.

Ключевые слова: криолит, полилитионит, редкоземельные элементы, литий, криолитсодержащие граниты

ORDER OF CRYSTALLIZATION OF PHASES IN THE MODEL GRANITE SYSTEM Si-Al-Na-K-Li-F-O-H WHEN THE TEMPERATURE REDUCES FROM 1000°C TO 400°C AND 1 KBAR WITH DIFFERENT WATER CONTENTS

Rusak A.A.[1], Shchekina T.I.[2]

[1]Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry, Moscow, Russia, rusak@geokhi.ru
[2] Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

Abstract. At the moment, the issue of ore concentration of rare earth elements (REE) and lithium in nature is becoming increasingly relevant. In this work, based on experimental data, it is proposed to consider cryolite and other alkali aluminofluorides as reference minerals when searching for and studying rare metal mineralization in granites. The possible mechanism of accumulation of rare earth elements and lithium in the silicate-salt model granite system Si-Al-Na-K-Li-F-O-H from 400 to 1000°C and 1 kbar with different water content was studied. In the Si-Al-(Na+K) ternary diagram, the compositions of experimental glasses obtained by lowering the temperatures of the granite system fall into the region of an aluminosilicate melt rich in Si and Al, in equilibrium with an aluminofluoride melt rich in alkalis and not containing Si. This order of crystallization can serve as a model for the formation of cryolite-containing granites at the late stages of differentiation of the magmatic melt.

Keywords: cryolite, polylithionite, rare earth elements, lithium, cryolite-containing granites

Цель и задача работы. Целью данного исследования являлось определение порядка кристаллизации фаз опорного состава модельной системы Si-Al-Na-K-Li-F-O-H, отвечающего гранитной эвтектике Qtz-Ab-Or при 690°C, 1 кбар H_2O и содержании 1 мас. % фтора [3] и 1,5 мас. % лития с разным содержанием воды от 0 до 50 мас. %. Задачей исследования являлось показать порядок кристаллизации и изменение состава расплава при

снижении температуры от ликвидуса до солидуса системы и поведение Li и REE в процессе кристаллизации.

Методы. Эксперименты проводились на установке высокого газового давления в ИЭМ РАН в г. Черноголовка. Продукты экспериментов исследовались с помощью сканирующего электронного микроскопа Jeol JSM-IT500 (Jeol, Япония) с энерго-дисперсионным спектрометром Oxford X-Max^N (Oxford Instrument Ltd., Великобритания) при ускоряющем напряжении 20 кВ и токе 0,7 нА. Определение содержаний Li и REE в экспериментальных образцах были выполнены в АСИЦ ИПТМ РАН. Измерения проводили на квадрупольном масс-спектрометре с индуктивно связанной плазмой X Series II (Thermo Scientific, США) с приставкой для лазерной абляции UP266 MACRO (New Wave Research, США). Изучение валового состава алюмосиликатного и солевого закаленных расплавов, содержащих Li, REE, Y и Sc, проводили на масс-спектрометре с ионизацией в индуктивно-связанной плазме с двойной фокусировкой Element-2 кафедры геохимии МГУ имени М.В. Ломоносова.

Результаты. Показано, что при 1000°C система гомогенна и существует только одна фаза – алюмосиликатный расплав с мелкими неравновесными закалочными фазами щелочно-алюмофторидного состава. При 800°C сосуществуют два несмешивающихся расплава: щелочно-алюмофторидный (солевой) и алюмосиликатный, в котором также находятся мелкие закалочные фазы [1]. При 700°C из солевого расплава кристаллизуются крупные кристаллы криолита ~150 мкм в поперечнике, остаточный солевой расплав накапливает REE, Y, Sc и Li. При подходе к равновесию в экспериментах «сверху вниз» при 600°C из алюмосиликатного расплава кристаллизуется кварц, полилитионит, тогда как солевая фаза сохраняет остаточный расплав, насыщенный REE, из которого также кристаллизуется KNa-криолит. При подходе к равновесию «снизу вверх» из силикатного расплава кристаллизуется ортоклаз и KNa-криолит. При 500°C из алюмосиликатного расплава в кристаллах кварца кристаллизуются, как Na-криолит, так и K-криолит, что говорит об их совместном образовании из силикатного расплава. При 400°C солевой расплав полностью кристаллизуется в виде алюмофторидов щелочей и фторидов REE, а алюмосиликатный расплав находится в переохлажденном, метастабильном состоянии.

При построении тройной диаграммы Si – Al – Na+K (Рисунок 1) точки опорного состава и составы экспериментальных стекол попадают в область агпаитового алюмосиликатного расплава (L), равновесного с алюмофторидным расплавом (LF). При понижении температуры от 1000°C до 400°C состав расплава становится более кремнеземистым, потому что щелочи и часть глинозема уходят в кристаллические фазы, и состав расплава становится все более кислым.

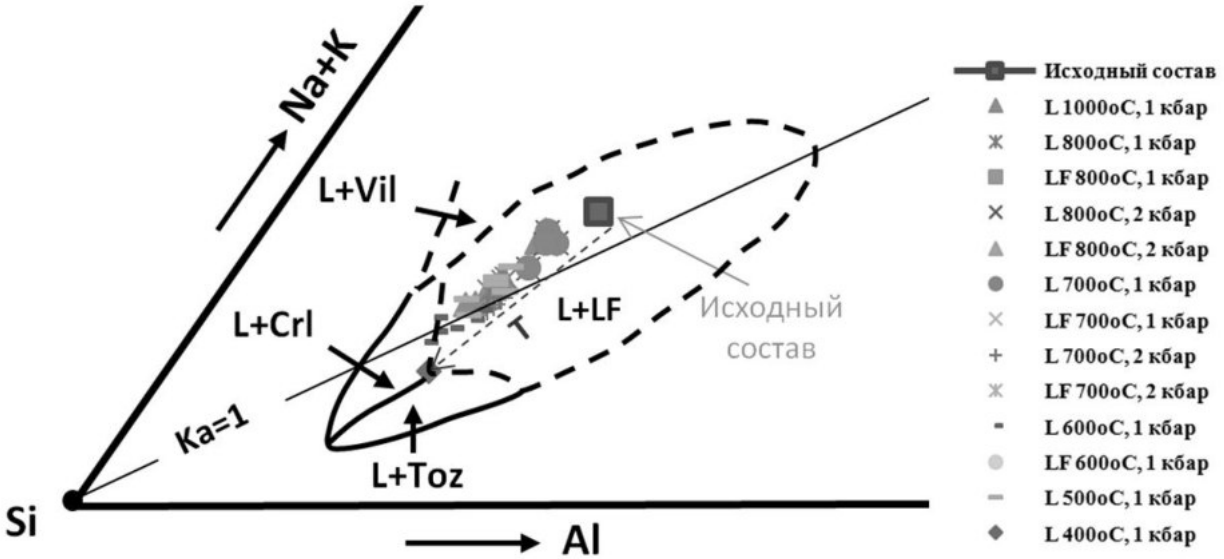

Рисунок 1. Составы алюмосиликатного расплава (L) равновесные с алюмофторидным расплавом (LF). Проекция призмы SiO_2-$AlO_{1,5}$-$NaO_{0,5}$-SiF_4-AlF_3-NaF на основание Si-Al-(Na+K) составов алюмосиликатных стекол (в ат. % элементов от суммы Si+Al+Na+K) при T = 800°C и P = 1 кбар (по данным работы Алферьева, 2012 с изменениями). Условные обозначения: Crl – криолит, Vil – виллиомит, Toz – топаз.

Выводы. При понижении температуры в модельной гранитной системе первым минералом на ликвидусе при 700°C оказывается криолит, при 600°C образуются кварц, полилитионит, ортоклаз, криолит, при 500°C парагенезис остается прежним, но в системе происходит одновременная кристаллизация кварца и криолита, находящегося внутри кристаллов кварца, подобно тому, как это наблюдалось в природе на месторождении Питинга, плутон Мадейра в Бразилии [2]. Эти факты свидетельствуют о магматической природе криолита в подобных массивах. Составы алюмосиликатного расплава по мере кристаллизации становятся более кислыми относительного исходного состава системы. Данный порядок кристаллизации минералов может служить моделью образования криолитсодержащих редкометальных гранитов на поздних стадиях дифференциации магматического расплава.

Финансирование: Работа выполнена при поддержке государственного задания ГЕОХИ РАН.

Список литературы:

1. Щекина Т.И., Русак А.А., Алферьева Я.О., Граменицкий Е.Н., Котельников А.Р., Зиновьева Н.Г., Бычков А.Ю., Бычкова Я.В., Хвостиков В.А. Распределение REE, Y, Sc и Li между алюмосиликатным и алюмофторидным расплавами в модельной гранитной системе в зависимости от давления и содержания воды. Геохимия. 2020. Т. 65. №4. С. 343-361.
2. Lenharo S.L.R., Pollard P.J., Born H. Petrology and textural evolution of granites associated with tin and rare metal mineralization at the Pitinga mine, Amazonas, Brazil. Lithos. 2003. V. 66. P. 37–61.
3. Manning D.A.C. The effect of fluorine on liquidus phase relationship in the system Qz-Ab-Or with excess water at 1 kb. Contrib. Mineral. Petrol. 1981. V. 76. P. 206-215.

ТВЕРДЫЕ РАСТВОРЫ В СИСТЕМЕ $EuSc_3(BO_3)_4$-$GdSc_3(BO_3)_4$: ФАЗОВАЯ ДИАГРАММА, СИНТЕЗ, РОСТ КРИСТАЛЛОВ, СТРУКТУРА И ЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ

Хан Э.В.[1,2], Кох А.Е.[1], Кузнецов А.Б.[1], Кох К.А.[2], Рядун А.А.[3], Светличный В.А.[4], Лапин И. Н.[4], Симонова Е.А.[1]

[1]Институт геологии и минералогии им В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия
[2]Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия
[3] Институт неорганической химии им. А. В. Николаева, Новосибирск, Россия
[4]Томский государственный университет, Томск, Россия
*e-mail: e.khan@g.nsu.ru

Аннотация. Исследованы твердые растворы на основе $(Eu,Gd)Sc_3(BO_3)_4$ (C2/c) и $Gd_{0,25}Sc_{0,75}BO_3$ ($R\bar{3}$) в системе $EuSc_3(BO_3)_4$-$GdSc_3(BO_3)_4$. Наибольшая ширина области гомогенности, до 30 мол.% $EuSc_3(BO_3)_4$, достигается при температуре синтеза 1300 °C. Показана возможность получения фаз на основе $EuSc_3(BO_3)_4$ путем кристаллизации из растворителя, соответствующего эвтектики $LiBO_2$- LiF. Все полученные образцы имеют характерную для Eu^{3+} люминесценцию с наибольшим пиком при 615 нм, соответствующим переходу $^5D_0 \rightarrow {}^7F_2$. В этом ряду интенсивность люминесценции монотонно возрастает с увеличением содержания Eu. Наибольший квантовый выход люминесценции (53%) имеет образец $EuSc_3(BO_3)_4$.

Ключевые слова: люминесценция, квантовый выход, борат редкоземельных элементов, структура

SOLID SOLUTIONS IN $EuSc_3(BO_3)_4$-$GdSc_3(BO_3)_4$ SYSTEM: PHASE DIAGRAM, SYNTHESIS, CRYSTAL GROWTH, STRUCTURE AND LUMINESCENCE

Khan E.V.[1,2], Kokh A.E.[1], Kuznetsov A.B.[1], Kokh K.A.[2], Ryadun A.A.[3], Svetlichnyi V.A.[4], Lapin I.N.[4], Simonova E.A.[1]

[1]V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, Novosibirsk, Russia
[2]Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia
[3]Nikolaev Institute of Inorganic Chemistry SB RAS, Novosibirsk, Russia
[4]Tomsk State University, Tomsk, Russia
*e-mail: e.khan@g.nsu.ru

Abstract. Solid solutions based on $(Eu,Gd)Sc_3(BO3)_4$ (C2/c) and $Gd0.25Sc_{0.75}BO_3$ ($R\bar{3}$) in the $EuSc_3(BO_3)_4$-$GdSc_3(BO_3)_4$ system were studied. The greatest width of the homogeneity region, up to 30 mol.% $EuSc_3(BO_3)_4$, is achieved at a synthesis temperature of 1300 °C. The possibility of obtaining phases based on $EuSc_3(BO_3)_4$ by crystallization from a solvent corresponding to the eutectic $LiBO_2$-LiF has been demonstrated. All the obtained samples have luminescence characteristic of Eu^{3+} with a largest peak at 615 nm corresponding to the $^5D_0 \rightarrow {}^7F_2$ transition. In this series the luminescence intensity monotonically increases with an increase of Eu content. The largest quantum yield of luminescence (53%) has the $EuSc_3(BO_3)_4$ sample.

Keywords: Luminescence, quantum yield, rare earth borate, structure

Введение. Простые редкоземельные бораты представлены большой группой ортоборатов RBO_3 (R=La-Lu, Y, Sc) и являются структурными аналогами карбонатов двухвалентных металлов. По размеру иона их можно разделить на 3 группы: La (1.160)-Nd (1.109), Sm (1.079)-Er (1.040)+ Y (1.079), Tm (0.994)-Lu (0.977), которые могут иметь порядка 5 структурных модификаций. Отдельно стоит отметить бораты $ScBO_3$ и $InBO_3$, для которых характерно отсутствие фазовых переходов. В ряде работ показана возможность использования ортобората скандия в качестве сцинтиляторов, матриц для люминофоров

или активной лазерной среды для лазеров с диодной накачкой [1-3]. Однако, невысокие допустимые концентрации РЗЭ, вследствие концентрационного тушения, ограничивают их применение. В результате изоморфного замещения скандия на РЗЭ были открыты двойные скандобораты с общими формулами $RSc_3(BO_3)_4$ и $RScB_2O_6$.

Согласно литературным данным, формирование соединений $RSc_3(BO_3)_4$ характерно для легких РЗЭ (La-Gd). Особенностью этих соединений является большое количество полиморфных модификаций, количество и симметрия которых зависят от размера R^{3+} катиона, например, наличие двух модификаций (R32 и C2/c) для $EuSc_3(BO_3)_4$. В ряде работ [4,5] показана возможность стабилизации $RSc_3(BO_3)_4$ в структуре R32 путем частичного замещения R^{3+} на другие РЗЭ.

В данной работе исследован разрез $EuSc_3(BO_3)_4$-$GdSc_3(BO_3)_4$. Методом твердофазного синтеза, а также кристаллизацией из растворителя $0.59LiBO_2$ - 0.41LiF получены образцы промежуточных составов. Твердые растворы на основе $(Eu,Gd)Sc_3(BO_3)_4$ и $(Gd,Sc)BO_3$ кристаллизуются с пространственными группами C2/c и $R\bar{3}$ соответственно. Мы проверили идею по стабилизации структуры хантита (R32) путем частичной замены атома в положении тригональной призмы на более крупный редкоземельный элемент в $(Eu,Gd)_{1+y}Sc_{3-y}(BO_3)_4$. Вероятно, потому, что $Gd_{0,25}Sc_{0,75}BO_3$ ($GdSc_3(BO_3)_4$) фактически не принадлежит симметрии R32, соединения со структурой R32 получить не удалось. Измерены зависимости интенсивности люминесценции от концентрации европия в кристалле. В [6] было показано, что интенсивность люминесценции соединения $EuSc_3(BO_3)_4$ на два порядка выше чем $EuScB_2O_6$. В исследуемых твердых растворах для определения оптимального по интенсивности состава, было достигнуто дальнейшее уменьшение концентрации Eu. Среди исследованных соединений максимальная эффективность люминесценции соответствует концентрации Eu^{3+} в $EuSc_3(BO_3)_4$ и последующее разбавление Gd не дает увеличения свечения. Несмотря на умеренный квантовый выход 53%, материал чрезвычайно стабилен в растворах кислот и щелочей. Он также имеет высокую температуру плавления и отсутствие фазовых переходов.

Финансирование. Работа выполнена при поддержке РНФ № 23-19-00617.

Список литературы:

1. Balcerzyk M., Gontarz Z., Moszynski M., Kapusta M. Future hosts for fast and high light output cerium-doped scintillator. Journal of Luminescence. 2000. V. 87-89. P. 963–966.
2. Blasse G., Dirksen G.J. Scandium Borate ($ScBO_3$) as a Host Lattice for Luminescent Lanthanide and Transition-Metal Ions. Inorganica Chimica Acta. 1988. V. 145. №2. P. 303–308.
3. Dorenbos P. Exchange and crystal field effects on the $4f^{n-1}5d$ levels of Tb^{3+}, Journal of Physics: Condensed Matter. 2003. V. 15. №.36. P.6249–6268.
4. Gheorghe L., Khaled F., Achim A., Voicu F., Loiseau P., Aka G. Czochralski Growth and Characterization of Incongruent Melting $La_xGd_ySc_z(BO_3)_4$ (x + y + z = 4) Nonlinear Optical Crystal, Crystal Growth and Design. 2016. V. 16. № 6. P. 3473–3479.
5. Kuznetsov A., Kokh A., Kononova N., Shevchenko V., Uralbekov B., Ezhov D., Svetlichnyi V., Goreiavcheva A., Kokh K. New scandium borates $R_xLa_ySc_z(BO_3)_4$ (x+y+z=4, R=Sm, Tb): synthesis, growth, structure and optical properties, Materials Research Bulletin. 2020. V.126. 110850.
6. Kuznetsov A.B., Kokh K.A., Kaneva E.V., Svetlichnyi V.A., Kononova N.G., Shevchenko V.S., Rashchenko S.V., Kokh A.E. Study of an $EuBO_3$-$ScBO_3$ system and $EuSc_3(BO_3)_4$, $EuSc(BO_3)_2$ orthoborates, Dalton Transactions. 2021. V. 50. №39. P. 13894-13901.

Секция Металлогения, минерагения и рудогенез

МИНЕРАЛОГИЯ ЭПИТЕРМАЛЬНОГО ОРУДЕНЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЯ КЫЗЫК-ЧАДР (РЕСПУБЛИКА ТЫВА)

Бунина В.Н.[1,2], Шавекина А.Ш.[1], Греку Е.Д.[1]*

[1]Институт геологии и минералогии им В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия
[2]Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия
*e-mail: v.bunina@g.nsu.ru, buninavn@igm.nsc.ru

Аннотация. С помощью прецизионных методов для первичных и окисленных руд эпитермального оруденения месторождения Кызык-Чадр (жила №1, Республика Тыва) изучены минеральный состав, текстурно-структурные особенности руд и взаимоотношений рудных минералов. Для минералов меди и железа определена стадийность минеральных превращений: халькопирит → борнит → халькозин → анилит → геерит → ярровит → ковеллин → брошантит → делафоссит/смесь фаз (CuO+FeO) → окси/гидроксиды железа → малахит → хризоколла.

Ключевые слова: минеральные парагенезисы, эволюция вещества, эпитермальное оруденение, Кызык-Чадр, Восточная Тува

MINEROLOGY OF EPITHERMAL MINERALIZATION OF THE KYZYK-CHADR DEPOSIT (REPUBLIC OF TYVA)

Bunina V.N.[1,2], Shavekina A.Sh.[1], Greku E.D.[1]

[1]V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy Siberian Branch Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia, buninavn@igm.nsc.ru
[2]Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia, v.bunina@g.nsu.ru

Abstract. Using precision methods for primary and oxidized ores of epithermal mineralization of the Kyzyk-Chadr deposit (vein №1, Republic of Tyva), the mineral composition, textural and structural features of ores and the relationships of ore minerals were studied. The stages of mineral transformations have been determined for copper and iron minerals: chalcopyrite → bornite → chalcocite → anilite → geerite → yarrowite → covellite → brochantite → delafossite/mixture of phases (CuO+FeO) → iron oxy/hydroxides → malachite → chrysocolla.

Key words: mineral parageneses, evolition of matter, epithermal mineralization, Kyzyk-Chadr, eastern Tyva

Цель работы – изучение минеральных парагенезисов в системе «коренной источник – зона окисления» на примере эпитермального оруденения золото-кварц-сульфидного месторождения Кызык-Чадр (жила №1).

Объект исследования расположен в юго-восточной части Республики Тыва, в Пий-Хемском районе, в бассейне верхнего течения рек Кызык-Чадр и Мезель, в 18 км по проселочной дороге от с. Сушь и в 50 км от г. Кызыл. Месторождение находится в южной части Ожинского выступа, сложенного породами Таннуольского диорит-гранодиорит-плагиогранитного ($Є_2$) комплекса, в провисе кровли которого расположен Кызыкчадрского габбро-диорит-гранитного интрузивных комплекс ($Є_{2–3}$), и приурочено к его заключительной порфировой фазе [3]. В пределах месторождения выделяют два участка, отвечающие единой порфирово-эпитермальной системе, расположенных в 2 км друг от друга [1, 3]: 1) Центральный-I, соответствующий золото-кварц-сульфидному типу

оруденения (эпитермальная система); 2) Центральный-II, соответствующий медно-порфировой системе.

На эпитермальном участке известно 7 кварцевых жил, две из которых (жилы № 1 и 3) разведывались [2]. Жила №1 залегает на южном контакте гранитов с вмещающими сланцами туматтайгинской свиты (V-Є$_1$), и сложена молочно-белым брекчированным кварцем. Простирание ее субширотное, падение северное под углом 45-50°. С поверхности жила прослежена на 170 м, на глубину на 95 м. Средняя ее мощность 0,9 м, при разбросе от 0,1 до 4,5 м. [1, 3]. Зона окисления развита неравномерно, до глубины 5 м, далее смешанная зона (до 50 м) и первичное оруденение. Содержание Au в жиле колеблется от следов до 150 г/т (в среднем, 8,2 г/т); Ag – 78 г/т (в среднем, 28 г/т) [1].

Методика исследования. Каменные образцы, характеризующие первичные (кварцевые жилы и кварцевые брекчии с сульфидным цементом) и окисленные руды, отобраны из коренных выходов и горных выработок жилы №1. Аналитические работы выполнены в ЦКП Многоэлементных и изотопных исследований СО РАН (г. Новосибирск). Аншлифы изучены на поляризационном микроскопе Olympus BX53P с целью определения минерального состава, текстурно-структурных особенностей руд и взаимоотношений рудных минералов. Химический состав минералов и их взаимоотношения определены на сканирующем электронном микроскопе (СЭМ) TESCAN MIRA 3LMU (Tescan, Чехия).

Результаты. Кварцево-жильные руды с прожилково-вкрапленной сульфидной минерализацией сложены молочно-белым кварцем, размером до 0,5–12 мм, сцементированными медными сульфидами, среди которых преобладает борнит (Cu_4FeS_5) (до 60–70%) с включениями и гнездами халькопирита ($CuFeS_2$) (до 5%) и единичными зернами шеелита ($CaWO_4$). Текстуры руд – прожилковые, структуры – аллотриоморфно-, гипидиоморфно-зернистые, пластинчатые. Отмечается пластинчатый и таблитчатый гематит, пространство между пластинами которого выполнено халькопиритом, вторичными мелкозернистыми гидроксидами Fe и Cu. Границы между борнитом и халькопиритом имеют часто ростовой характер, однако, также отмечаются ламели и вкрапленность халькопирита в борните, что, возможно, говорит о двух стадиях образования халькопирита. Вторичные минералы меди интенсивно развиты в виде каемок и прожилок по борниту и халькопириту, и представлены халькозином (Cu_2S), ковеллином (CuS), гееритом (Cu_8S_5), анилитом (Cu_7S_4), ярровитом (Cu_9S_8), малахитом ($Cu_2(CO_3)(OH)_2$), азуритом ($Cu_3(CO_3)_2(OH)_2$) и купритом (Cu_2O) (рисунок 1, а-в).

Брекчированные руды сложены борнитом, халькопиритом, выступающими в качестве цемента, и халькозином, ковеллином, развитыми по борниту и халькопириту, а также с малахитом и гидроксидами железа (гётитом). Текстура руд брекчиевая, структуры аллотриоморфно-зернистые, реликтовые. Халькопирит часто образует ксеноморфную вкрапленность, прожилки и гнездовые срастания зерен размерами 0,03–7 мм, а также структуры распада в борните (рисунок 1, г-е). По борниту и халькопириту развиваются каймы и прожилки вторичных минералов: халькозина, геерита, анилита, ярровита, ковеллина, лимонита. Молибденит встречается редко, в виде мелкой вкрапленности.

В окисленных рудах вторичные сульфидные минералы (халькозин, ярровит, анилит, геерит, ковеллин, куприт, брошантит ($Cu_4(SO_4)(OH)_6$) и делафоссит ($CuFeO_2$)) замещают первичный борнит с образованием тонких прожилков и каемок (рисунок 1, ж-и). Текстуры руд – прожилковые, натечные, структуры – аллотриоморфно-зернистые, гипидиоморфно-зернистые, скрытозернистые. Малахит, хризоколла ($(Cu,Al)_2H_2Si_2O_5(OH)_4{*}nH_2O$), азурит образуют примазки, игольчатые, спутанно-волокнистые, скрытозернистые агрегаты в массе

кварца. Локально развиты дендриты и прожилки самородной меди. Широко распространены гидроксиды железа по пириту и халькопириту.

Заключение. Таким образом, установлена последовательная смена минеральных парагенезисов сульфидных минералов в системе «коренной источник – зона окисления»: халькопирит ($CuFeS_2$) → борнит (Cu_5FeS_4) → халькозин (Cu_2S) → анилит (Cu_7S_4) → геерит (Cu_8S_5) → ярровит (Cu_9S_8) → ковеллин (CuS) → брошантит ($Cu_4(SO_4)(OH)_6$) → делафоссит ($CuFeO_2$) / смесь фаз ($CuO+FeO$) → окси/гидроксиды железа (FeO, $FeOOH$) → малахит ($Cu_2(CO_3)(OH)_2$) → хризоколла ($(Cu, Al)_2H_2Si_2O_5(OH)*nH_2O$).

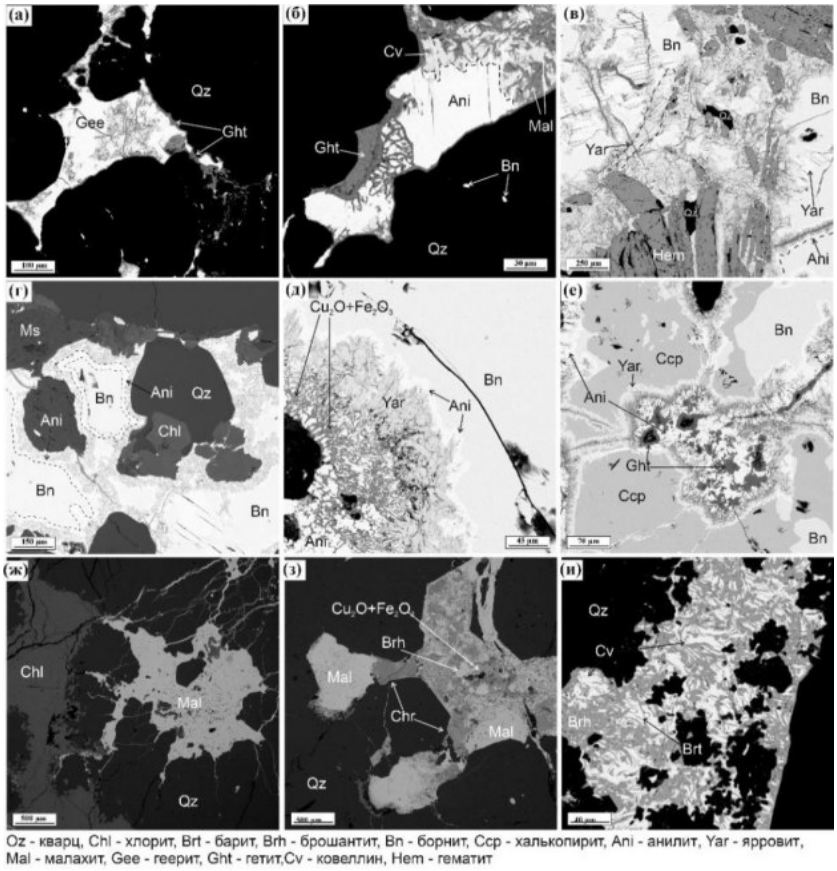

Рисунок 1. Минеральные парагенезисы, характерные для кварцевых жил (а-в), кварцевых брекчий с сульфидным цементом (г-е) и окисленных руд (ж-и). Снято в режиме BSE.

Финансирование: Работа выполнена по государственному заданию ИГМ СО РАН (проект №122041400237-8).

Список литературы:

1. Бабкин И.А. Поисковые работы на медно-молибден-порфировые руды с золотом в пределах Кызыкчадрского молибден-меднорудного узла (Республика Тыва / Бабкин И.А., Семенов М.И., Карнаухова О.М. и др. Отчет по Госконтракту с Департаментом по недропольз. по СФО. Москва. 2019. 351 с.
2. Калинин Ю.А., Кужугет Р.В., Хусаинова А.Ш., Бутанаев Ю.В. (2023) Эволюция золота в зоне окисления золото-сульфидно-кварцевого месторождения Кызык-Чадр (Республика Тыва, Россия). Матер. Всеросс. конф. «Минералообразующие системы месторождений высокотехнологичных металлов: достижения и перспективы исследований». Москва. ИГЕМ РАН. с. 508–511.
3. Семенов М.И. ГДП-200 листа N-46-XVVV (Уюкская площадь). Отчет о результатах работ за 2011-2013 (Семенов М.И., Колямкин В.М и др. Отчет по Госконтракту с Управление по недропользованию по Республике Тыва. Кызыл. 2011. 299 с.

ЗОЛОТОРУДНОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ АКЖАЛ (ВОСТОЧНЫЙ КАЗАХСТАН): НОВЫЕ МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ И ИЗОТОПНО-ГЕОХРОНОЛОГИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ

*Греку Е.Д.**

Институт геологии и минералогии им В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия
*e-mail: grekued@igm.nsc.ru

Аннотация. На месторождении Акжал выделяют два типа руд: вкрапленные сульфидные и жильные сульфидно-кварцевые. Эндогенное рудообразование протекает в четыре этапа: дорудный, ранний рудный, средний рудный и поздний рудный. Возраст формирования гранодиорит-тоналитового массива составляет 303-298 млн лет, а возраст внедрения даек кислого состава колеблется от 298 до 291 млн лет. Месторождение формируются в четыре стадии: осадконакопление, ранний диагенез, поздний диагенез-метаморфизм и гидротермальная активность, связанная с магматизмом.

Ключевые слова: Восточный Казахстан, Акжал-Боко-Ашалинский рудный район, золото, U-Pb датирование

AKZHAL GOLD DEPOSIT (EAST KAZAKHSTAN): NEW MINERALOGICAL AND ISOTOPE-GEOCHRONOLOGICAL DATA

Greku E.D.

V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, Novosibirsk, Russia,
grekued@igm.nsc.ru

Abstract. Two types of ores are distinguished at the Akzhal deposit: interspersed sulfide and vein sulfide-quartz. Endogenous ore formation proceeds in four stages: pre-ore, early ore, middle ore and late ore. The age of formation of the granodiorite-tonalite massif is 303-298 million years, and the age of introduction of dikes of acid composition varies from 298 to 291 million years. Deposits are formed in four stages: sedimentation, early diagenesis, late diagenesis-metamorphism and hydrothermal activity associated with magmatism.

Keywords: East Kazakhstan, Akzhal-Boko-Ashali ore region, gold, U-Pb dating

В пределах Восточного Казахстана отмечаются золоторудные месторождения орогенного и «Inrushion Related Gold» («IRG») типов. Однако, однозначное классифицирование этих типов месторождений достаточно затруднительно из-за ряда сходных характеристик. Важное значение при этом могут иметь изотопно-геохронологические данные, позволяющие оценить возраст формирования продуктивной золоторудной минерализации в сопоставлении его с возрастом становления магматических комплексов района.

Данная работа опирается на полевые наблюдения и каменный материал, отобранный автором в 2022 г., а также на коллекцию образцов, любезно предоставленную Калининым Ю.А. Образцы отбирались из керна скважин, канав, карьеров и коренных обнажений месторождения Акжал. Проведено детальное изучение минерального состава, зональности и взаимоотношений рудных минералов при помощи оптического микроскопа Olympus BX53P, сканирующего электронного микроскопа MIRA 3LMU (Tescan, Чехия) и рентгеноспектрального микроанализатора JEOL 01430VP.

Целью данной работы является реконструкция последовательности формирования рудных парагенезисов месторождения Акжал на основе детального изучения минералогии руд и возраста околорудных метасоматитов и магматических пород.

Месторождение Акжал расположено в северо-западной части Акжал-Боко-Ашалинского рудного района, приуроченного к юго-западной части Западно-Калбинского золоторудного пояса. Добыча золота из кварцевых жил велась подземным способом с 1909 по 1958 гг., а золото из минерализованных зон добывается открытым способом с 1996 г. по настоящее время. В пределах Акжальского рудного поля с 2005 г. активно проводятся поисково-разведочные, оценочные и эксплуатационные работы, поэтому изучение рудной минералогии и генезиса месторождения имеет не только теоретическое, но и практическое значение. Геолого-структурная позиция месторождения Акжал, залегающего в вулканогенно-осадочных толщах аркалыкской свиты нижнего карбона, определяется узловым расположением зон дислокаций северо-западного, субширотного и северо-восточного простирания, присутствием диорит-гранодиоритового интрузивного массива и многочисленных дайковых тел кислого, реже среднего состава. В региональном структурном плане месторождение приурочено к северо-западному Боко-Акжальскому глубинному разлому. В зонах тектонических нарушений вмещающие породы интенсивно метаморфизованы, в экзоконтактовых зонах интрузии претерпели локальные контактовые изменения.

Минерализация на месторождении представлена двумя морфоструктурными типами руд: вкрапленной сульфидной в углеродисто-кремнистых породах и жильной сульфидно-кварцевой во всех типах вмещающих пород. Детальное изучение состава руд и минерализованных пород позволило выявить следующий набор минералов: главные – пирит, арсенопирит, галенит, сфалерит, халькопирит; второстепенные и редкие – золото, сульфосоли (тетраэдрит, швацит, фрейбергит). Предыдущими исследователями отмечалась также киноварь. В минерализованных породах часто присутствуют пирротин, герсдорфит, магнетит, ильменит, рутил. Основные нерудные минералы представлены кварцем нескольких генераций, доломитом, кальцитом, хлоритом, плагиоклазом, КПШ, серицит-мусковитом, амфиболом, реже сидеритом. Редко встречаются апатит, циркон, монацит, сфен, турмалин. Эндогенное рудообразование протекало в четыре стадии: дорудную, раннюю рудную, среднюю рудную и позднюю рудную. В дорудную стадию образуется фрамбоидальный пирит-I, часто приуроченный к скоплениям и прослоям углистого вещества в породах аркалыкской свиты. В раннюю рудную стадию образуется игольчатый арсенопирит, пирит-II и золото, также преимущественно приуроченные к углеродсодержащим породам. В среднюю рудную стадию образуются пирит, халькопирит, сфалерит и галенит в кварцевых жилах. В позднюю полисульфидную стадию отлагаются золото, халькопирит и блеклые руды, приуроченные к кварц-карбонатным прожилкам, которые нередко слагают центральные части кварцевых жил. Относительно Акжальского гранодиорит-тоналитового массива отмечается горизонтальная метасоматическая зональность. По мере удаления от массива отмечаются следующие ассоциации: кварц-арсенопиритовая; карбонат-кварц-полиметаллическая (сфалерит-халькопиритовая); кварц-карбонат-галенитовая; карбонатная с пиритом [1].

U/Pb-датирование цирконов проводилось методом LA-ICP-MS в ЦКП Многоэлементных и изотопных исследований СО РАН (г. Новосибирск). По результатам датирования цирконов (в 7 пробах) из магматических пород месторождения Акжал возраст становления гранодиорит-тоналитового массива составляет 303-298 млн лет, а возраст

внедрения даек кислого состава (дациты, риодациты, риолиты) варьирует в пределах от 298 до 291 млн лет [3].

Предлагается следующая последовательность образования месторождения: 1. – В мелководных окислительно-восстановительных условиях происходило осадконакопление пород аркалыкской свиты ($C_1v_{2-3}ar$), сопровождавшееся некоторым сингенетичным накоплением рудных компонентов – Au, As, Ag, Pb, Cu. Их привнос мог осуществляться в водный бассейн через водотоки путем адсорбции на глинистых частицах и органическом детрите, а также в виде мелкодисперсных микроскопических зерен или в виде коллоидных форм. 2. – Диагенетическое преобразование пород сопровождалось преобразованием органического вещества, из которого высвобождается золото и мышьяк, а также происходит рост фрамбоидального пирита-I с возможным вхождением в его структуру вышеописанных элементов. 3. – На поздней стадии диагенеза и ранней стадии метаморфизма происходит частичное замещение фрамбоидального пирита-I на эвгедральные кристаллы пирит-II. Золото при этом высвобождается, образуя мелкие включения в позднем пирите. 4. – В интервале 303-298 млн лет происходит внедрение гранодиорит-тоналитового массива, сопровождающееся гидротермальным преобразованием вмещающих пород с образованием метасоматической зональности относительно интрузива. В период 298-291 млн лет внедряются дайки кислого состава, в которых отмечается мелкая сульфидная (пирит-арсенопиритовая) вкрапленность. По данным А.Н. Сердюкова [2], в них зафиксированы продуктивные (до 17 г/т) золоторудные пересечения, прослеженные до глубины 432,5 м. На этом постмагматическом этапе формируются основные золотоносные кварцевые жилы, в том числе секущие массив, и минерализованные сульфидно-вкрапленные зоны, образующие своеобразный объемный штокверк. $^{40}Ar/^{39}Ar$ датирование 11 проб серицита из этих зон и кварцевых жил показывает достаточно широкий интервал времени их образования - от 303 до 281 млн лет, что перекрывает интервал магматической активности. Это может свидетельствовать о том, что процессы рудообразования импульсно продолжались в рудном поле на протяжении, как минимум, 20 млн. лет, что, тем не менее, подтверждает связь гидротермальной деятельности в районе со становлением и эволюцией кислых магматических пород кунушского комплекса. Таким образом, месторождение Акжал имеет длительную историю формирования и может рассматриваться в качестве примера совмещения двух формационных типов золотого оруденения – орогенного и связанного с интрузией (IRG).

Финансирование: Работа выполнена по государственному заданию ИГМ СО РАН № 122041400237-8.

Список литературы:

1. Металлогения Казахстана. Рудные формации. Месторождения руд золота. Алма-Ата. Наука. 1980. С. 70–73.
2. Сердюков А.Н. О перспективах золоторудного месторождения Акжал (Восточный Казахстан). Геология и охрана недр. 2015. Т. 54. № 2. С. 29-35.
3. Kalinin Yu.A., Kovalev K.R., Serdyukov A.N., Gladkov A.S., Sukhorukov V.P., Naumov E.A., Travin A.V., Semenova D.V., Serebryakov E.V., Greku E.D. Age constraints and metallogenic prediction of gold deposits in the Akzhal-Boko-Ashalin ore zone (Altai accretion-collision system). Geodynamics & Tectonophysics. 2021. V. 12 № 2. P. 392–408.

ВОЗРАСТНЫЕ ЭТАПЫ СУЛЬФИДНОГО РУДООБРАЗОВАНИЯ В ПРЕДЕЛАХ ТОУПУГОЛ-ХАНМЕЙШОРСКОГО РАЙОНА ПОЛЯРНОГО УРАЛА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ (U,Th)-He ДАТИРОВАНИЯ ПИРИТА

Иванова Е.С.[1], Якубович О.В.[1,2], Соболев И.Д.[3], Аносова М.О.[4]*

[1]Институт геологии и геохронологии докембрия РАН, Санкт-Петербург, Россия
[2]Санкт-Петербургский государственный университет, институт наук о Земле, Санкт-Петербург, Россия
[3]Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, Москва, Россия
[4]Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН, Москва, Россия
*email: ekate.s.ivanova@gmail.com

Аннотация. Территории основных рудоносных для Урала среднепалеозойских комплексов в его северной части труднодоступны и эродированы, что обуславливает большое количество неоцененных объектов. Возраст минерализации является важным геологическим критерием, поскольку позволяет связать ее образование с геодинамическими обстановками и провести разбраковку по возрасту потенциально рудных объектов. Одним из перспективных подходов к датированию рудообразующих процессов является изучение пирита (U,Th)-He методом. На основе новых геохронологических данных были получены сведения о возрасте пирита вулканогенно-осадочного, скарново-порфирового, березитового этапов для Тоупугол-Ханмейшорского золоторудного района. Полученные результаты в дополнение к основному этапу рудообразования (395–380 млн лет) позволили обосновать колчеданный этап 424±6 млн лет и выявить новый пострудный этап сульфидной минерализации пермского 293±4 млн лет возраста.

Ключевые слова: (U,Th)-He, пирит, Полярный Урал, золоторудные месторождения, палеозойская островная дуга

AGE STAGES OF SULPHIDE ORE FORMATION IN THE TOUPUGOL-KHANMEISHOR DISTRICT, POLAR URALS BASED ON (U,Th)-He DATING OF PYRITE

Ivanova E.S.[1], Yakubovich O.V.[1,2], Sobolev I.D.[3], Anosova M.O.[4]*

[1]Institute of Precambrian Geology and Geochronology RAS, St. Petersburg, Russia
[2]St. Petersburg State University, Institute of Earth Sciences, St. Petersburg, Russia
[3]Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry RAS, Moscow, Russia
[4]Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical chemistry RAS, Moscow, Russia

Abstract. The main ore-bearing Middle Palaeozoic complexes in the northern part of the Urals are difficult to access and eroded, resulting in a large number of unevaluated objects. The age of mineralization is an important geological criterion to relate formation to geodynamic conditions and to discriminate the age of potential ore objects. The (U,Th)-He method for pyrite is one of the most promising approaches to dating ore-forming processes. Based on new geochronological data, we have obtained information on the age of pyrite of volcanogenic-sedimentary, skarn-porphyritic and beresite stages for the Toupugol-Khanmeishor gold district. The results, obtained in addition to the main stage of ore formation (395-380 Ma), allowed us to confirm the 424±6 Ma sulphide stage and to identify a new post-ore stage of sulphide mineralization of Permian age of 293±4 Ma.

Keywords: (U,Th)-He, pyrite, Polar Urals, gold deposits, Paleozoic island arc

В отличие от освоенных районов Среднего и Южного Урала, труднодоступные северные территории Уральской складчатой системы остаются малоизученными, что обуславливает потенциал района. Для эффективного поиска новых месторождений в условиях слабой обнаженности Полярного Урала требуется проведение геодинамических и рудно-магматических реконструкций, основанных в том числе и на геохронологических данных. Недавние исследования показали перспективность использования пирита для (U,Th)-He датирования рудообразующих процессов [7, 8], однако систематических работ по применению этого нового геохронометра для датирования этапов сульфидной минерализации в пределах рудного района не выполнялось. *Цель работы* – определение возраста сульфидной минерализации (U,Th)-He методом по пириту на территории Тоупугол-Ханмейшорского золоторудного района в рамках исследований, посвященных реконструкции рудно-магматических систем палеозойской островной дуги. В данной работе предоставлено обобщение ранее полученных автором данных о возрасте пирита из разных объектов на территории этого района [2, 8], которые были дополнены новыми данными.

Район исследования расположен в северо-восточном окончании Войкарской зоны, сложенной палеозойскими палеоокеаническими и палеоостроводужными образованиями, которые по Главному Уральскому разлому надвинуты на образования Западно-Уральской мегазоны, а с юго-востока перекрыты мезозойско-кайнозойским осадочным чехлом Западно-Сибирской плиты [3]. В юго-восточной части зоны преобладают позднеордовикско-среднедевонские островодужные породы Малоуральского вулкано-плутонического пояса, среди которых расположен рудный район [6].

В составе Тоупугол-Ханмейшорского района выделяют два крупных золоторудных месторождения на Полярном Урале: золото-железо-скарновое Новогоднее-Монто (7 т Au) и золото-порфировое Петропавловское (26 т Au), а также рудопроявление Карьерное (5 т Au по P_2) [1]. Район сложен вулканогенными, вулканогенно-осадочными и осадочными среднепалеозойскими породами преимущественно базальт-андезибазальтового состава. Интрузивные образования представлены диоритоидами и плагиогранитоидами ранне-среднедевонского габбро-диорит-плагиогранитового собского комплекса, которые прорваны базитовыми интрузивами раннекаменоугольного мусюрского комплекса [4]. На месторождениях, вблизи интрузивных образований, проявлены процессы пропилитизации, скарнирования и березитизации.

Измерения содержаний радиогенного гелия выполнено на высокочувствительном масс-спектрометре МСУ-Г-01-М в ИГГД РАН (50 проб) [2]. Измерение содержаний урана и тория в этих зернах пирита выполнено методом изотопного разбавления на одноколлекторном масс-спектрометре с индуктивно-связанной плазмой (ELEMENT XR ICP MS) в ГЕОХИ РАН.

Результаты (U,Th)-He датирования пирита Тоупугол-Ханмейшорского рудного района показывают широкий диапазон возрастов от 268 до 426 млн лет (Рисунок 1). Существует несколько факторов, которые могли привести к разбросу значений возраста: 1) потеря или избыток ^{4}He; 2) потери и привнос U, Th; 3) многостадийное образование пирита/разновозрастный пирит. Анализ аналитических данных – отсутствие зависимости содержания урана и/или гелия от возраста – позволяет исключить вклад первых двух факторов, в то время как результаты минералогических исследований подтверждают наличие нескольких генераций пирита.

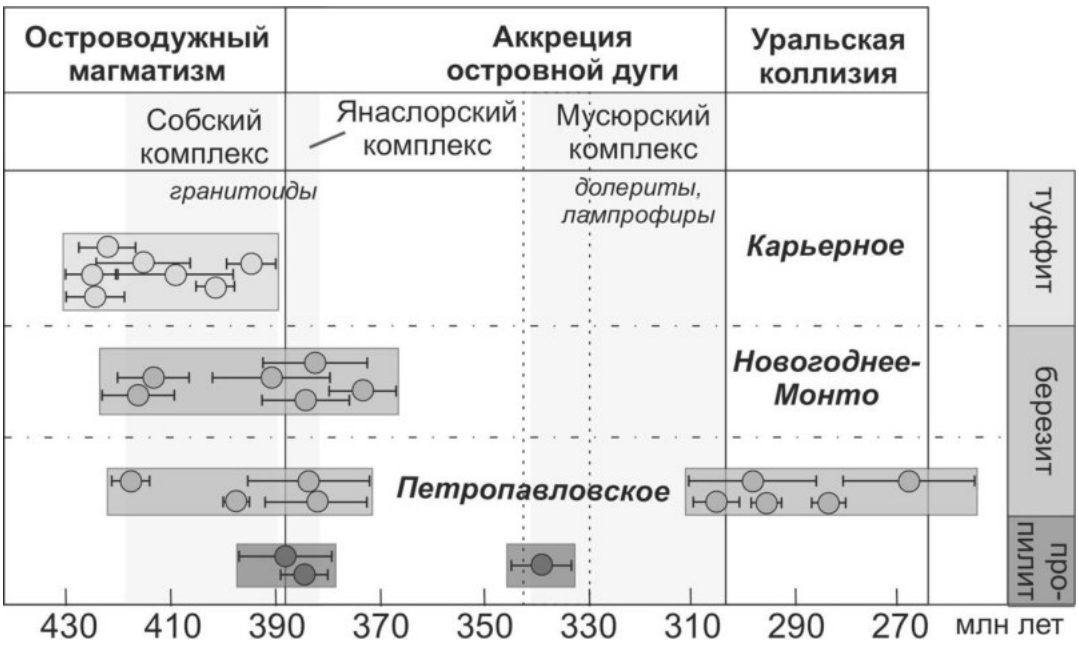

Рисунок 1. Схема распределения возрастов (U,Th)-He датирования пирита Тоупугол-Ханмейшорского рудного района

Рудопроявление Карьерное. Полученный возраст пирита из вулканогенных пород рудопроявления Карьерное (424±6 млн лет (СКВО=0.6; 2σ; n=4)) согласуется с биостратиграфическими данными (венлок-лудлов) о возрасте рудовмещающей тоупугольской толщи [2]. Более молодой возраст 402±6 млн лет (СКВО=1.6; 2σ; n=4) близок к раннедевонским возрастам цирконов из метасоматизированных диоритов главной фазы (410±2 млн лет [1]) и дайки плагиогранитов поздней фазы (403±4 млн лет [5]) собского комплекса, что может быть следствием образования и/или перекристаллизации пирита.

Месторождение Новогоднее-Монто. Возраст пирита из месторождения Новогоднее Монто ранее был нами определен как 382±4 млн лет (СКВО=4.6; 2σ; n=5) [8]. Однако, дальнейшие исследования выявили, что часть образцов имеют более древний возраст. Возможно, что образец содержит пирит двух генераций, первый (415±10 млн лет (СКВО=0.1; 2σ; n=2)) из которых соответствует скарновому этапу формирования месторождения, связанного с главной фазой внедрения собского комплекса (410±2 млн лет [1]). Возраст второй генерации пирита (380±8 млн лет (СКВО=0.8; 2σ; n=4)) совпадает с результатами $^{39}Ar/^{40}Ar$ датирования по серициту (382±4 млн лет) из березитов месторождения Петропавловское.

Месторождение Петропавловское. Изохронный возраст, полученный для пропилитов месторождения Петропавловское составляет 394±10 млн лет (СКВО=1; 2σ; n=3). Зоны пропилитовой минерализации приурочены к контактам даек плагиогранитов (403±4 млн лет [5]), подтверждая связь гидротермальных изменений с собским комплексом.

В пределах Петропавловского месторождения установлены вариации изотопного состава серы $\delta^{34}S$ от -12 до +0.5‰ [1]. Центральная часть месторождения характеризуется однородным изотопным составом серы с отклонениями ±0.5 от метеоритного стандарта, в северо-западной части встречается пирит с более низкими значениями $\delta^{34}S$. Полученные результаты датирования пирита из березитов разделились на два кластера возрастов: 293±4 млн лет (СКВО=5; 2σ; n=5) и 396±5 млн лет (СКВО=1.6; 2σ; n=3). Ранне-среднедевонский пирит наиболее близок к возрасту цирконов (403±4 млн лет) из плагиогранит-порфиров

собского комплекса [5] и характеризуется мантийными значениями изотопного состава серы. Раннепермский пирит преобладает в северо-западной части месторождения и сопровождается легким изотопным составом серы ($\delta^{34}S < -5‰$), совпадает с главным этапом Уральской коллизии [3 и ссылки в этой работе].

Заключение: по результатам датирования пирита выделяется минимум три возрастных этапа формирования сульфидной минерализации на территории Тоупугол-Ханмейшорского района. Самый ранний – венлокско-лудловский (424±6 млн лет) колчеданный этап образования пирита связан с преимущественно подводным островодужным вулканизмом, проявлен на южном фланге рудного поля (рудопроявление Карьерное). Основной – ранне-среднедевонский (394±10 млн лет) этап рудообразования, проявленный на месторождениях Новогднее-Монто и Петропавловское, вероятно, связан с формированием и остыванием островодужного Собского батолита. Более поздний раннепермский (293±4 млн лет) этап рудообразования проявлен в пирите из северной части месторождения Петропавловское и, вероятно, связан с коллизионными событиями на Урале – с аккрецией палеозойской островной дуги к Восточно-Европейскому палеоконтиненту и с континентальной коллизией соответственно [3, 4].

Финансирование. Работа выполнена при поддержке проекта РНФ №22-77-10088.

Список литературы:

1. Викентьев И.В., Мансуров Р.Х., Иванова Ю.Н. и др. Золото-порфировое Петропавловское месторождение (Полярный Урал): геологическая позиция, минералогия и условия образования. Геология рудных месторождений. 2017. Т. 59. № 6. С. 501–541.
2. Иванова Е.С., Соболев И.Д., Викентьев И.В., Аносова М.О., Подольская М.М., Тюкова Е.Э., Якубович О.В. U-Th-He датирование пирита из островодужных вулканогенных пород на примере рудопроявления Карьерное, Полярный Урал. Вестник СПбГУ. Науки о Земле. 2024. Т. 69 (1).
3. Кузнецов Н.Б., Романюк Т.В. Палеозойская эволюция Полярного Урала: Войкарский бассейн с корой океанического типа существовал не менее 65 млн лет. Бюлл. МОИП. Отдел Геологический. 2014. №5. С. 56−70.
4. Соболев И.Д., Викентьев И.В., Травин А.В., Бортников Н.С. Каменноугольный магматизм Полярного Урала. Доклады АН. Науки о Земле. 2020. Т. 494. №2. С. 22–28.
5. Соболев И.Д., Соболева А.А., Удоратина О.В., Варламов Д.А., Хоуриган Дж.К., Хубанов В.Б., Буянтуев М.Д., Соболева Д.А. Девонский островодужный магматизм Войкарской зоны Полярного Урала. Геотектоника. 2018б. № 5. С. 39–74.
6. Язева Р.Г., Бочкарев В.В. Войкарский вулкано-плутонический пояс (Полярный Урал). Свердловск: УНЦ АН СССР. 1984. 156 с.
7. Yakubovich O., Podolskaya M., Vikentyev I., Fokina E., Kotov A. (U,Th)-He Geochronology of Pyrite from the Uzelga VMS Deposit (South Urals) – New Perspectives for Direct Dating of the Ore-Forming Processes. Minerals. 2020. V. 10. № 629.
8. Yakubovich O., Vikentyev I., Ivanova E., Podolskaya M., Sobolev I., Tyukova E., Kotov A. (U,Th)-He Geochronology of Pyrite from Alteration of the Au-Fe-Skarn Novogodnee-Monto Deposit (Polar Urals, Russia) – The Next Step in the Development of a New Approach for Direct Dating of Ore-Forming Processes. Geosciences. 2021. V. 11. № 408.

ОСНОВНЫЕ ФАКТОРЫ, КОНТРОЛИРУЮЩИЕ ФОРМИРОВАНИЕ ЖЕЛЕЗИСТЫХ ООИДОВ ОСАДОЧНОГО БАССЕЙНА СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО КАВКАЗА (ЛАБИНО-МАЛКИНСКАЯ ЗОНА)

Калинина Н.А.[1], Рудмин М.А.[1], Шерстюков М.П.[2]*

[1]Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия
[2]Северо-Кавказский федеральный университет, Ставрополь, Россия
*e-mail: nak58@tpu.ru

Аннотация. В данном исследовании были изучены ооиды, обнаруженные в осадочных породах бассейна Северо-Западного Кавказа. В результате были выделены три основных типа ооидов: железистые, карбонатные и смешанного состава. Анализ минерального состава демонстрирует изменчивые условия осадконакопления. Обнаруженные микро-онкоиды позволяют рассматривать влияние микроорганизмов на формирование форменных элементов. Присутствие флюидных включений в баритовых и кальцитовых ооидах свидетельствует о возможном гидротермальном источнике металлов. Исследование минерального состава, внутреннего строения и морфологии ооидов позволило выявить основные факторы, влияющие на их рост.

Ключевые слова: ооиды, железняки, минералогия, источники вещества

MAIN FACTORS CONTROLLING THE FORMATION OF IRON-RICH OOIDS IN THE SEDIMENTARY BASIN OF THE NORTH-WESTERN CAUCASUS (LABINO-MALKIN ZONE)

Kalinina N.A.[1], Rudmin M.A.[1], Sherstyukov M.P.[2]*

[1] National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia
[2] North Caucasus Federal University, Stavropol, Russia
*e-mail: nak58@tpu.ru

Abstract. The ooids founded in the sedimentary rocks of the North- Western Caucasus basin are discussed in this paper. As a result, three main types of ooids (ferruginous, carbonate and mixed composition) were identified. The analysis of mineral composition demonstrates variable conditions of sedimentation. The detected micro-oncoids allow us to consider the influence of microorganisms on the formation of formal elements. The presence of fluid inclusions in barite and calcite ooids indicates a possible hydrothermal source of metals. The study of mineral composition, internal structure and morphology of ooids allowed us to identify the main factors influencing their growth.

Keywords: ooids, ironstones, mineralogy, sources of matter

Ооидовые железняки – специфические железосодержащие горные породы, характерные для определенных периодов фанерозоя [4]. Происхождение месторождений морских железняков остается дискуссионным. Сложности в установлении единой генетической модели связаны с определением источников вещества, процессов кристаллизации железистых минералов и механизмов формирования форменных элементов, таких как ооиды, пизоиды и микро-онкоиды. Ооиды являются основными аутигенными элементами различных железистых и карбонатных пород. Их формирование в большинстве случаев связывают с абиогенными процессами минералообразования [1,2], однако часть современных исследований учитывает возможное участие микробиальных процессов [3]. Целью данной работы является детальное исследование минералогии и химизма ооидов Хусы-Кардоникского и Ермоловского разреза Лабино-Малкинской зоны

(северо-западный Кавказ) для определения основных факторов, влияющих на формирование ооидов и других форменных элементов.

Для определения минералогии и химизма ооидов использовались методы оптической микроскопии, сканирующей электронной микроскопии с локальным рентгеноспектральным энергодисперсионным анализом, просвечивающей электронной микроскопии с локальной электронной дифракцией, Рамановской спектроскопии.

Обнажения железняков расположены в пределах Лабино-Малкинской зоны, на берегах рек Хусса-Кардоникская и Большой Зеленчук. Породы разреза включают песчаники, известняки, ооидовые железняки, фосфориты и алевролиты с общей мощностью отложений более 25 метров. Породы разреза сложены терригенными, аутигенными минералами и остатками морской фауны. Аутигенные минералы могут как входить в состав цемента пород, так и образовывать ооиды. Ооиды исследуемых пород характеризуются разнообразным минеральным составом, на основе которого выделены три основных типа: железистые, карбонатные и ооиды смешанного состава. Железистые ооиды представлены гетит-хлоритовыми, хлоритовыми и гематитовыми разностями. Гетит в ооидах встречается в виде зерна в ядре или образует совместно с хлоритом мелкокристаллическую центральную часть ооида. Хлориты в основном представлены тюрингитом, но часто образуют смешаннослойные ассоциации с другими глинистыми минералами (филлосиликатами). Гематитовые ооиды развиты только в одном слое и частично замещены гетитом.

Концентрические карбонатные ооиды распространены только в известняках и сложены преимущественно кальцитом, реже в их составе отмечается сидерит. В составе карбонатных ооидов также иногда встречаются марганцевые оксиды, которые замещают внешние концентры или заполняют трещинки в ооидах. Среди карбонатных сферических форм также встречены кальцитовые пизоиды. Они характеризуются вытянутыми эллиптическими формами. В качестве ядра у пизоидов часто встречаются биокласты.

Ооиды смешанного состава разделены на несколько групп: глинисто-карбонатные, глинисто-фосфатные и барит-содержащие ооиды. Глинисто-карбонатные являются наиболее распространенными в данной категории. Они характеризуются различными взаимоотношениями глинистых и карбонатных минералов: 1) глинистое ядро с карбонатным кортексом, 2) карбонатное ядро с глинистым кортексом, 3) чередование карбонатных и глинистых зон, 4) ооиды с хлорит-смектитовым ядром и радиальным карбонатным кортексом. Редко встречающимися минералами ооидов являются фторапатит и барит. Фторапатит входит в состав ооидов в виде ксеноморфных зерен или отдельных концентров. Барит входит в состав хлорит-гетитовых или гематитовых ооидов в виде отдельных концентров, что вероятнее всего является результатом замещения неустойчивых минеральных фаз баритом. Иногда встречаются ооиды практически нацело сложенные баритом. Важной особенностью таких ооидов является наличие в них флюидных включений, представленных углеводородами и сероводородом.

Интересным форменным элементом, распространённым только в слоях Ермоловского разреза, являются микро-онкоиды. Они сложены нитевидными гетитовыми кристаллами, слагающими лучистую внутреннюю структуру. Наличие микро-онкоидов в разрезе указывает на участие микроорганизмов в процессе их формирования.

Разнообразие аутигенных минералов и форменных элементов указывает на изменчивые условия осадконакопления и разнообразные источники вещества. Ооиды формировались на границе вода-осадок при участии как коллоидов и растворенных веществ седиментационного привноса, так и конвертирующих растворов глубинной природы. Последнее подтверждается наличием флюидных включений. Источниками карбонат- и фосфат-ионов выступал разлагающийся органический материал. А формированию различных разновидностей, хлорит-содержащих ооидов способствовало наличие порового пространства, вероятно, включая благоприятную слоистую микросистему глинистых агрегированных частиц.

Кислородные условия придонного слоя бассейна способствовали формированию (гидро-)оксидов железа. Слабый дефицит кислорода обеспечивал благоприятные условия для кристаллизации филлосиликатов и карбонатов. При этом постоянство физико-химических условий способствовало формированию мономинеральных ооидов, а переменчивые условия приводили к отложению смешанных видов [1]. Изменения уровня кислорода в бассейне, вероятно, связаны с эвстатическими колебаниями уровня моря или поступлением метеорных вод и глубинных конвективных растворов. Поступление Mn-содержащих растворов способствовало переработке карбонатных ооидов с последующим замещением кальцита оксидами марганца. А поступление металлоносных растворов, насыщенных барием способствовали выполнению порового/пустотного пространства хлоритовых ооидов с формирование баритовых концентров (Рисунок 1).

Постоянные перекатывания приводили к более сферическим, а переменчивые к более эллиптическим формам ооидов. Рост концентрического кортекса карбонатных ооидов указывает на высокоэнергетические условия прибрежно-морских зон, а радиального на умеренные или низкоэнергетические зоны с высокой или переменной соленостью.

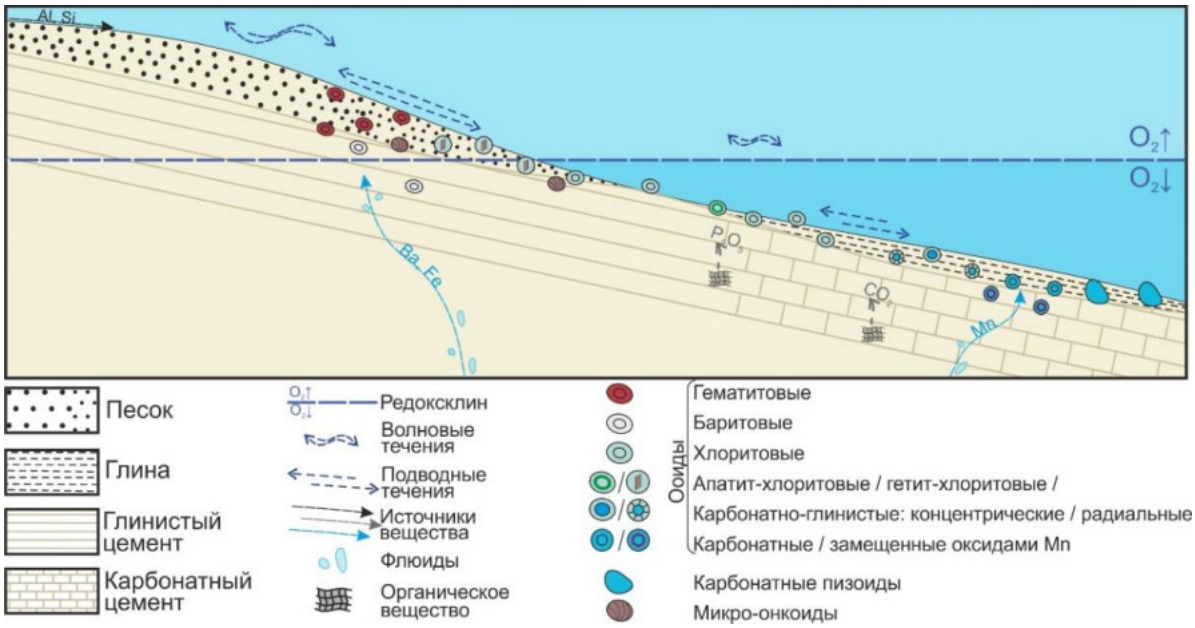

Рисунок 1. Модель формирования ооидов

Таким образом на основе анализа основных форменных элементов двух разрезов можно выделить следующие факторы, влияющие на их рост, минеральный состав и облик: 1) уровень оксигенации морского дна, 2) характер поступающего вещества, 3) волновые движения и подводные течения, 4) биопродуктивность (Рисунок 1).

Финансирование: Работа выполнена при поддержке проекта FSWW-2023-0010.

Список литературы:

1. Kimberley, M. M. Origin of Oolitic Iron Formations. SEPM Journal of Sedimentary Research. 1979. V. 49. P. 111–131.
2. Knox, R. W. Chamosite Ooliths from the Winter Gill Ironstone (Jurassic) of Yorkshire, England. SEPM Journal of Sedimentary Research. 1970. V. 40. P. 1216–1225.
3. Salama W., El Aref M., Gaupp R. Mineralogical and geochemical investigations of the Middle Eocene ironstones, El Bahariya Depression, Western Desert, Egypt. Gondwana Research. 2012. V. 22. P. 717–736. https://doi.org/10.1016/j.gr.2011.11.011
4. Young, T. P. Phanerozoic ironstones: an introduction and review. Geological Society, London, Special Publications. 1989. V. 46(1). P. IX–XXV.

УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ООИДОВЫХ МОРСКИХ ЖЕЛЕЗНЯКОВ АЯТСКОГО ЖЕЛЕЗОРУДНОГО БАССЕЙНА ТУРГАЙСКОГО ПРОГИБА (СЕВЕРНЫЙ КАЗАХСТАН)

Максимов П.Н [1]. Калинина Н.А. [1*], Рудмин М.А [1], Тажиев С.Р.[2]*

[1]Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия
[2] Лаборатория моделирования гидродинамических и геоэкологических процессов ТОО "Институт гидрогеологии и геоэкологии им. У. М. Ахмедсафина", Алматы, Казахстан.
*e-mail: pnm1@tpu.ru

Аннотация. В данной работе изучается физико-химические характеристики, влияющие на формирование ооидовых железняков Аятского железорудного бассейна Тургайского прогиба (Северный Казахстан). Различные аутигенные минералы, такие как сидерит, гетит, пирит, апатит, вюртцит, гипс, барит и сильвин указывают на колебания физико-химических режимов минералообразования при диагенезе морских отложений. Кристаллизация *in situ* пирита и вюртцита контролировалась слабой доступностью или дефицитом кислорода на границе раздела воды и осадка с бактериальным продуцированием сульфид-ионов. Также на это указывает геохимическая специфика ооидовых железняков, характеризующие аноксические условия морского дна.

Ключевые слова: осадочный бассейна, ооидовые железняки, фациальный анализ, минералогия, геохимия

CONDITIONS OF FORMATION OF OOIDAL MARINE IRONSTONES OF THE AYAT IRON ORE BASIN OF THE TURGAY DEPRESSION (NORTHERN KAZAKHSTAN)

Maximov P.N. [1]. Kalinina N.A. [1*], Rudmin M.A. [1], Tazhiev S.R.[2]*

[1] National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia
[2] Laboratory for modelling of hydrodynamic and geo-ecological processes, Institute of Hydrogeology and Geo-ecology named after U. M. Akhmedsafin, Almaty, Kazakhstan.
*e-mail: pnm1@tpu.ru

Abstract. This study investigates the physical and chemical characteristics influencing the formation of ooidal ironstones of the Ayat iron ore basin of the Turgay depression (Northern Kazakhstan). Various authigenic minerals such as siderite, goethite, pyrite, apatite, wurtzite, gypsum, barite and sylvin indicate fluctuations in the physicochemical modes of mineral formation during diagenesis of marine sediments. In situ crystallisation of pyrite and wurtzite was controlled by poor oxygen availability or deficiency at the water-sediment interface with bacterial production of sulphide ions. This is also indicated by the geochemical specificity of ooid ironstones, which characterise the anoxic conditions of the seafloor.

Keywords: sedimentary basin, ooidal ironstones, facies analysis, mineralogy, geochemistry

Отложения ооидовых железняков характеризуются «специфичными» физико-химическими условиями образования, которые не встречаются в современном океане [5]. Природы и механизмы их формирования до сих пор остаются в формате открытой дискуссии на платформе современной геологии [3]. Аятский железорудный бассейн относится к осадочному чехлу Тургайского прогиба, который во время позднего мела и палеогена представлял собой эпиконтинентальный пролив между южными морями, Паратетисом и Северным Ледовитым океаном, вызванная региональным структурным оседанием [1]. Изучением Аятских морских железняков занимались многие ученые [2], однако их выводы, касательно механизмов их образования, отличаются от современной

теории формирования ооидовых железняков [4]. Цель данной работы является изучение валовой геохимии для оценки контролирующих процессов отвечающих за минералообразование аутигенных фаз железняков. В качестве фактического материала послужили отобранные образцы из двух обнажений аятской свиты у пос. Варваринка (западная часть) и Николаевка (центральная часть). Лабораторно-аналитические работы в основном проводились с помощью сканирующего электронного микроскопа (СЭМ) TESCAN Vega 3 SBU, оснащенного детектором для энергодисперсионного рентгеноспектрального микроанализа OXFORD X-Max 50. Широкий спектр микроэлементов (в г/т) был измерен методом ИСП-МС на масс-спектрометре ELAN DRC-e.

Отложения бассейна в основном приурочены к аятской свите, в которой выделяются две хемогенные и две кластические литофации. Разрез аятской свиты представлен следующим образом: литофация алевролитов (F1) располагается на основании свиты и среди вышележащих литофаций однородных (F2) и ооидовых (F3) железняков. В качестве перекрывающего горизонта аятской свиты служит литофация кварц-глауконитовых песчаников (F4) (Рисунок 1). Однако, в разрезе Варваринка, в западной части бассейна по направлению к береговой линии базальная литофация алевролитов сменяется литофацией ооидовых железняков. Мощность литофации ооидовых железняков составляет около 2-х м. Ооидовые железняки имеют характерную бурую окраску с ооидовой структурой. Состав *in situ* минералов представлен сидеритом, гетитом, бертьерином, пиритом, гипсом и, реже, апатит, барит, вюртцит, фосфат редкоземельных элементов и соли калия и натрия. В качестве цементирующего вещества в основном служит сидерит. Ооиды классифицируются на мономинеральные, полиминеральные и измененные типы. Мономинеральные ооиды в основном состоят из зонально-концентрических сидеритовых пластинок (концентров или ламелий) (Рисунок 1А). Полиминеральные ооиды имеют схожие строения с мономинеральным типом, но отличаются разным составом концентров, чаще всего они состоят в основном из карбонатной, оксидной и алюмосиликатной фазы с различной долей железа (Рисунок 1Б). Эти минеральные фазы детектируется как сидерит, гетит и бертьерин, соответственно. К измененным типам относятся ооиды с элементами замещения отдельных концентров пиритом или баритом (Рисунок 1В). Ооиды, часто, в себе включат микрокристаллы/микрозерна барита, вюртцита, пирита, фосфат-РЗЭ (иногда целый концентр), апатита, гипса и терригенные обломки кварца и циркона. Наличие бертьерина, апатита и вюртцита, а также обилье барита и фрамбоидов пирита характерно для железняков Варваринского разреза. Наличие сидеритового цемента и образование вюртцита и пиритовых фрамбоидов свидетельствует об формировании пород в субкислородной/аноксидной обстановке морского дна с сульфидной активностью.

В валовом составе микроэлементов в ооидовых железняках наблюдаются повышенные концентрации V, Cr, Co, Ni, As, Mo и U по отношению постархейскому сланцу (PAAS). Повышенные содержания данных микроэлементов характерны для гидротермальных процессов. Средние показатели геохимических индикаторов в аятских железняках V, Mo и U составляют V EF – 5,8, Mo EF – 19,9 и U EF – 6,6. Заметное обогащение U иV значительное обогащение Mo в породах указывает на формирование пород в условиях дефицита кислорода. Это также подтверждается значениями цериевой аномалии, которая в среднем составляет Ce/Ce* ~ 1,1 [6].

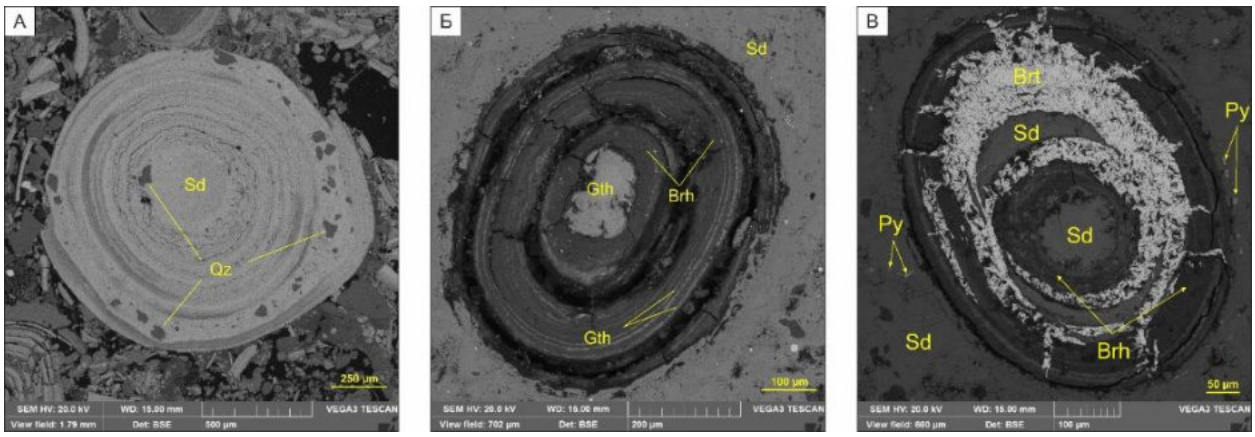

Рисунок 1. СЭМ-снимки разных типов ооидов морских железняков: А) сидеритовый ооид (мономинеральный); Б) гетит-бертьериновый ооид (полиминеральный); В) сидерит-барит-бертьериновый ооид (изменный). Brh – бертьерин; Brt – барит; Gth – гетит; Py – пирит; Sd – сидерит.

Резюмируя вышеперечисленные данные фациального анализа аятской свиты и минералого-геохимического анализа ооидовых железняков можно сделать следующее заключение. Смена трансгрессивно-регрессивных режимов во времени, вероятно, вызвана тектоническим опусканием/поднятием территории, о чем свидетельствует фациальный анализ аятских отложений. Наличие различных аутигенных минералов в железняках, кристаллизация которых контролируется отличительными окислительно-восстановительными условиями указывают на колебание физико-химических режимов минералообразования. Подтверждением этому служат показатели индексов обогащения Mo, V и цериевой аномалии. Повышенные содержания микроэлементов в железняках характерные для гидротермальных процессов указывает на иной источник поступления металлов в осадочном бассейне.

Финансирование. Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект № FSWW-2023-0010).

Список литературы:

1. Бойцова Е. П., Ронов, А. Б., Мигдисов, А. А., Турайская, Н. В. Геология юго-западной части Тургайского прогиба. Москва. Труды всесоюзного научно-исследовательского геологического института ВСЕГЕИ министерства геологии и охраны недр. 1990. 152 с.
2. Кротов Б. П. Генезис Аятского месторождения. Издательство АН СССР. 1956. С. 88–124.
3. Kimberley M. M. Debate about ironstone: has solute supply been surficial weathering, hydrothermal convection, or exhalation of deep fluids? Terra Nova. 1994. V. 6. № 2. P. 116–132.
4. Maximov P., Rudmin M. Origin of Upper Cretaceous marine ironstones of Ayat Formation (Turgay depression, Northern Kazakhstan). Solid Earth Sciences. 2023. V. 8. № 1. P. 1–11.
5. Taylor K. G., Macquaker J. H. S. Iron Minerals in Marine Sediments Record Chemical Environments Elements. 2011. V. 7. № 2. P. 113–118.
6. Tribovillard, N., Algeo, T. J., Lyons, T., Riboulleau, A. Trace metals as paleoredox and paleoproductivity proxies: An update. Chemical Geology. 2006. V. 232. № 1–2. P. 12–32.

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ МИНЕРАЛООБРАЗОВАНИЯ ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ КУМРОЧ, КАМЧАТКА

Мильская А.А.[1,2*]

[1]Институт геологии и минералогии им В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия
[2]Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия
*e-mail: a.milskaya@g.nsu.ru, milskayaaa@igm.nsc.ru

Аннотация. Изучены ассоциации сульфидов Кумрочского месторождения. Рассмотрены взаимоотношения минералов между собой, а также их морфологические особенности, что в некоторых случаях позволило не только определить последовательность рудообразования, но и выделить несколько генераций в случае некоторых минералов. Исследован состав пирита, в разных генерациях которого обнаружены примеси мышьяка и меди, а также минералы, находящиеся в виде включений в пирите, а также выполняющие поры в нём, что позволило выделить несколько генераций пирита. Также построена схема последовательности рудообразования, выявлены ассоциации, охарактеризовано геологическое строение Кумрочского месторождения.

Ключевые слова: пирит, самородное золото, рудообразование

SEQUENCE OF MINERALOGY FORMATION OF THE KUMROCH DEPOSIT, KAMCHATKA

Milskaya A.A.[1,2]

[1]V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, Novosibirsk, Russia,
[2]Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia,
a.milskaya@g.nsu.ru, milskayaaa@igm.nsc.ru

Abstract. The associations of sulfides of the Kumroch deposit have been studied. The interrelationships of minerals with each other, as well as their morphological features, are considered, which in some cases allowed not only to determine the sequence of ore formation, but also to identify several generations in the case of some minerals. The composition of pyrite was studied, in different generations of which impurities of arsenic and copper were found, as well as minerals in the form of inclusions in pyrite, as well as pores in it, which made it possible to identify several generations of pyrite. A sequence diagram of ore formation was also constructed, associations were identified, and the geological structure of the Kumroch deposit was characterized.

Keywords: pyrite, native gold, ore formation

Кумроч - перспективное золоторудное месторождение, которое начнут разрабатывать в ближайшие годы, составление схемы рудообразования является важным элементом на пути отслеживания изменения химизма, температуры среды, готовую схему в дальнейшем можно сравнивать со схемами других месторождений и по аналогии делать некоторые выводы о модели образования рудных минералов и формирования месторождения.

Основная цель работы - выявление морфологических особенностей сульфидов и определение последовательности их формирования на месторождении Кумроч. Для достижения цели было необходимо провести комплекс минераграфических исследований, включающих в себя определение особенностей рудных минералов и их взаимоотношений, также выделить минеральные парагенетические ассоциации руд, генерации рудных минералов. Для изучения рудной минерализации из кварцевых жил, метасоматитов и вмещающих пород на участках Центральный, Северный и Южный Кумроч и на

рудопроявлении Круча по скважинам отобрано 195 образцов из 26 скважин. Пробы отобраны по опорным и второстепенным скважинам, которые пересекают основные рудные зоны (жила 3, жила 5, жила Хитрая и т.д.) [2]. Минераграфические исследования, микроскопическое описание и фотографирование полированных аншлифов проводилось на поляризационном микроскопе OLYMPUS BX53 P в скрещенных и параллельных николях. Определения минерального состава руд и химического состава минералов выполнено на сканирующих электронных микроскопах (СЭМ) TESCAN MIRA 3LMU [2].

Месторождение Кумроч расположено в рамках границ Кумрочско-Валагинской и Тумрокско-Ольховской структурно-формационных зон Курило-Камчатской островодужной системы [2]. В строении участка принимают участие два структурных этажа: нижний – позднемелового-раннепалеогенового возраста со складчато-надвиговой структурой, представлен туфогенной хапицкой и песчано-алевролитовой дроздовской свитами и верхний – вулканогенные отложения миоцен-плиоценового и четвертичного возраста [2]. Среди интрузивных образований выделяются три комплекса: миоцен-плиоценовый, плиоценовый и четвертичный комплекс. Наибольшее распространение имеет миоцен-плиоценовый комплекс, сложенный породами средне-основного состава нормального и субщелочного рядов, которые образуют штокообразные тела [1]. Широко развиты разрывные нарушения, в которых выделяется четыре системы разломов. Наиболее важную роль в локализации оруденения играет система тектонических нарушений северного и восточного простирания, вмещающая эпитермальные рудоносные зоны [1]. Рудовмещающий комплекс объединяет жилы миоцен-плиоценового возраста в диоритовых порфиритах и оруденение на расстоянии не более 300 м от контакта интрузивных массивов в вулканогенно-осадочных образованиях хапицкой и терригенно-осадочных отложениях дроздовской свит [2]. На Кумроче выделяются жильный полисульфидно-кварцевый, вкрапленный и гнездово-вкрапленный сульфидный, вкрапленный сульфидно-оксидный типы руд.

На месторождении Кумроч выделяются медно-порфировая на Южном и существенно-сульфидная на Центральном участке формации. Изучены морфология, включения и локализация сульфидных минералов, с помощью выявления отличий по этим параметрам были выделены их генерации. Выделено восемь генераций пирита, шесть халькопирита, две арсенопирита и три генерации золота. На основе исследования участков Кумроча было выделено три стадии рудообразования: ранняя, промежуточная и поздняя. По взаимоотношениям минералов между собой была составлена упрощённая схема последовательности рудообразования для месторождения Кумроч (Рисунок 1). С ранней стадией связано формирование вкрапленной рассеянной минерализации самородного золота-I с магнетитом, ильменитом, халькопиритом-I, молибденитом, борнитом и халькозином в диоритовых порфиритах. К концу золото-медно-порфирового этапа образуется пирит-I образующий наряду с самородным золотом-I и халькопиритом-I рассеянную вкрапленность. Промежуточная стадия характеризуется пирит-арсенопиритовым оруденением с пирротином. Образуются пирит-II, пирит-III, пирит-IV, арсенопирит-I. Пирит-III содержит мышьяк и образует микропрожилки в пирите-II. Пирит-IV ксеноморфный – обрастает пирит-II. Арсенопирит-I часто дипирамидальной или игольчатой морфологии, обрастает пирит-II и пирит-IV. Поздняя стадия формирует прожилковые, полосчатые и кокардовые текстуры и связана с появлением золото-полиметаллической ассоциации, образуются пирит-V, пирит-VI, пирит-VII, пирит-VIII, халькопирит-II, халькопирит-III, халькопирит-IV, халькопирит-V, халькопирит-VI,

самородное золото-II, самородное золото-III, сфалерит, галенит, арсенопирит-II, антимонит, блеклые руды и гессит. Самородное золото-II чаще всего расположено в зёрнах пирита-V или в кварце. Самородное золото-III часто образует срастания с галенитом, а также может образовывать графические структуры в сфалерите. В эту же стадию образуются аллотриоморфнозернистые халькопирит-II, иногда в обрастании сфалеритом, халькопирит-III, находящийся в срастании со сфалеритом и галенитом, халькопирит-IV, обрастающий сфалерит, халькопирит-V, образующий эмульсионную вкрапленность в сфалерите и халькопирит-VI, формирующий прожилки в сфалерите совместно с блеклой рудой. Пирит-VI часто обрастает сфалерит и нарастает на халькопирит, при это в составе присутствует медь. Пирит-VII мышьяковистый, пирит-VIII обрастает пирит-VII.

Подытоживая вышеописанное, ранняя, промежуточная и поздняя стадии отличаются между собой прежде всего ассоциациями: медно-порфировая в ранней, пирит-арсенопиритовая в промежуточной и полисульфидная в поздней. Также немалые отличия присутствуют в текстурных особенностях: для ранней стадии наиболее свойственны вкрапленные массивные текстуры, для промежуточной прожилково-вкрапленные, для поздней - прожилковые, вкрапленные, полосчатые, кокардовые, брекчиевые и брекчиевидные.

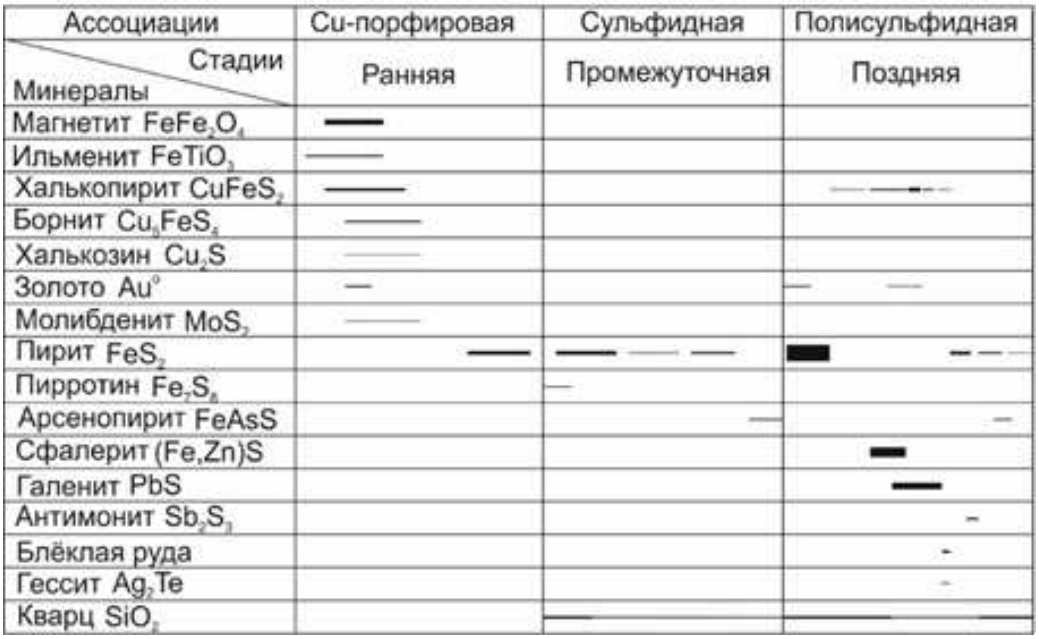

Рисунок 1. Упрощенная схема последовательности рудообразования месторождения Кумроч.

Финансирование. Работа выполнена по государственному заданию ИГМ СО РАН № 122041400237-8.

Список литературы:

1. Округин В.М., Шишканова К.О., Философова Т.М. Минералого-геохимические особенности руд месторождения Кумроч, Восточная Камчатка. Руды и металлы. 2019. № 2.
2. Шелепаев Р.А., Калинин Ю.А., Томиленко А.А. и др. Итоговый отчёт по теме: «Создание минералого-геохимической модели образования золоторудных месторождений для Кумрочского рудного поля с формированием минералого-геохимических критериев для поисков объектов аналогов». Новосибирск. ИГМ СО РАН. 2022. 231 с.

ОСОБЕННОСТИ ВЕЩЕСТВЕННОГО СОСТАВА И УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ TE-BI МИНЕРАЛЬНОЙ АССОЦИАЦИИ В КОЛЧЕДАННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ КАЗАХСТАНА

Николаева А.Н., Мазуров А.К.*

Томский политехнический университет, Томск, Россия
*e-mail: nikolaevaanastas759@gmail.com

Аннотация. На территории Казахстана известно большое количество колчеданных месторождений, сформированных в основном в островодужной геодинамической обстановке. *Актуальность исследования* заключается в необходимости освещения новых данных по формированию редкого теллуро-висмутового оруденения в колчеданных месторождениях энсиматических и энсиалических островных дуг на территории Казахстана. *Цель работы* – изучить морфологические особенности и установить физико-химические условия образования Te-Bi-содержащих минералов. *Методы исследования:* минераграфический и минералогический анализы, масс-спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой, сканирующая электронная микроскопия (СЭМ) в комплексе с энергодисперсионной спектроскопией (ЭДС), рамановская спектроскопия, термобарогеохимические исследования. *Результаты.* Проведенные исследования показали, что перспективы колчеданных месторождений островных дуг полностью не исчерпаны. Для месторождений энсиалической островной дуги отмечается преобладание висмута, а для месторождения энсиматической островной дуги – теллура.

Ключевые слова: колчеданные месторождения Казахстана, теллур, висмут.

FEATURES OF THE SUBSTANCE COMPOSITION AND CONDITIONS OF FORMATION OF TE-BI MINERAL ASSOCIATION IN PURIFIC DEPOSITS OF KAZAKHSTAN

Nikolaeva A.N., Mazurov A.K.*

Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia
*e-mail: nikolaevaanastas759@gmail.com

Abstract. A significant number of pyrite deposits are known on the territory of Kazakhstan, formed mainly in an island-arc geodynamic setting. The *relevance of the research* lies in the need to highlight new data on the formation of rare tellurium-bismuth mineralization in pyrite deposits of ensimatic and ensialic island arcs in Kazakhstan. *The purpose of the research* is to study the morphological features and establish the physicochemical conditions for the formation of Te-Bi-containing minerals. *Research methods:* mineragraphic and mineralogical analyses, mass spectrometry with inductively coupled plasma, scanning electron microscopy (SEM) combined with energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDS), Raman spectroscopy, thermobarogeochemical studies. *Results.* The studies have shown that the prospects for pyrite deposits on island arcs have not been completely exhausted. For deposits of the ensialic island arc, the dominance of bismuth is noted, and for the deposits of the ensimatic island arc, tellurium is dominant.

Keywords: pyrite deposits of Kazakhstan, tellurium, bismuth.

Введение. Изучение условий формирования и закономерностей распределения теллуро-висмутовой минерализации в рудах колчеданных месторождений Казахстана, приуроченных к разным островодужным палеогеодинамическим обстановкам, было выполнено на примере месторождений Абыз и Малеевское.

Месторождение Абыз, сформированное на энсиматической островной дуге, расположено в Карагандинской области Центрального Казахстана [2]. Рудное поле

находится в западной части Предчингизской зоны в области ее сочленения со структурами Токраурского синклинория, разделенных меридиональным Центрально-Казахстанским разломом. Оруденение связано с протяжённой зоной березитизации по вулканогенно-осадочным породам среднего-основного состава, также их туфогенным производным и осадочным отложениям [3].

Месторождение Малеевское, приуроченное к энсиалической островной дуге, находится в районе города Алтай Восточно-Казахстанской области. В геологическом плане месторождение располагается в Зыряновском рудном районе Лениногорско-Зыряновской подзоны Рудно-Алтайской структурно-формационной зоны [4]. Рудообразование, пространственно связанное с березитовой формацией, происходило двумя основными способами: гидротермально-осадочным и гидротермально-метасоматическим.

Полученные результаты. В ходе исследования были изучены сплошные и вкрапленные колчеданные руды данных месторождений, характеризующиеся довольно сложным минеральным составом и большим набором парагенезисов [5, 6].

Главными минералами руд *месторождения Абыз* являются пирит, халькопирит, сфалерит и галенит. В меньшем объеме фиксируются тетраэдрит и арсенопирит. В качестве редких и очень редких минералов диагностированы электрум, самородное золото, кубанит, теннантин, пирротин, борнит, кюстелит, самородная медь, прустит, пираргит, стефанит и энаргит.

Теллуро-висмутовая минерализация в колчеданных рудах характеризуется гесситом $AgTe_2$, алтаитом PbTe, петцитом Ag_3TeAu_2, калаверитом $AuTe_2$, теллуровисмутитом Bi_2Te_3, ченгуодаитом $Ag_9FeTi_2S_4$, раклиджитом $(Bi, Pb)_3Te_4$, штютцитом Ag_5Te_3 и колорадоитом HgTe. Морфология минералов представлена неправильными формами выделения (от каплевидных, проволочковидных до угловатых) размером до 20 мкм. Большая часть диагностированных агрегатов минералов приурочена к сплошному типу оруденения и концентрируется преимущественно в трещинах и пустотах пирита и халькопирита. Кристаллизация Te-Bi-содержащих минералов происходила в рудную стадию гидротермального этапа минералообразования в золото-серебро-висмут-теллуридную ассоциацию при температурном режиме 236…113 ºС и давлении 550…300 бар.

Минеральный состав руд *Малеевского месторождения* представлен главным образом пиритом, халькопиритом, сфалеритом и галенитом, в меньшем объеме молибденитом, арсенопиритом, тетраэдритом. В качестве редких и очень редких минералов отмечаются электрум, самородное золото, фрейбергит, фаматинит, марказит, дигенит, аргенит, гудмундит, бертьерит и нисбит.

Теллуро-висмутовая минерализация представлена изоклейкитом $Pb_{27}(Cu, Fe)_2(Sb, Bi)_{19}S_{57}$, самородным висмутом Bi, гесситом $AgTe_2$, алтаитом PbTe, цервеллеитом Ag_4TeS, ксилингоитом $Pb_3Bi_2S_6$, плюмботеллуритом $PbTeO_3$. Формы выделения их достаточно разнообразные: каплевидная, амебообразная, проволочковидная, угловатые, слабоизометричная. Агрегаты размером 0,2…40 мкм концентрируются в пирите, халькопирите, спорадически сфалерите. Самородный висмут развивается исключительно по изоклейкиту и ксилингоиту, демонстрируя тем самым распад твердого раствора. Формирование Te-Bi-содержащих минералов протекало в серебро-висмут-теллурид-сульфидную минеральную ассоциацию рудной стадии при температуре 280…150 ºС и давлении 615…400 бар.

Заключение. В результате проведенных исследований для колчеданных месторождений Казахстана, сформированных в палеостроводужных системах, выявлен потенциал попутной добычи теллура и висмута.

Выполненные анализы позволили выявить закономерность: на месторождении энсиматической островной дуги отмечается преобладание теллурсодержащих минералов, а на месторождении энсиалической островной дуги – висмутсодержащих. Данный факт подтвердили результаты проведенного ICP-MS анализа, демонстрирующие преобладание метала висмута в рудах Малеевского месторождения и доминирование металлоида теллура в рудах месторождения Абыз (Рисунок 1).

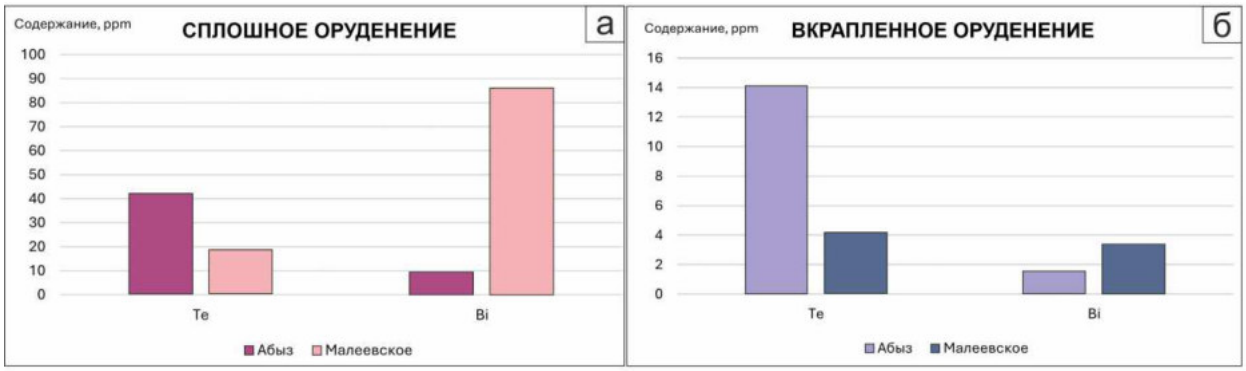

Рисунок 1. Графики содержаний теллура и висмута в сплошных (а) и вкрапленных (б) рудах месторождений, составленные по результатам ICP-MS анализа

Полученные результаты позволяют по-новому подойти к стратегии прогнозирования ресурсов минерального сырья колчеданных месторождений-аналогов Абыз и Малеевского, сформированных в подобных геодинамических обстановках на территории Казахстана.

Финансирование: Работа выполнена при поддержке проекта FSWW–2023–0010.

Список литературы:

1. Абдулин А.А., Шлыгин А.Е. Металлогения и общие ресурсы Казахстана. Алма-Ата. Наука. 1988. 176 с.
2. Мазуров А.К. Металлогеническое районирование Казахстана. Вестник Томского политехнического университета. 2005. Т. 308. № 4. С. 33–39.
3. Дегтярев К. Е., Третьяков А. А., Лучицкая М. В., Вахтина Н. Л., Сальникова Е. Б. Древнейшие гранитоиды Чингиз-Тарбагатайской палеостроводужной системы (Восточный Казахстан): обоснование возраста и особенности состава. Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту). 2023. № 21. С. 69–71.
4. Пяткова А. П., Мизерная М. А., Мирошникова А. П., Пятков А.В., Половко М. П. Закономерности формирования колчеданно-полиметаллических месторождений на примере месторождения Малеевское. Вестник Восточно-Казахстанского государственного технического университета им. Д. Серикбаева. 2018. № 4 (82). С. 32–38.
5. Mineralogy Database https://www.webmineral.com. Дата обращения 19.05.2024.
6. Родыгина В.Г. Начала минераграфии: Учебное пособие. Томск. Изд-во НТЛ. 2006. 175 с.

ПЕРСПЕКТИВНОСТЬ СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ КАЛБЫ НА РЕДКОМЕТАЛЛЬНОЕ ОРУДЕНЕНИЕ (ВОСТОЧНЫЙ КАЗАХСТАН)

Ойцева Т. А.[1,2], Мизерная М. А.[1], Кузьмина О. Н.[1], Айтбаева С. С.[1], Агеева О. В.[1], Ларионова К. Ю.[1]*

[1]Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева, Усть-Каменогорск, Казахстан
[2]ТОО «ГЕОС», Усть-Каменогорск, Казахстан
*e-mail: tatiana.oitseva@gmail.com

Аннотация. Детальное доизучение уже известных редкометалльных структур диктуется возросшей потребностью в редкометалльном сырье. Главной редкометалльной структурой Восточного Казахстана является Калба-Нарымский пояс. В металлогеническом плане пояс делится на рудные районы: Шульбинский, Северо-Западно-Калбинский, Центрально-Калбинский и Нарымский. Район Центральной Калбы хорошо изучен и освоен благодаря известным промышленным месторождениям (Юбилейное, Бакенное, Белогорское и др.). Остальные районы отнюдь не бесперспективны. Северо-Западная Калба по ряду положительных поисковых признаков потенциально перспективна на промышленное редкометалльное оруденение.

Ключевые слова: перспективы, редкие металлы, пегматиты, Северо-Западная Калба

PROSPECTS OF THE NORTH-WEST KALBA FOR RARE-METAL MINERALIZATION (EAST KAZAKHSTAN)

Oitseva T. A.[1,2], Mizernaya M. A.[1], Kuzmina O. N.[1], Aitbaeva S.S.[1], Ageeva O.V.[1], Larionova K. Yu.[1]*

[1]D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, tatiana.oitseva@gmail.com
[2]GEOS LLP, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan

Abstract. Detailed further study of already known rare metal structures is dictated by the increased need for rare metal raw materials. The main rare metal structure of Eastern Kazakhstan is the Kalba-Narym belt. In metallogenic terms, the belt is divided into ore districts: Shulbinsky, North-West Kalbinsky, Central Kalbinsky and Narymsky. The Central Kalba region has been well studied and developed due to well-known industrial deposits (Yubileinoe, Bakennye, Belogorskoe, etc.). The rest of the districts are by no means unpromising. Based on a number of positive prospecting features, North-Western Kalba is potentially promising for industrial rare metal mineralization.

Keywords: prospects, rare metals, pegmatites, Northwestern Kalba

Восточный Казахстан долгое время изучался и привлекал внимание разнообразием своего геологического строения. Северо-Западная Калба (СЗК) является частью Калба-Нарымского редкометалльного пояса. Для нее, как и для всей структуры характерен редкометалльный профиль рудной минерализации, связанной с формированием гранитов калбинского комплекса. Первоначальным методом изучения возможных перспектив локальных структур является метод сравнения геологической модели строения редкометалльных месторождений Центрально-Калбинского редкометалльного района (месторождения Юбилейное, Белогорское, Бакенное) с геологическими объектами СЗК. Рассмотрим наиболее благоприятные для формирования редкометалльных структур признаки [1-5].

Первое, рудные районы и редкометалльные месторождения формируются очень часто в области продольной выклинки и погружения региональных структур, а также в области крупных региональных дугообразных и флексурных изгибов структур. В районе СЗК происходит сложная выклинка Калбинского гранитного интрузива, и дугообразный разворот региональных структур с северо-западного направления на субмеридиональное (Рисунок 1).

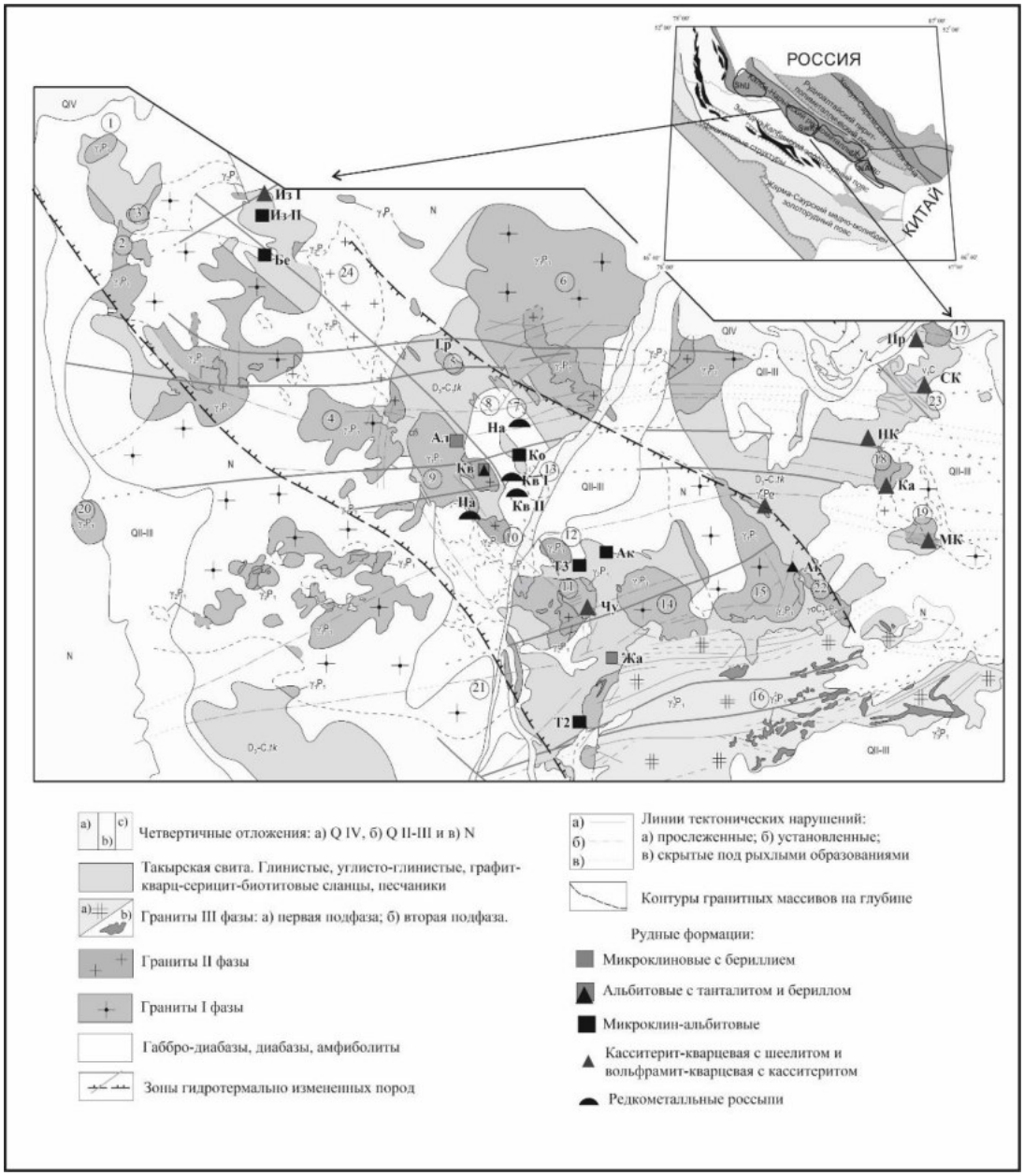

Рисунок 1. Схематическая геологическая карта Северо-Западной Калбы [2]. *Массивы гранитов:* 1 - Белокаменский, 2- Измайловский, 3 - Южно-Белокаменский, 4 - Таскудукский, 5 - Беккудукский, 6 - Ковалевский, 7 - Надеждинский, 8 - Промежуточный, 9 - Алыпкельский, 10 - Погребенный, 11 - Николаевский, 12 - Орлиный, 13 - Южно-Ковалевский, 14 - Центральный, 15 - Дологайлинский, 16 - Дунгалинский, 17 - Убино-Каиндинский, 18 - Ново-Каиндинский, 19 - Мало-Каиндинский, 20 - Соцчигизский, 21 - Привольненский, 22 - Актюбинский, 23 - Северо-Каиндинский, 24 - Восточно-Измайловский. *Месторождения:* Ак - Актюбе, Акт - Актобе, Ал - Алыпкел, Бе - Белокаменское, Гр - Грейзеновая, Жа - Жамантас, Из I - Измайловсое I, Из II - Измайловсое II, Ка - Каиндинское, Кв - Кварцевое, Кв I - Кварцевая I, Кв II - Кварцевая II, Ко - Ковалевское, М-К - Мало-Каиндинское, На - Находка, Над - Надежда, Н-К - Ново-Каиндинское, Пр - Промежуточное, Се - Северное, С-К - Северо-Каиндинское, Со - Соцчигиз, Т№2 - Точка №2, Т№3 - Точка №3, Чу - Чудское. *Районы:* ШУ – Шульбинский, СЗК – Северо-Западная Калба, ЦК – Центральная Калба, НА – Нарымский.

Этому изгибу подчинена морфология гранитных массивов и дайково-жильных полей. Структуры Ковалевского гранитного массива в северо-западной части разворачиваются в меридиональном направлении. Западная часть Дунгалинского массива имеет меридиональное направление.

Наиболее крупные изгибы структур контролируют локализацию редкометалльных пегматитов и кварцево-грейзеновых образований с оловяно-вольфрамовым оруденением (Кварцевое, Актюбе, Каиндинская группа месторождений и др.).

Второе, связь редкометалльного оруденения с магматизмом. Редкометалльные пегматиты альбит-сподуменового, альбитового, микроклин-альбитового типов наиболее часто локализуются в биотитовых и слабо контаминированных гранитах первой фазы калбинского комплекса (Кварцевое, Белогорское и др.); альбит-сподуменового, альбит-микроклинового, реже альбитового типов очень часто приурочены к зонам дайкообразных и штокообразных тел гранит-порфиров и плагиогранит-порфиров кунушского комплекса (рудопроявления Ковалевское, Актюбе, Алдай, Медведка, Точка и др.); с гранитами монастырской фазы связано образование «камерных» пегматитов (рудопроявление Жамантас).

Третье, взаимосвязь локализации редкометалльных пегматитов со структурами вмещающих песчано-алевролитовых пород, которые чаще всего повторяют форму антиклинальных складок. Подобную позицию занимают редкометалльные пегматиты рудопроявление Актюбе, Ковалевское, Точка.

Таким образом, по совокупности положительных признаков, Северо-Западная Калба является потенциально перспективной на обнаружение крупного редкометалльного оруденения в Восточном Казахстане.

Финансирование: Работа выполнена при поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант № AP19676805).

Список литературы:

1. Дьячков Б. А., Ойцева Т. А. Редкометальное оруденение Калбы. Усть-Каменогорск. ВКТУ. 2021. 208 с.
2. Ермолин В. Т., Пушко Е. П., Рыбальченко Н. Г., Ярошенко О. Н. Отчет Иртышской ГРП по результатам поисковых работ в Северо-Западной Калбе за 1965-1969 гг. пос. Красный Кордон. ВКГУ. 1971. 178 с.
3. Загорский В.Е., Макагон В.М., Шмакин Б.М., Макрыгина В.А., Кузнецова Л.Г. Редкометалльные пегматиты. Гранитные пегматиты. Новосибирск. Наука.1997. 285 с.
4. Gonçalves A.O., Melgarejo J.C., Alfonso P., Amores S., Paniagua A., Buta Neto A., Alves Morais E., Camprubí A. The distribution of rare metals in the LCT pegmatites from the Giraul field, Angola. Minerals. 2019. 9 (10). 580.
5. Tkachev A.V., Rundqvist D.V., Vishnevskaya N.A. Metallogeny of lithium through geological time. Russian Journal of Earth Sciences. 2018. V. 18. № 6. P. 1–13.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ МИНЕРАЛОВ ТИТАНА И НИОБИЯ ПРИ МИГРАЦИИ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ ПРОЦЕССАХ И ВЫВЕТРИВАНИИ

Чеботарев Д.А.[1], Сарыг-оол Б.Ю.[1], Козлов Е.Н.[2], Фомина Е.Н.[2], Сидоров М.Ю.[2]*

[1]Институт геологии и минералогии им В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия
[2]Геологический институт КНЦ РАН, Апатиты, Россия
*e-mail: chebotarev@igm.nsc.ru

Аннотация. Представлены исследования по осаждению Ti и Nb из 1.0 М растворов HF, HCl, H_3PO_4 или H_2SO_4, содержащих по 100 мг/л ионов Ti и Nb, на смесь из фрагментов гнейса и рутила и анатаза при 50 и 200 °C. При 50 °C содержания Ti и Nb в растворах изменились незначительно, и новых кристаллических фаз с Ti и Nb не обнаружено. При 200 °C содержание Ti в растворах HF и H_3PO_4 увеличилось за счет растворения ильменита и титанита из гнейса, а в растворах HCl и H_2SO_4 не изменилось. Содержание Nb в растворах HCl, H_3PO_4 или H_2SO_4 значительно снизилось, а в растворе HF не изменилось. На основе этих результатов сделан вывод о том, что минералы Ti и Nb могут образовываться из низкотемпературных гидротермальных растворов при их миграции во вмещающие породы.

Ключевые слова: рутил, анатаз, кора выветривания, геохимические барьеры

EXPERIMENTAL MODELING OF THE FORMATION OF TITANIUM AND NIOBIUM MINERALS DURING MIGRATION OF LOW TEMPERATURE HYDROTHERMAL PROCESSES AND WEATHERING

Chebotarev D.A.[1], Saryg-ool B.Yu.[1], Kozlov E.N.[2], Fomina E.N.[2], Sidorov M.Yu.[2]

[1]V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, Novosibirsk, Russia, chebotarev@igm.nsc.ru
[2] Geological Institute, Kola Science Center,Russian Academy of Sciences, Apatity

Abstract. Studies on the sorption of Ti and Nb from 1.0 M solutions of HF, HCl, H_3PO_4 or H_2SO_4 containing 100 mg/l Ti and Nb ions onto a mixture of gneiss, rutile and anatase at 50 and 200 °C are presented. At 50 °C, the contents of Ti and Nb in solutions changed slightly, and no new crystalline phases with Ti and Nb were detected. At 200 °C, the Ti content in HF and H_3PO_4 solutions increased due to the dissolution of ilmenite and titanite contained in gneiss, but did not change in HCl and H_2SO_4 solutions. The Nb content in HCl, H_3PO_4 or H_2SO_4 solutions decreased significantly, but did not change in the HF solution. Based on these results, it is concluded that Ti and Nb minerals may form from low-temperature hydrothermal solutions as they migrate into the host rock.

Keywords: rutile, anatase, weathering crust, geochemical barriers

Считается, что минералы титана и ниобия не образуются при низкотемпературных гидротермальных процессах и выветривании поскольку титан и ниобий не переносятся в гидротермальных растворах при этих процессах [1, 2]. В то же время, полиморфные модификации оксидов титана часто встречаются в гидротермальных жилах различного генезиса, причем как в высокотемпературных (400-300 °C), так и в средне- (300-150 °C) и низкотемпературных (150-50 °C). Зачастую, в них обнаруживается зональности по Ti, Fe, Si, Nb и др., а содержание Nb_2O_5 может достигать десятков массовых процентов, доходя до промышленных концентраций. В качестве ярких примеров можно назвать следующие карбонатитовые комплексы, с которыми ассоциированы промышленные редкометальные месторождения: Чуктуконский массив Чадобецкого комплекса (Красноярский край,

Россия) [3], массив Вуориярви в Кольской щелочной провинции (КЩП) (Россия) [4], Bear Lodge в США [5], Morros dos Seis Lagos в Бразилии [6, 7]. Причем в коре выветривания по карбонатитам Morros dos Seis Lagos описаны Ti-оксиды, сформировавшиеся как на поздней низкотемпературной гидротермальной стадии, так и в ходе выветривания [6]. В виду этих противоречий и в целях исследования возможности образования минералов титана и ниобия при условиях низкотемпературных гидротермальных процессов и выветривания, нами была проведена серия опытов, моделирующих миграцию насыщенных титаном и ниобием гидротермальных растворов во вмещающие породы при 200 и 50 °C.

Для этого в автоклав из политетрафторэтилена (ПТФЭ) высокого давления объемом 50 мл мы помещали смесь фрагментов гнейса (50 мг), рутила (10 мг), анатаза (10 мг) и добавляли 10 мл 1.0 М раствора минеральных кислот HF, HCl, H_3PO_4 или H_2SO_4, содержащих по 100 мг/л ионов Ti и Nb, после чего автоклав закрывали и ставили в нагревательный блок. Эксперименты проводились при 50 °C и 200 °C в течение 4 часов после установления температуры. По окончании экспериментов автоклав охлаждали до комнатной температуры. Таким образом, всего было проведено 8 экспериментов. Растворы кислот анализировались на содержание элементов методом атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-АЭС). Составы рутила, анатаза и минералов гнейса анализировались до и после экспериментов методом электронной сканирующей микроскопии. Аналитические и минералогические исследования проводились в ЦКП Многоэлементных и изотопных исследований СО РАН.

После экспериментов при 50 °C в растворах наблюдается незначительное увеличение титана и ниобия: для HF 106 и 103 ppm, для HCl 103 и 100 ppm, для H2SO4 104 и 102 ppm, для H_3PO_4 101 и 100 ppm. После экспериментов при 200 °C в растворе HF наблюдается увеличение содержания титана до 180 ppm, а в растворе H_3PO_4 снижение до 7 ppm, в то время как для растворов HCl и H_2SO_4 содержания титана составили 103 и 101 ppm. В то же время, содержание ниобия при 200 °C значительно понизилось: до 20 ppm для H_2SO_4, 74 ppm для H_3PO_4, до 94 ppm для HCl, а для HF не изменилось.

Увеличение содержания титана объясняется растворением содержавшихся в гнейсе ильменита с оторочкой титанита, что также регистрируется по содержанию Ca, Fe и других элементов в растворах. Снижение концентрации титана и ниобия вызвано осаждением новообразованных оксидов титана с примесью Nb_2O_5 от 1 до 20 мас.% и твердых фаз, содержащих ниобий в смеси с сульфатами или фосфатами для образцов с соответствующими растворами в виде мелкодисперсных примазок и мелких кристаллов в прожилках в гнейсе в приконтактовых зонах. При этом кристаллы рутила и анатаза, использовавшиеся в экспериментах как затравки, не имеют кайм и не проявляют никаких следов реакции с растворами.

На основании полученных результатов можно сделать вывод, что минералы оксиды титана и ниобия действительно могут образовываться при миграции насыщенных титаном и ниобием низкотемпературных растворов во вмещающие породы. При этом из наших экспериментов следует, что такое возможно при повышенных температурах, поскольку новообразованные из растворов кристаллические фазы титана и ниобия при 50 °C отсутствуют, а при 200 °C они обнаружены в образцах с растворами H_2SO_4 и H_3PO_4. Однако отсутствие реакционных кайм на затравках рутила и анатаза указывает на то, что ниобий-содержащие оксиды титана, наблюдаемые в гидротермальных жилах и корах выветривания по карбонатитам (например, на массиве Чуктукон (Красноярский край), Morros dos Seis Lagos (Ю. Америка), Bear Lodge (Сев. Америка) или Томтор (Якутия)) могут быть

образованными непосредственно в ходе гидротермальных процессов и, возможно, процессов выветривания, а не являются унаследованными реликтами предыдущих геологических событий – например, магматических.

Финансирование: Исследование проведено за счет средств базового проекта НИР № 22041400241-5 (расходные материалы для экспериментов) и гранта РНФ № 23-77-01075 (исходные вещества, аналитические работы).

Список литературы:

1. Kurtz A.C., Derry L.A., Chadwick O.A., Alfano, M.J. Refractory element mobility in volcanic soils. Geology. 2000. V 28. P. 683–686
2. Ewing R.C., Weber W.J., Lian J. Nuclear waste disposal-pyrochlore (A2B2O7): Nuclear waste form for the immobilization of plutonium and ‘‘minor’’ actinides. Journal of Applied Physics. 2004. V. 95. P. 5949–5971.
3. Chebotarev D.A., Doroshkevich A.G., Klemd R., Karmanov N.S. Evolution of Nb-mineralization in Chuktukon carbonatite massif, Chadobets upland (Krasnoyarsk territory, Russia). Periodico di Mineralogia. 2017. V. 86. P. 99-118.
4. Andersen A.K., Clark J.G., Larson P.B., Neill O.K. (2016) Mineral chemistry and petrogenesis of a HFSE(+HREE) occurrence, peripheral to carbonatites of the Bear Lodge alkaline complex, Wyoming. American Mineralogist. 2016. V. 101. No. 7. P. 1604-1623. https://doi.org/10.2138/am-2016-5532
5. Фомина Е.Н., Козлов Е.Н. Комплексное исследование редкоземельных карбонатитов массива Вуориярви (Кольский регион) и модель их формирования. Вестник Кольского научного центра РАН. 2022. №2. DOI:10.37614/2307-5228.2022.14.2.002
6. Kozlov E., Fomina E., Sidorov M., Shilovskikh V. Ti-Nb Mineralization of Late Carbonatites and Role of Fluids in Its Formation: Petyayan-Vara Rare-Earth Carbonatites (Vuoriyarvi Massif, Russia). Geosciences. 2018. V. 8. № 8. P. 281. https://doi.org/10.3390/geosciences8080281
7. Giovannini A.L., Bastos Neto A.C., Porto C.G., Pereira V.P., Takehara L., Barbanson L., Bastos P.H.S. Mineralogy and geochemistry of laterites from the Morro dos Seis Lagos Nb (Ti, REE) deposit (Amazonas, Brazil). Ore Geology Reviews. 2017. V. 88. P. 461-480. https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2017.05.008.
8. Giovannini A.L., Mitchell R.H., Bastos Neto A.C., Moura C.A.V., Pereira V.P., Porto C.G. Mineralogy and geochemistry of the Morro dos Seis Lagos siderite carbonatite, Amazonas, Brazil. Lithos. 2020. V. 360–361. 105433. https://doi.org/10.1016/j.lithos.2020.105433.

МИНЕРАЛООБРАЗУЮЩИЕ ФЛЮИДЫ АЯХТИНСКОГО ЗОЛОТОРУДНОГО УЗЛА (ЕНИСЕЙСКИЙ КРЯЖ, РОССИЯ)

Шапаренко Е.О., Петрова М.А.*

Институт геологии и минералогии им В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия
*e-mail: shaparenko@igm.nsc.ru

Аннотация. Представлены результаты термобарогеохимического исследования флюидов одного из перспективных золотоносных районов Енисейского кряжа. Методами микротермометрии, рамановской спектроскопии и газовой хромато-масс-спектрометрии проанализированы флюидные включения в минералах из кварцево-жильных зон объектов Аяхтинского рудного узла. Установлено, что золотоносные зоны сформированы флюидами умеренной солености при температуре 180-430 °C и давлениях 0,5-2 кбар. Основными компонентами в составе флюидов являются H_2O и CO_2, в то время как органические, S- и N-содержащие соединения находятся в подчиненном количестве.

Ключевые слова: Енисейский кряж, золото, минералообразующие флюиды

MINERALIZING FLUIDS OF THE AYAKHTA GOLD MINE (YENISEI RIDGE, RUSSIA)

Shaparenko E.O., Petrova M.A.*

V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, Novosibirsk, Russia,
shaparenko@igm.nsc.ru

Abstract. We present the results of a thermobarogeochemical study of fluids from one of the promising gold-bearing areas of the Yenisei Ridge . We analyzed fluid inclusions in minerals from the quartz vein zones of the Ayakhtinsky ore cluster using microthermometry, Raman spectroscopy and gas chromatography-mass spectrometry. It has been established that gold-bearing zones were formed by fluids of medium salinity at temperatures of 180-400 °C and pressures of 0.5-2 kbar. The major fluid components are H_2O and CO_2, while organic, S- and N-containing compounds are in subordinate quantities.

Keywords: Yenisei ridge, gold, mineral-forming fluids

Аяхтинский рудный узел расположен в Центральной части Енисейского кряжа, который является позднедокембрийским складчатым поясом. В пределах Аяхтинской площади находится несколько перспективных золото-сульфидно-кварцевых объектов прожилково-жильного типа. Вопрос об условиях формирования кварцево-жильных зон Аяхтинского рудного узла является актуальным в рамках разработки геолого-генетической модели золоторудных месторождений. Целью данного исследования является установление физико-химических параметров минералообразующих флюидов золоторудных объектов Аяхтинского рудного узла с помощью методов термобарогеохимии.

В представленной работе были проанализированы образцы из золотоносных кварцево-жильных зон трех объектов: месторождений Аяхта и Кондуяк, а также участка Базисный. Исследуемые объекты приурочены к Татарско-Ишимбинской системе глубинных разломов, которая является главной рудоконтролирующей структурой района [1]. Рудная минерализация представлена кварцево-жильными зонами с содержанием сульфидов 3-5 %. Рудные минералы представлены самородным золотом, арсенопиритом, пирротином, пиритом, халькопиритом.

Для установления физико-химических характеристик минералообразующих флюидов, сформировавших золотое оруденение Аяхтинского рудного узла, был проведен всесторонний комплексный анализ флюидных включений (ФВ) в минералах. ФВ были изучены методами микротермометрии, рамановской спектроскопии и беспиролизной газовой хромато-масс-спектрометрии (GC-MS) [2]. Были обнаружены ФВ трех типов: двухфазные газово-жидкие ($Ж_{H2O}$+Г(Ж)$_{CO2±CH4±N2}$), однофазные газовые или жидкие (Г(Ж)$_{CO2±CH4±N2}$), а также трехфазные газово-жидкие с кристалликом галита ($Ж_{H2O}$+Г+КР).

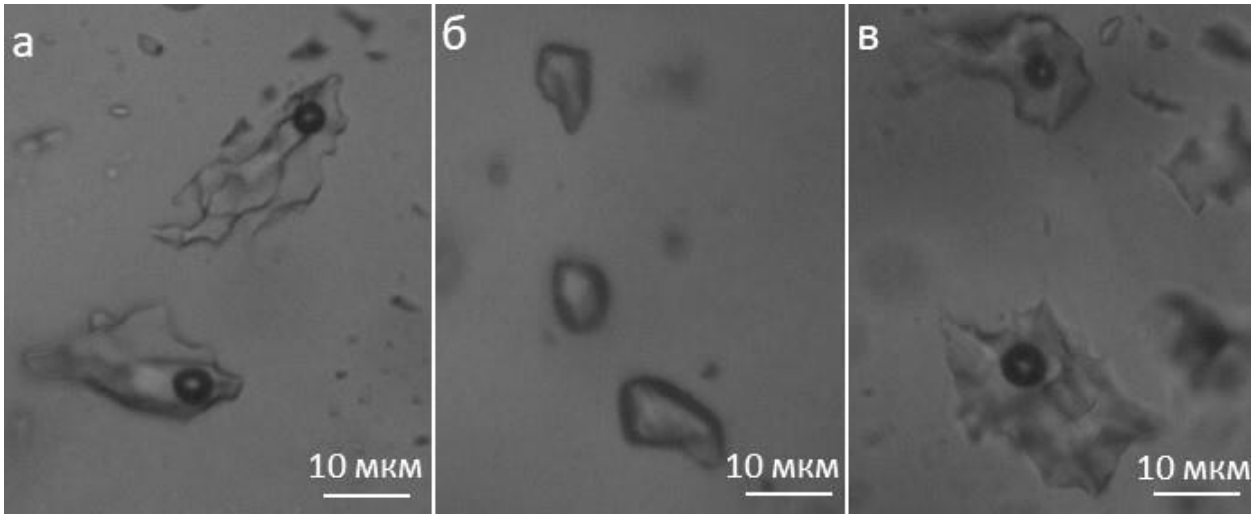

Рисунок 1. Типы флюидных включений Аяхтинского рудного узла: а – двухфазные ($Ж_{H2O}$+$Г_{CO2±CH4±N2}$); б – однофазные (Г,Ж)$_{CO2±CH4±N2}$; в – трехфазные ($Ж_{H2O}$+Г+КР).

Исследования показали, что формирование кварцево-жильных зон на объектах происходило в интервале температур 180–430 °С и давлений 0,5–2 кбар, соленость флюидов варьирует в пределах 0,5–20 мас. % NaCl-экв. В составе газовой фазы обнаружены такие соединения как H_2O, CO_2, N_2, H2S, SO_2, а также ряд органических соединений (до 278 в образце) [3]. Такие параметры флюида являются характерными для золоторудных месторождений Енисейского кряжа и орогенных месторождений в целом.

Финансирование: Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-77-01063, https://rscf.ru/project/23-77-01063/.

Список литературы:

1. Сазонов А.М., Ананьев А.А., Полева Т.В., Хохлов А.Н., Власов В.С., Звягина Е.А., Фёдорова А.В., Тишин П.А., Леонтьев С.И. Золоторудная металлогения Енисейского кряжа: геолого–структурная позиция, структурные типы рудных полей. Журнал Сибирского федерального университета. Техника и технология. 2010. № 4. С. 371–395.
2. Бульбак Т. А., Томиленко А.А., Гибшер Н.А., Сазонов А.М., Шапаренко Е.О., Рябуха М.А., Хоменко М.О., Сильянов С.А., Некрасова Н.А. Углеводороды во флюидных включениях из самородного золота, пирита и кварца месторождения Советское (Енисейский кряж, Россия) по данным беспиролизной газовой хромато-масс-спектрометрии. Геология и Геофизика. 2020. Т. 61. №. 11. С. 1535-1560.
3. Петрова М.А., Гибшер Н.А., Шапаренко Е.О., Томиленко А.А., Бульбак Т.А., Сазонов А.М., Хоменко М.О., Сильянов С.А. Золото-кварцевое месторождение Аяхта (Енисейский кряж): условия формирования и источник флюидов. Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2024. Принята в печать

Секция Петрология

ТЕМПЕРАТУРНЫЕ УСЛОВИЯ МЕТАМОРФИЗМА ГОРЕВСКОГО СВИНЦОВО-ЦИНКОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ЕНИСЕЙСКИЙ КРЯЖ)

Волкова В.Е.[*], *Сухоруков В.П.*

Институт геологии и минералогии им В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия
*e-mail: volkovave@igm.nsc.ru

Аннотация. В работе представлены результаты изучения температурных условий метаморфических преобразований вмещающих горных пород Горевского свинцово-цинкового месторождения с использованием геотермометра на основе данных рамановской спектрометрии углеродистого вещества, а также с помощью традиционных методов минералогической термометрии. Полученные данные позволили оценить пиковые значения температуры метаморфизма в 490-530 °С при хорошей сходимости результатов различных методов. Также установлен этап проявления наложенных локальных преобразований в горных породах месторождения при температурах 365-345 °С.

Ключевые слова: Горевское месторождение, температура метаморфизма, геотермометр

TEMPERATURE CONDITIONS OF METAMORPHISM OF THE GOREVSKOYE LEAD-ZINC DEPOSIT (YENISEI RIDGE)

Volkova V.E., Sukhorukov V.P.

V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, Novosibirsk, Russia,
*e-mail: volkovave@igm.nsc.ru

Abstract. The paper presents the results of studying the temperature conditions of metamorphic transformations manifested in the host rocks of the Gorevskoye lead-zinc deposit using a geothermometer based on Raman spectrometry data of carbonaceous matter, as well as using traditional methods of mineralogical thermometry. The data obtained allowed us to estimate peak metamorphism temperature values of 490-530 °C with good convergence of the results of different methods. It was also found that the rocks of the deposit underwent superimposed local transformations at temperatures of 365-345 °C.

Keywords: Gorevskoye deposit, metamorphism temperature, geothermometer

Введение. Горевское месторождение, расположенное в южной части Центрально-Ангарского блока Енисейского кряжа на западной окраине Сибирского кратона, является одним из крупнейших полиметаллических месторождений России. Рудные тела месторождения залегают в метаморфизованных породах верхнего рифея и палеозойских отложений. Вмещающие породы сложены углеродистыми сланцами, кремнистыми и карбонатными прослоями различной мощности, среди которых преобладают известковистые сланцы и глинистые известняки [1]. Генезис месторождения до настоящего времени остается дискуссионным. Между тем, в одной из последних работ [1] подчеркивается важная роль метаморфических преобразований в перекристаллизации и формировании облика руд. В связи с этим, при реконструкциях генезиса месторождения особую значимость приобретают оценки условий метаморфизма вмещающих оруденение толщ. Ранее такие оценки давались приблизительно на основании минеральных

парагенезисов, поэтому основной целью нашей работы было определение температурных условий метаморфизма вмещающих горных пород Горевского месторождения.

Петрография. Использованные для оценок условий метаморфизма образцы Горевского месторождения представлены слабодеформированными, брекчированными и катаклазированными породами. Для первых из них, представленных переслаивающимися карбонатными, кварц-карбонатными прослоями и хлорит-серицитовыми, гранат-биотитовыми сланцами, часто углеродсодержащими, характерно слоистое, ритмично-слоистое строение. Брекчированные и будинированные слоистые породы аналогичны по составу и структурам первой группе.

Катаклазированные полосчатые породы сложены переслаивающимися сидеритовыми, гранат-грюнерит-биотитовыми прослоями и гранат-биотитовыми сланцами. В катаклазированных образцах отмечаются регрессивные или наложенные преобразования, приуроченные к трещинам и прожилкам: хлоритизация биотита и граната, укрупнение (перекристаллизация) карбоната и появление стильпномелана.

Исходя из петрографических наблюдений можно предположить, что породы Горевского месторождения претерпели региональный метаморфизм и локально подверглись регрессивным или наложенным преобразования.

Оценки температуры метаморфизма. Для оценки температуры метаморфизма традиционными геотермометрами использовались составы краевых частей зёрен граната и составы биотита из матрикса породы. Полученные оценки по гранат-биотитовому геотермометру [6] в среднем составляют 490-505 °С при давлении 3-4 кбар или 495-515 °С при 6-7 кбар. По биотитовому геотермометру [5] оценки температур составляют 515 ±50 °С.

Значения, установленные с помощью хлоритовых геотермометров [7 - 9] в образцах, где присутствует хлорит, замещающий пиковые минералы и выполняющий трещины в породе, соответствуют температуре 395-380 °С для хлорита в матриксе пород и 365-345°С для хлорита в кварцевых прожилках и хлорита, замещающего гранат.

Углеродистый материал анализировался преимущественно в хлорит-серицитовых и гранат-биотитовых сланцах. Для анализа использовались чешуи графита, находящиеся под поверхностью прозрачных и полупрозрачных минералов (кварца, реже карбоната или граната). Для всех изученных образцов оценки температуры, полученные при анализе углеродистого вещества, дают близкие средние значения геотермометров: 515 ±50°С [4]; 515 ±50°С [10]; 531 ±50°С [3].

Заключение. Результаты проведённых исследований позволили впервые оценить температуру метаморфизма вмещающих пород Горевского месторождения при помощи геотермометра, основанного на рамановских спектрах углеродистого вещества. Установленные температуры составляют 515-530 (±50) °С, что сопоставимо со значениями, полученными при использовании традиционных минералогических геотермометров 490-515 °С, а также с данными по флюидным включениям в метаморфогенном кварце 500-550°С [2]. Данный температурный интервал, по-видимому, отражает параметры пика метаморфизма.

В породах Горевского месторождения зафиксированы проявления локальных наложенных преобразований, которые представлены хлоритизацией биотита и граната, укрупнением (перекристаллизацией) карбоната и появлением стильпномелана. Температура данных преобразований оценивается не ниже 365-345 °С. Эти значения близки к температурам ранней стадии пострудного гидротермального прокварцевания (300-380 °С) [1].

Финансирование: Работа выполнена при поддержке проекта РНФ № 21-77-20018 («Метаморфические комплексы Енисейского кряжа: история геологического развития, природа протолитов, сырьевой потенциал»).

Список литературы:

1. Ковалев К.Р., Калинин Ю.А., Лобанов К.В., Наумов Е.А., Боровиков А.А., Сухоруков В.П. Горевское полиметаллическое месторождение (Сибирь, Россия): минеральный состав руд и особенности рудоотложения. Геология рудных месторождений. 2023. Т. 65. № 4. С. 302–336.

2. Кузнецов В.В., Конкин В.Д., Бабкин Е.А., Кузнецова Т.П., Кмитто И.А., Кмитто И.А. Геолого-генетическая модель цинково-свинцового месторождения Енисейского кряжа. Генетические модели стратиформных месторождений свинца и цинка. Новосибирск. Наука. 1991. С. 42–48.

3. Aoya M., Kouketsu Y., Endo S., Shimizu H., Mizukami T., Nakamura D., Wallis S. Extending the applicability of the Raman carbonaceous material geothermometer using data from contact metamorphic rocks. Journal of Metamorphic Geology. 2010. V. 28. P. 895–914.

4. Beyssac O., Goffé B., Chopin C., Rouzaud J.N. Raman spectra of carbonaceous material in metasediments: a new geothermometer. Journal of Metamorphic Geology. 2002. V. 20. P. 859–871.

5. Henry D., Guidotti C., Thomson J. The Ti-saturation surface for low-to-medium pressure metapelitic biotites: Implications for geothermometry and Ti-substitution mechanism. American Mineralogist. 2005. V. 90. P. 316–328.

6. Holdaway M. J. Application of new experimental and garnet Margules data to the garnet-biotite geothermometer. American Mineralogist. 2000. V. 85.P.881–892.

7. Jowett E.C. Fitting iron and magnesium into the hydrothermal chlorite geothermometer. Program with Abstracts 16, A62. GAC/MAC/SEG Joint Annual Meeting, Toronto. May 27-29. 1991.

8. Kranidiotis P., MacLean W.H. Systematics of chlorite alteration at the Phelps Dodge massive sulfide deposit, Matagami, Quebec. Economic Geology. 1987. V. 82. P. 1898–1911.

9. McDowell S.D., Elders W.A. Authigenic layer silicate minerals in borehole Elmore 1, Salton Sea geothermal field, California, USA. Contributions to Mineralogy and Petrology. 1980. V. 74. P. 293–310.

10. Rahl J.M., Anderson K.M., Brandon M., Fassoulas C. Raman spectroscopic carbonaceous material thermometry of low-grade metamorphic rocks: Calibration and application to tectonic exhumation in Crete, Greece. Earth and Planetary Science Letters. 2005. V. 240. P. 339–354.

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ МАРКЕРЫ ОБРАТНОГО ФРАКЦИОНИРОВАНИЯ РАСПЛАВА ПРИ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ПИКРИТОВЫХ ГАББРО-ДОЛЕРИТОВ НА ПРИМЕРЕ ТАЛНАХСКОГО РАССЛОЕННОГО ИНТРУЗИВНОГО КОМПЛЕКСА

Кузьмин И.А.[*], *Толстых Н.Д.*

Институт геологии и минералогии им В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия
*e-mail: kuzminia@igm.nsc.ru

Аннотация. Проведено детальное сравнение геохимической зональности основной расслоенной серии и пикритовых габбро-долеритов. Для основной расслоенной серии пород выявлена прямая зональность как по главным петрогенным элементам (породообразующие оксиды), так и для высокозарядных и редкоземельных элементов: накопление лёгких РЗЭ относительно тяжёлых происходит от нижнего контакта к верхнему, в то время как в пикритовом горизонте процесс протекает в обратном направлении что наглядно показано на фракционировании Eu и $(La/Yb)_n$ отношений. Разное поведение петрогенных элементов и РЗЭ в пикритовом горизонте и основной расслоенной серии позволяют убедиться, что их формирование не могло происходить в едином неразрывном магматическом процессе. Таким образом, пикритовый горизонт не может являться кумулятивной частью основной расслоенной серии, а представляет собой отдельную порцию внедрения примитивного расплава, эволюция которого была направлена вниз по разрезу.

Ключевые слова: Талнахская интрузия, редкоземельные элементы, La/Yb отношение, фракционная кристаллизация

GEOCHEMICAL MARKERS OF REVERSE MELT FRACTIONATION DURING CRYSTALLIZATION OF PICRITIC GABBRO-DOLERITES USING THE EXAMPLE OF THE TALNAKH LAYERED INTRUSIVE COMPLEX

Kuzmin I.A., Tolstykh N.D.

V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, Novosibirsk, Russia,
*e-mail: kuzminia@igm.nsc.ru

Abstract. A detailed comparison of the geochemical zoning of the main layered series and picritic gabbro-dolerites was carried out. For the main layered series direct zoning was revealed both for the main major elements (rock-forming oxides) and for highly charged and rare earth elements: the accumulation of light rare earth elements relative to heavy ones occurs from the lower contact to the upper, while in the picritic horizon the process proceeds in the opposite direction, which is clearly shown by the fractionation of Eu and (La/Yb)n ratio. The different behavior of major elements and REE in the picrite horizon and the main layered series raises allow you to be sure that their formation couldn't occur in a single continuous magmatic process. Thus, the picrite horizon cannot be a cumulative part of the main layered series, but represents a separate portion of the intrusion of a primitive melt, the evolution of which was directed down the section.

Keywords: Talnakh intrusion, rare elements, La/Yb ratio, fractional crystallization

Исследование интрузивов Норильского типа продолжается уже более полувека. В ходе изучения расслоенных ультрамафит-мафитовых интрузивов последовательно формировались различные генетические модели их формирования [1,2,3,4; 6,7 и др.]. Тем не менее, несмотря на диаметрально противоположные точки зрения ряда исследователей, большинство из них сходится во мнении что формирование горизонта пикритовых габбро-долеритов неразрывно связано с консолидацией основной расслоенной серии и эти породы являются её нижней (кумулятивной) частью [5]. Цель работы на примере одной из скважин Северо-Восточной ветви Талнахского интрузива – показать принципиальные различия в поведении петрогенных и редких элементов в пределах горизонта пикритовых габбро-

долеритов и пород основной расслоенной серии и показать возможность их формирования как самостоятельных систем, в процессе кристаллизации разных порций магмы.

В основу работы положена представительная коллекция образцов, отобранных в поле рудника Скалистый по разрезу опорной скважины СФ-21 (87 штуфных проб). Первичная пробоподготовка включала измельчение, квартование и истирание валовых проб пород. Для выполнения рентгенофазового анализа и определения петрохимического и микроэлементного состава пород издробленные пробы (44 пробы) усреднялись, затем навески 2-5 г истирались со спиртом в агатовой ступке. Из дубликатов этих же образцов и остальных образцов интрузива были изготовлены полированные пластинки в количестве 87 штук. Макроэлементный состав пород был определён методом рентгенофлуоресцентного анализа (РФА) в центре многоэлементных и изотопных исследований СО РАН. Микроэлементный состав (редкие и редкоземельные элементы - всего 52) представительных образцов по разрезу интрузивного тела был определен методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS) на спектрометре Agilent 7700x (производство США) в ЮУ ФНЦ МиГ УрО РАН (аналитик к.г.-м.н. К.А. Филиппова).

В ходе работы были выявлены ключевые закономерности в особенностях поведения большинства элементов в пределах развития пикритовых габбро-долеритов. Так в пикритовых габбро-долеритах компоненты Na_2O, K_2O, CaO и Al_2O_3 демонстрируют тенденцию к накоплению с глубиной, в то время как концентрации Fe_2O_3 и MgO закономерно убывают от 23 и 24 мас.%, соответственно, до 15 и 17 мас.% в этом же направлении.

В породах основной расслоенной серии (893-969 м) отношение P_2O_5/MgO уменьшается с глубиной, демонстрируя снижение доли фосфора с ростом магнезиальности, тогда как в пикритовом горизонте фракционирование фосфора с глубиной отсутствует и не зависит от магнезиальности. В основной расслоенной серии с глубиной наблюдается прямая корреляция Ni и Zr, демонстрируя обеднение обоих параметров, тогда как в пикритовом горизонте содержание Zr является постоянным. Поведение редкоземельных элементов охарактеризовано значениями, нормированными на N-MORB. Ключевое для пород магматических формаций отношение $(La/Yb)_n$ показывает накопление лёгких РЗЭ с глубиной в пикритовых габбро-долеритах, в соответствии с направлением фракционирования расплава в этом направлении, и обратную тенденцию в породах основной расслоенной серии (Рисунок 1). Противоположные тренды отражает также бинарная диаграмма Nb/La против SiO_2, показывая различную степень коровой контаминации в пикритовом горизонте и основной расслоенной серии.

Нормированные спектры распределения редкоземельных элементов в пикритовых габбро-долеритах демонстрируют преобладание легких РЗЭ над тяжёлыми, при этом сверху вниз по разрезу усиливается степень выраженности положительной европиевой аномалии, что напрямую связано с ростом количества плагиоклаза в процессе нормальной фракционной кристаллизации. Положительная Eu аномалия также фиксируется во всех пробах основной расслоенной серии, кроме верхней её части, где распространены призматически-зернистые габбро-долериты, в которых европиевая аномалия отсутствует. При этом концентрация Eu уменьшается вниз по разрезу основной расслоенной серии (Рисунок 1). Отсутствие Eu аномалии в верхней части разреза основной расслоенной серии может быть обусловлено появлением пироксен-плагиоклазовой эвтектики с натровым плагиоклазом. Разное поведение петрогенных элементов и РЗЭ в пикритовом горизонте и основной расслоенной серии вызывает сомнение что их формирование происходило в едином неразрывном магматическом процессе.

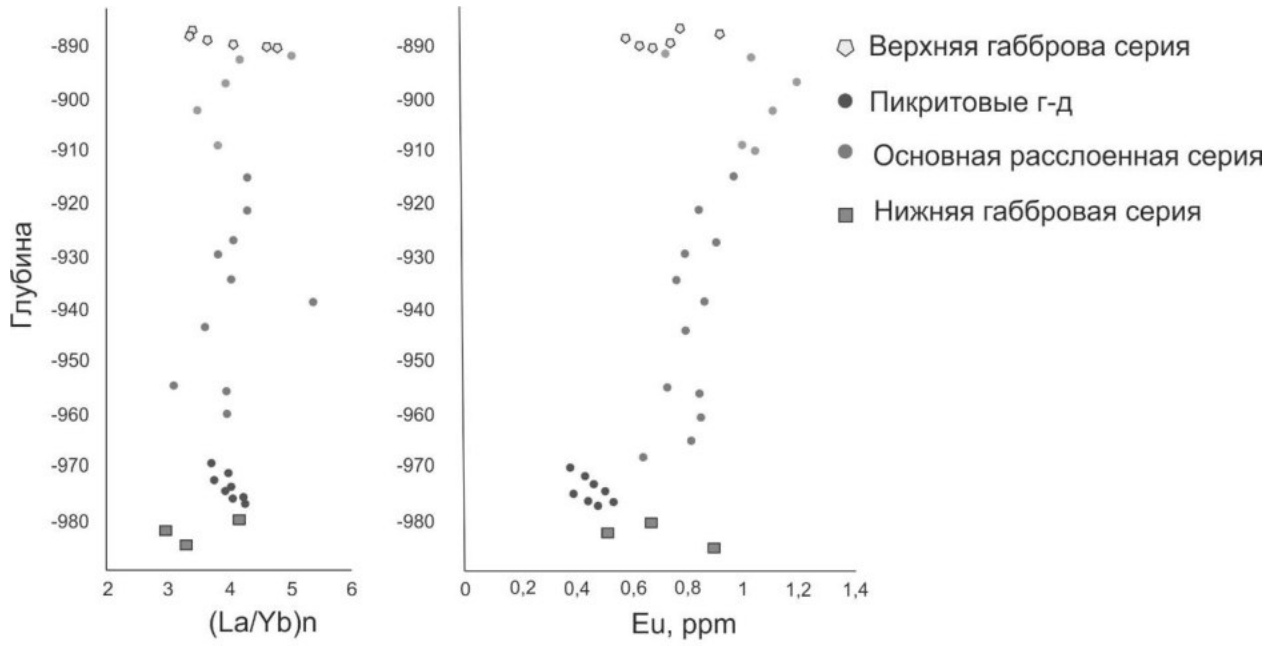

Рисунок 1. Распределение лёгких некогерентных РЗЭ в ходе фракционной кристаллизации основной расслоенной серии, пикритовых габбро-долеритов, а также в верхней и нижней габбровых сериях.

Таким образом, пикритовые габбро-долериты, лежащие ниже основной расслоенной серии, характеризуются принципиально отличной от неё геохимическую зональность. Спектры распределения компонентов по разрезу демонстрируют собственное фракционирование в пределах пикритовых габбро-долеритов. По-видимому, пикритовый горизонт не является кумулятивной частью основной расслоенной серии, а представляет собой отдельную порцию внедрения примитивного расплава, эволюционный тренд которого направлен вниз по разрезу (обратная зональность).

Авторы признательны А.Э. Изоху за методические рекомендации и научные консультации, а также С.Н. Кох, Э.В. Сокол, П.В. Хворову и И.Ф. Чайка за помощь в отборе образцов.

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания ИГМ СО РАН (№ 122041400044-2).

Список литературы:

1. Годлевский М.Н. Траппы и рудоносные интрузии Норильского района. Москва. Госгеолтехиздат. 1956. 68 с.
2. Котульский В.К. Современное состояние вопроса о генезисе медно-никелевых сульфидных месторождений. Советская геология. 1948. № 29. С. 11–24.
3. Лихачёв А.П. Платино-медно-никелевые месторождения. Москва. Эслан. 2006. 495 с.
4. Радько В.А. Модель динамической дифференциации интрузивных траппов Северо-Запада Сибирской платформы. Геология и геофизика. 1991. № 11. С.19–27.
5. Distler V.V., Sluzhenikin S.F., Cabri L.J., Krivolutskaya N.A., Turovtsev D.M., Golovanova T.I., Mokhov A.V., Knauf V.V., Oleshkevich O.I. The platinum ore of the Norilsk layered intrusions: The ratio of magmatic and fluid concentration of noble metals. Geology of Ore Deposits. 1999. V. 41(3). P. 241–265.
6. Naldrett A.J., Lighfoot P.C., Fedorenko V., Doherty W., Gorbachev S. Geology and Geochemistry of Intrusions and Flood Basalts of the Noril'sk Region. USSR, with implications for the origin of the Ni-Cu Ores. Economic Geology. 1992. V. 87. P. 975–1004.
7. Zolotukhin V.V., Ryabov V.V. The "space problem" in formation mechanism and form of the Noril'sk differentiated intrusions. International Geology Review. 1970. V. 12(6). P. 745–753.

ГЕНЕЗИС ЦИРКОНА И БАДДЕЛЕИТА В ПОРОДАХ ВАЛААМСКОГО СИЛЛА (ЛАДОЖСКИЙ ГРАБЕН), РОССИЯ

Лебедева Н.М.[1], Носова А.А.[1], Возняк А.А.[1], Сазонова Л.В.[2], Аранович Л.Я.[1], Борисовский С.Е.[1]*

[1] Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии Российской Академии наук, Москва, Россия
[2] МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия
*e-mail: hloantit@gmail.com

Аннотация. Проведены петрографические, минералогические и геохимические исследования пород и минералов в мезопротерозойском Валаамском силле в Ладожском Грабене на Карельском кратоне. В работе описано, как меняются Zr-фазы в силле: от бадделеита в кварцевом феррогаббро, к бадделеиту и циркону в кварцевых монцонитах и цирконам в секущим их жилах гранофиров. По распределению Hf между цирконом и породой в целом для кварцевых монцонитов получена два диапазона температура 536-801°C для низко-Hf (<1 вес.%), и 936-1388°C для высоко-Hf (> 1 вес.%). Вероятно, такой разброс температур связан с наличием бадделеита с высоким содержанием Hf (до 1,94 вес.%) в той же породе. Для цирконов из гранофиров получены температуры 713-975°C.

Ключевые слова: феррогаббро, кварцевые монцониты, гранофиры, несмесимость, кристаллизация Zr-фаз

GENESIS OF ZIRCON AND BADDELEYITE IN THE VALAAM SILL ROCKS (LADOGA GRABEN), RUSSIA

Lebedeva N.M.[1], Nosova A.A. [1], Vozniak A.A. [1], Sazonova L.V. [2], Aranovich L.Ya. [1], Borisovsky S.E. [1]

[1] IGEM RAS, Moscow, Russia, hloantit@gmail.com
[2] Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

Abstract. Petrographic, mineralogical, and geochemical studies of rocks and minerals in the Mesoproterozoic Valaam sill in the Ladoga Graben on the Karelian Craton have been conducted. The paper details the changes in Zr-phases within the sill: transitioning from baddeleyite in quartz ferrogabbro to a combination of baddeleyite and zircon in quartz monzonites, as well as zircons in granophyre veins. The distribution of Hf between zircon and rock in quartz monzonites revealed two temperature ranges: 536-801°C for low-Hf content (<1 wt.%), and 936-1388°C for high-Hf (> 1 wt.%). This temperature variation is probably due to the presence of high-Hf baddeleyite (up to 1.94 wt.%) in the same rock. Temperatures of 713-975°C were obtained for zircons from granophyres.

Keywords: ferrogabbro, quartz monzonites, granophyres, immiscibility, crystallisation of Zr-phases

Циркониевые минералы образуются в широком диапазоне P-T условий в различных по составу пород. Относительно мало известно о факторах, контролирующих образование того или иного минерала циркония в породах, а текстурные отношения между ними не всегда хорошо описаны несмотря на то, что часто в породе встречается несколько Zr фаз [2]. Важнейшие параметры при определении того, какая Zr фаза будет образована, являются состав породы и активность Si и Ca [3].

Нами был изучен Валаамский силл, расположенный в мезопротерозойском Ладожском грабене, который является самым молодым проявлением AMCG магматизма на территории Фенноскандии. Силл сложен кварцевыми феррогабрро-монцонитами с

гранитными жилами [4]. В породах Валаамского силла наблюдается как циркон, так и бадделеит. Иногда они встречаются в пределах одного образца. В предыдущих работах исследовали возраст циркона и бадделеита Валаамского силла [5], но не их состав. Нами была предпринята попытка изучить состав минералов и определить порядок кристаллизации. Целями настоящего исследования являются (1) описание Zr-содержащих минералов во всех разновидностях пород Валаамского силла; (2) соотнесение встречаемости и химических составов с составом вмещающих их пород; (3) определить последовательность кристаллизации Zr-содержащих фаз и попытаться определить контролирующие факторы; (4) определить, как присутствие нескольких высоко-Zr фаз влияет на расчет температуры по Hf термометру [1].

Кварцевые феррогабрро массивные крупнокристаллические. Бадделеит в основном приурочен к выделениям магматического ильменита, вместе с кварцем и флогопитом.

Кварцевые монцониты имеют среднезернистую структуру, в межзерновом пространстве встречаются участки гранофировой структуры. Размер зёрен бадделеита больше и достигает 20-25 мкм, иногда эти кристаллы расположены в хлоритовом агрегате, но большинство зерен также расположено рядом с кристаллами ильменита. Цирконы в этих породах часто призматической и ромбовидной формы, заметны следы метамиктности. Циркон и бадделеит присутствуют в одной породе в виде отдельных минералов, т.е. между ними не наблюдается реакционных взаимоотношений.

Гранофиры представляют собой породы с массивной текстурой, мелкосреднезернистой порфировидной структурой; структура основной массы – гранофировая, текстура массивная. Встречается большое количество мелких зерен циркона, на границе с монцонитами образуются кристаллы размером до 120 мкм. Циркон светло коричневый полупрозрачный.

Составы минералов определяли на волновом спектрометре JEOL JXA-8200 в ИГЕМ РАН.

Состав бадделеита был измерен в кварцевых монцонитах. Зерна мелкие, неправильной формы, в виде тонких изолированных пластинок в КПШ или в срастании с ильменитом, в режиме BSE однородные. Содержание Hf в бадделеите из монцонита от 1,19 до 1,94 вес.%, в пределах одного зерна меняется слабо.

В кварцевых монцонитах цирконы - часто измененные по краям. Центральные части отдельных зерен однородные. По содержанию HfO_2 в центральных (неизмененных) зонах циркона выделяются две генерации: преобладающая с концентрацией от 0,52 до 0,95 и два зерна с более высокими концентрациями 1,17-1,82 вес.%.

В гранофирах циркон встречается в виде скелетных кристаллов, призматических удлиненных зерен с тонкой магматической зональностью. В кислых породах циркон светло коричневый, полупрозрачный, призматической формы. Содержание Hf в пределах одного зерна практически не меняется, но зерна отличаются друг относительно друга по концентрациям 0,81-1,23 вес.%.

В породах Валаамского силла от основных к кислым наблюдается закономерность в появлении Zr-фаз: бадделеит в феррогаббро, в кварцевых монцонитах встречаются, как циркон, так и бадделеит, и циркон в гранофирах. Наличие двух отдельно существующих Zr-фаз говорит о неравновесном процессе.

Бадделеит в феррогаббро и кварцевых монцонитах образовался при выделении из ильменита в зонах просачивания позднемагматического остаточного высоко-Si водосодержащего расплава. Возможно, призматический циркон в монцонитах образовался

по бадделеиту в зонах с большей активностью кремнезема. Однако процесс был неравновеснымй и в породе сохранились оба минерала. Возможно высоко-Hf, который дает температуру 936-1388ºC, кристаллизуется, собственно, из расплава феррогаббро и кварцевых монцонитов. Низко-Hf цирконы из кварцевых монцонитов с достаточно низкой температурой кристаллизации 536-801ºC могли кристаллизоваться из остаточного расплава.

Присутствие в породе бадделеита, куда переходит большая доля Hf, говорит о необходимости уточнить Hf –в-цирконе термометр с учетом характера распределения Hf между фазами.

В гранофирах содержания Zr очень высокие, такое сильное обогащение Zr в кислых породах Валаамского силла вероятно связано с их образованием за счет ликвации высоко Fe и высоко Si жидкостей [4]. Из высоко-Si расплава выпадали крупные кристаллы КПШ и оставшийся расплав в условиях переохлаждения закристаллизовался в гранофировый агрегат с большим количеством зерен циркона.

По содержанию Hf в цирконах гранофиров была определен диапазон температуры 713-975ºC, что совпадает с температурой, полученной в работе [4] по моделированию фракционирования расплава и насыщению породы цирконием.

Финансирование: Работа выполнена при поддержке гранта РНФ 22-17-00052.

Список литературы:

1. Andreeva O.A., Aranovich L.Y., Kozlovsky A.M., Golunova M.A., Kaplanskaya D.D., Borisovsky S.E., Zircon-Based Comparative Geothermometry of the Adzh-Bogd Granitoid Pluton, Southern Mongolia. Doklady Earth Sciences. 2023. V. 509. P. 179–185.
2. Belkin H.E., MacDonald R. Zirconium-bearing accessory minerals in UK Paleogene granites: Textural, compositional, and paragenetic relationships. European Journal of Mineralogy. 2021. V. 33. P. 537–570.
3. Lewerentz A., Harlov D.E., Scherstén A., Whitehouse M.J., Baddeleyite formation in zircon by Ca-bearing fluids in silica-saturated systems in nature and experiment: resetting of the U–Pb geochronometer. Contributions to Mineralogy and Petrology. 2019. V. 174. P. 1–25.
4. Nosova A. A., Lebedeva N. M., Vozniak A. A., Sazonova L. V., Kondrashov I. A., Larionova Y. O., Kovalchuk E. V. Fenner Trend and the Role of Fractional Crystallization and Ferrobasaltic Magma Immiscibility in Granophyre Petrogenesis: the Case of the Mesoproterozoic Valaam Sill in the Ladoga Graben, Karelia. Petrology. 2024. V. 32. P. 307-336.
5. Rämö O.T., Mänttäri I., Vaasjoki M., et al. (2001): Age and Significance of Mesoproterozoic CFB Magmatism, Lake Ladoga Region, NW. Russia, in GSA Annual Meeting. Petrology I. Session 57, A-139, Boston: Massachusetts 9.pdf

ПРИРОДА АНТЕКРИСТОВ ОЛИВИНА В ЛАМПРОФИРАХ ТРУБКИ НАМУАЙВ, КОЛЬСКАЯ ЩЕЛОЧНАЯ ПРОВИНЦИЯ

Лебедева Н.М.[1], Носова А.А.[1], Сазонова Л.В.[1,2], Каргин А.В.[1], Шайхутдинова Д.Р.[1,2]*

[1] ИГЕМ РАН, Москва, Россия
[2] Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Москва, Россия
*e-mail: hloantit@gmail.com

Аннотация. В работе описаны оливины с прямой и обратной зональностью (антекристы) из лампрофиров трубки Намуайв, прорывающей Хибинский массив. Высоко-Mg и Ni оливины имеют прямую зональность: ядра имеют Mg# 0,89-0,91, содержание Ni 2501-3265 ppm, края имеют Mg# 0,85-0,91, содержание Ni 433-2590 ppm. Антекристы имеют Mg# в ядре равную 0,85-0,88 и содержание Ni 934-2020 ppm, в краях Mg# 0,85-0,90 и содержание Ni 605-2200 ppm. Рассмотрены и промоделированы несколько путей кристаллизации антекристов: из ранних более эволюционировавших порций расплава, при разных долях карбонатного компонента в нем и метасоматическое преобразование оливинов в составе шпинелевых лерцолитов.

Ключевые слова: трубка взрыва, ультрамафические породы, лампрофиры, оливины

NATURE OF OLIVINE ANTECRYSTS IN LAMPROPHYRES OF THE NAMUAIV PIPE, KOLA ALKALINE PROVINCE

Lebedeva N.N.[1], Nosova A.A. [1], Sazonova L.V. [1,2], Kargin A.V. [1], Shaikhutdinova D.R.[1,2]

[1]IGEM RAS, Moscow, Russia, hloantit@gmail.com
[2]Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

Abstract. The paper describes olivine with direct and reverse zoning (antecrysts) from lamprophyres of the Namuaiv pipe, which penetrates the Khibiny massif. High-Mg and Ni olivines have direct zoning: cores have Mg# 0.89-0.91 and Ni content 2501-3265 ppm, rims have Mg# 0.85-0.91 and Ni content 433-2590 ppm. Antecrysts have Mg# in the core equal to 0.85-0.88 and Ni content 934-2020 ppm, rims have Mg# 0.85-0.90 and Ni content 605-2200 ppm. Several paths of antecrysts crystallisation were considered and modelled: from earlier more evolved portions of the melt, at different fractions of the carbonate component in it and metasomatic transformation of olivines as part of spinel lherzolites.

Keywords: pipe, ultramafic rocks, lamprophyre, olivine

Изучению зональности в оливине посвящено много работ, так как этот минерал является одной из первых кристаллизующихся фаз в ультрамафических породах и несёт важную информацию о составе первичных мантийных расплавов, их источниках и последующей эволюции. Проблема при изучении оливина состоит в том, что процессы кристаллизации, смешения магм, охлаждение и скорость подъема влияют на состав минерала и скрывают его первичные характеристики. Быстрый подъем ультрамафических расплавов позволяет сохранить различные типы зональности в оливинах и рассматривать различные истории роста и диффузии в оливинах. Оливины ультрамафических пород имеют два типа зональности по Mg#: нормальную и обратную. Минералы с обратной зональностью называют антекристами. Их происхождение связывают с кристаллизацией под воздействием более ранних пульсов ультрамафического расплава, который в последствии сформирует трубку или дайку [3], также образование антекристов связывают с кристаллизацией из долгоживущей порции магмы [1].

Породы, слагающие трубку взрыва Намуайв, имеют пирокластическую природу и являются магматической брекчией, состоящей из фрагментов ультрамафических лампрофиров: айликитов и дамтьернитов. Они состоят из вкрапленников оливина и флогопита и карбонат-клинопироксен-флогопитовой основной массы с большим количеством титаномагнетита. Содержание вкрапленников оливина составляет 10-40 % от всех вкрапленников. Состав оливинов определяли в ИГЕМ РАН на электронно-зондовом микроанализаторе JXA-8200 и на кафедре петрологии и вулканологии МГУ на электронно-зондовом микроанализаторе JXA-8230.

В трубке Намуайв по составу центральных частей зерен могут быть выделены несколько генераций оливина. Высоко-Mg и высоко-Ni оливины представлены ксенокристами и оливинами из обломков шпинелевых лерцолитов. Они имеют размеры от первых десятков мкм до 500 мкм. У всех зерен наблюдается ядро и краевая часть. Ядро имеет Mg# 0,89-0,91, содержание Ni варьирует в широких пределах 2501-3265 ppm. В краевых частях Mg# составляет 0,85-0,91, Ni ppm: 433-2590. Часть краевых зон ксенокристов создает на диаграмме Mg#-Ni вогнутый нисходящий тренд, а часть краевых зерен создают выпукло нисходящий тренд (Рисунок 1).

Антекристы встречаются в виде отдельных субидиоморфных кристаллов и в составе ксенолитов: клинопироксен-оливиновых сростках и включений в клинопироксене вместе со шпинелью и флогопитом. Отдельные кристаллы имеют сложную зональность. Ядро составляет от 90 до 30 % зерен, также есть переходная зона и тонкая железистая кайма. Fe ядра имеют Mg# = 0,85-0,88 с широким диапазоном содержаний Ni от 934 до 2020 ppm. Граница ядра с переходной зоной часто неясна, здесь мы не будем рассматривать состав переходной зоны. Кайма имеет Mg# 0,85-0,90 и содержание Ni 605-2200 ppm. По составу совпадает с частью кайм оливинов ксенокристов. Включения оливина в клинопироксене однородные по составу и совпадают с центральной зоной отдельных зерен антекристов (Рисунок 1).

Ядра антекристов лежат на продолжении выпукло нисходящего тренда части краевых частей ксенокристов (Рисунок 1). Нами были промоделированы возможные пути кристаллизации оливина из расплава ультрамафического состава. За стартовый состав были взят реальный состав породы трубки Намуайв с высоким содержанием MgO (15 вес.%) и FeO (11 вес.%) и концентрацией Ni 400 ppm при стартовой температуре 1300ºC. Kd были взяты 0,3 и 0,35 для более карбонатного расплава. Мы предполагаем, что в валовом анализе пород мог быть частично потерян Ni, относительно исходного расплава (например, за счет контаминации коровыми породами), поэтому для одного расчета концентрация была увеличена до 500 ppm. Ядра антекристов лежат на линии кристаллизации оливина, но для того, чтобы получить все наблюдаемые составы, должны были существовать несколько расплавов с различным Mg/Fe отношением, концентрацией Ni и разной долей карбонатного вещества в расплаве.

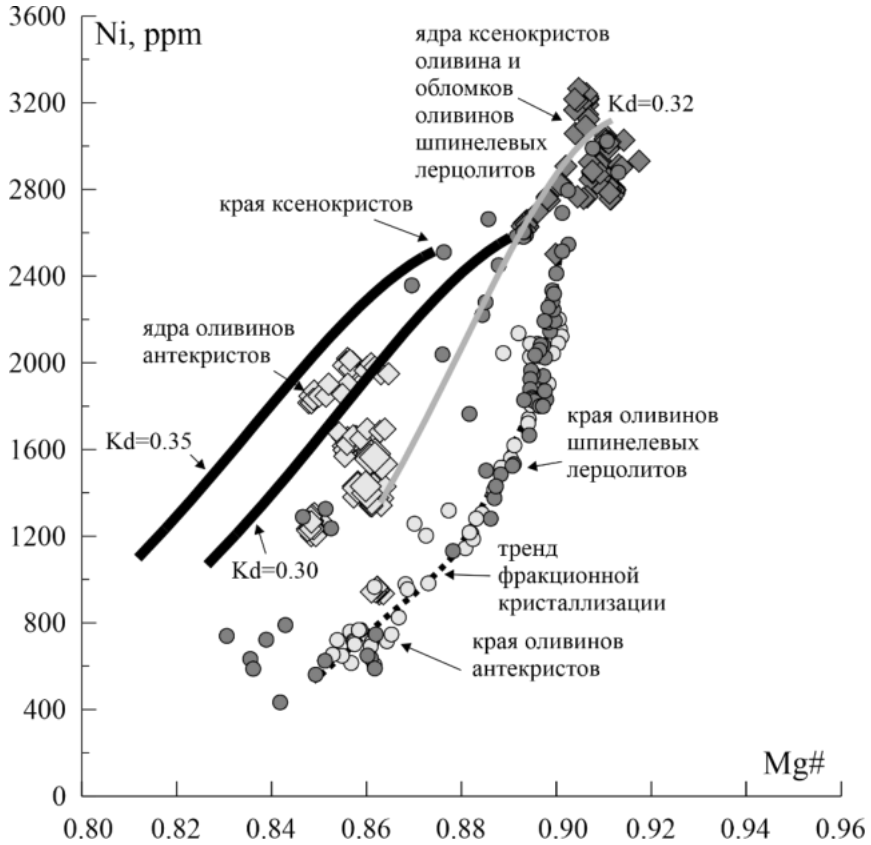

Рисунок 1. Диаграмма Mg#-Ni для ядер и краевых частей ксенокристов оливина и антекристов трубки Намуайв. Пунктирная линия показывает тренд фракционной кристаллизации оливина из расплава, сформировавшего трубку. Черными линиями показаны возможные пути изменения состава оливина по [3] при кристаллизации из расплава с MgO=15 вес.% FeO=11 вес.% при разном Kd $_{Mg/Fe}$ Ol/melt, Ni= 400 ppm. Серая линия показывает кристаллизацию из расплава с MgO=16 вес.% FeO=9 вес.% и содержанием Ni равным 500 ppm.

Альтернативной моделью является образование антекристов при воздействие калиевого-водно-карбонатного расплава на мантийные перидотиты. В этом процессе происходит образование клинопироксена, флогопита и изменяется состав оливина и шпинели. Эту гипотезу подтверждает присутствие округлой формы включений оливина в клинопироксене, слабая зональность по Mg# ядер антекристов.

Вероятнее всего антекристы оливина в породах трубки Намуайв образовались метасоматически по шпинелевым лерцолитам под воздействием ранней порции щелочно-ультрамафического расплава.

Финансирование: Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 23-77-01052.

Список литературы:

1. Bouvet de Maisonneuve C., Costa F., Huber C., Vonlanthen P., Bachmann O., Dungan M.A., How do olivines record magmatic events? Insights from major and trace element zoning. Contrib. to Mineral. Petrol. 2016. V. 171. P. 1–20.
2. Greene S., Jacob D.E., O'Reilly S.Y. Olivine evidence for an ultramafic silicate precursor melt for the Jericho kimberlite (Slave Craton, Canada). Lithos. 2023. P. 438–439.
3. Nosova A.A., Sazonova L. V., Kargin A. V., Smirnova M.D., Lapin A. V., Shcherbakov V.D. Olivine in ultramafic lamprophyres: chemistry, crystallisation, and melt sources of Siberian Pre- and post-trap aillikites. Contrib. to Mineral. Petrol. 2018. V. 173. P. 1–27.

ПРИЗНАКИ ЗЮВИТОВ ДОННОЙ ФАЦИИ (НА ПРИМЕРЕ ОБЛОМОЧНЫХ ИМПАКТИТОВ КАРСКОЙ АСТРОБЛЕМЫ)

Максименко Н.И., Шумилова Т.Г.*

Институт геологии им. академика Н.П. Юшкина ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, Россия
*e-mail: nadiamaximenko@ mail.ru

Аннотация. Обломочные импактиты образуются в условиях аэродинамической и донной фаций импактитогенеза. Зювиты донной фации формируются из материала центробежных потоков, двигавшихся в придонной части метеоритного кратера. В работе представлена геолого-минералогическая характеристика, выяснена специфика образования зювитов донной фации района р. Анарога (Карская астроблема). Определены основные признаки обломочных импактитов донной фации, которые могут быть использованы при фациальной диагностике импактитов других ударных структур.

Ключевые слова: зювит, импактная фация, Карская астроблема, импактитогенез

SIGNS OF SUEVITES OF BOTTOM FACIES (BASED ON EXAMPLE OF THE CLASTIC IMPACTITES OF THE KARA ASTROBLEME)

Maksimenko N.I., Shumilova T.G.*

N.P. Yushkin Institute of Geology Komi Science Centere of RAS, Syktyvkar, Russia
*e-mail: nadiamaximenko@ mail.ru

Abstract. Clastic impactites are resulted under conditions of ejecta and bottom facies of impactite genesis. Suevites of bottom facies are formed from the material of moving centrifugal flows at bottom part of a meteorite crater. The work presents geological and mineralogical characteristics and formation specifics of the bottom facies suevites at the Anaroga River (Kara astrobleme). The main features of clastic impactites of the bottom facies are determined, which can be used in facies diagnostics of impactites in other impact structures.

Keywords: suevite, impact rock facies, Kara astrobleme, impactite genesis

Импактные породы образуются при столкновениях крупных космических тел. Различие условий образования, особенностей мишени и ударника обуславливает широкое разнообразие импактитов. Особым типом импактных пород являются обломочные импактиты (зювиты), которые представляют собой полимиктовые брекчии, сложенные обломками пород, включениями застывшего импактного расплава и цементирующим их матриксом. Образование зювитов до сих пор является предметом дискуссий. Не до конца ясными остаются условия и механизмы формирования этих пород, которые могут быть весьма разнообразны [3, 4], не решены вопросы выделения фаций, систематики и номенклатуры зювитов.

При исследовании импактитов Карской астроблемы мы выяснили, что зювиты этой ударной структуры весьма разнообразны по макроскопическим, петрографическим и петрохимическим особенностям [2, 5]. В результате детального изучения было установлено, что в Карском кратере могут быть выделены как минимум две фации зювитов – донная и аэродинамическая, отличающиеся принципиальными механизмами и условиями образования, имеющие характерные особенности строения и состава [1]. Зювиты донной фации образовались при движении центробежных потоков в придонной части

метеоритного кратера. Они имеют ограниченное распространение и являются специфическими породами, которые по ряду признаков отличаются от «классического» понимания «зювита» [6, 7]. В связи с этим актуальным является детальное рассмотрение данных необычных пород и донной фации зювитов в целом.

Целью работы является характеристика геолого-минералогических особенностей донных зювитов района р. Анарога для выяснения условий образования и определения отличительных признаков донной фации обломочных импактитов. Методы исследования включают исследование макроскопических особенностей пород в коренных выходах и штуфных образцах, оптическую и электронную сканирующую микроскопию.

В районе р. Анарога зювиты донной фации и расплавные импактиты образуют коренной выход протяженностью около 100 м и мощностью до 15 м [1]. Расплавные импактиты (тагамиты) располагаются в юго-западной части обнажения. В северо-восточном направлении массив тагамитов постепенно переходит в маломощное удлиненное тело, которое выклинивается в зювиты. В зювитах отмечаются маломощные линзообразные тела тагамитов. Зювиты характеризуются массивным обликом и слабо выраженной столбчатой отдельностью. Это плотные породы буровато- и зеленовато-серого цвета с низкой пористостью и высоким содержанием импактных стекол удлиненной формы, которые иногда субпараллельно ориентированы. Размер обломков в зювитах составляет от нескольких мм до 20 см (единично до 1,5 м), в среднем – около 3 см.

Литокласты занимают около 20 об. % пород, имеют размеры в шлифах от ~0,1 мм до ~1,5 см и представлены глинистыми алевролитами, алевропесчаниками и песчаниками, аргиллитами, серицит-кварцевыми, кварц-серицитовыми, углеродистыми, хлоритовыми сланцами и алевросланцами, реже известняками и силицитами [2]. Литокласты имеют изометричную и удлиненную, округлую или слабо угловатую форму.

На микроуровне зювиты содержат до ~35 об.% включений застывшего импактного расплава. Импактные стекла имеют светло- и темно-буровато-коричневый цвет, неправильную удлиненную лентообразную и изометричную форму, флюидальную, реже полосчатую, массивную, изредка пористую текстуру. Размеры импактных стекол в шлифах составляют от ~0,1 до ~0,6 и более мм. Очертания импактных стекол неровные, пламеневидные, волнистые, причудливо проникающие в матрицу. Граница витрокластов с матриксом, как правило, нечеткая, спекшаяся.

Матрикс занимает около 50 об. % зювитов, характеризуется желтовато-коричневым и бурым цветом, неоднородным строением, брекчиевой и аутоморфной текстурой. Матрица выполнена тонкодисперсной глинисто-слюдистой массой с включениями застывшего импактного расплава и минеральными кластами. Кристаллокласты представлены альбитом, кварцем, анортоклазом, чейшуйками мусковита, хлорита, включениями кальцита, пирита, титанита, титаномагнетита и углеродистого вещества. Матрикс имеет низкую пористость (первые проценты). Поры изолированного типа, имеют размеры менее 5 мкм и округлую форму. В матриксе отмечаются оплавленные кластыкварца с частично сохраненными угловатыми очертаниями. Включения застывшего импактного расплава в матриксе имеют удлиненную, неправильную, кляксообразную и каплевидную причудливую форму.

Выявленные особенности отражают специфику формирования зювитов. Сложные пространственные взаимоотношения обломочных и расплавных импактитов указывают на интенсивное перемешивание материала при движении донного центробежного потока. Неправильная удлиненная форма, субпараллельная ориентировка, нечеткие, спекшиеся очертания импактных стекол со сложными переходами в матрикс, а также включения

застывшего расплава в матрице свидетельствуют о горячем пластичном состоянии и перемещении расплавных включений вместе с обломочным материалом. Присутствие в матриксе оплавленных кварцевых кластов является признаком проявления локальных температур при формировании зювитов до ~1700°С.

Таким образом, охарактеризованы геолого-минералогические особенности, выявлены условия становления донных зювитов Карской астроблемы, изученных в районе р. Анарога. С учетом результатов проведенных исследований и опубликованных данных в области импактитогенеза к основным признакам зювитов донной фации на макроуровне могут быть отнесены – сложные взаимоотношения с расплавными импактитами, столбчатая отдельность и низкая пористость пород на макроуровне. Основные признаки зювитов донной фации на микроуровне включают относительно высокое содержание импактных стекол; субпараллельную ориентировку, неправильную, удлиненную форму, неровные и нечеткие очертания, флюидальную, полосчатую текстуру импактных стекол; брекчиевую и аутоморфную текстуру матрикса. Выявленные признаки могут быть использованы при изучении фациальных особенностей и установлении фациальной принадлежности обломочных импактитов в других ударных структурах.

Авторы выражают благодарность Е.М. Тропникову за помощь в проведении электронно-микроскопических исследований зювитов, А.Е. Шмырову за техническое содействие.

Финансирование: Работа выполнена в рамках темы НИР ГР № 122040600009-2.

Список литературы:

1. Максименко Н.И., Шумилова Т.Г. Критерии фациального деления зювитов (на примере зювитов Карской астроблемы). Международный научно-исследовательский журнал. 2022. № 10 (124).
2. Максименко Н.И., Шумилова Т.Г., Ковальчук Н.С. Петрологическая характеристика разновидностей зювитов Карской астроблемы (Пай-Хой, Россия). Петрология. 2020. Т. 28. № 6. С. 628–649.
3. Структуры и текстуры взрывных брекчий и импактитов. Ленинград. Недра (М-во геологии СССР. Всесоюз. науч.-исслед. геол. ин-т). Труды, новая серия. Т. 316. 1983. 159 с.
4. Фельдман В.И. Петрология импактитов. Москва. МГУ. 1990. 299 с.
5. Шумилова Т.Г., Ковальчук Н.С., Макеев Б.А. Геохимическая специфика алмазоносных зювитов Карской астроблемы (Пай-Хой). Доклады академии наук. 2019. Т. 486 (2). С. 233–236.
6. Osinski G.R., Grieve R.A.F., Collins G.S., Marion C., Sylvester P. The effect of target lithology on the products of impact melting. Meteoritics & Planetary Science. 2008. Vol. 43. № 12. P. 1939–1954.
7. Stöffler D. Research drilling Nördlingen 1973: Polymict breccias, crater basement, and cratering model of the Ries impact structure. Geologica Bavarica. 1977. 75:443.

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ НИЖНЕКОРОВЫХ КСЕНОЛИТОВ КИМБЕРЛИТОВОЙ ТРУБКИ УДАЧНАЯ-ВОСТОЧНАЯ

Морозова А. С.[1], Аранович Л. Я.[1], Похиленко Л.Н.[2], Варламов Д. А.[3]*

[1]Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, Москва, Россия
[2]Институт геологии и минералогии им В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия
[3]Институт экспериментальной минералогии им. Д. С. Коржинского РАН, Черноголовка, Россия
*e-mail: nastyamor2019@mail.ru

Аннотация. Получены новые данные по валовому составу в отношении главных оксидов и редких элементов пяти образцов нижнекоровых ксенолитов из кимберлитовой трубки Удачная-Восточная. Изучен минеральный состав и составы сосуществующих минералов. Рассчитаны фазовые диаграммы и проведена оценка P-T условий минеральных равновесий в ксенолитах. На диаграмме (Na_2O+K_2O) - SiO_2 состав образцов варьирует от пикробазальта до андезита повышенной щелочности. Спектры REE образцов характеризуются высокими отношениями LREE/HREE и близки к спектрам E-MORB, однако отличаются от них по ряду ключевых геохимических отношений.
Ключевые слова: кимберлит, основные гранулиты, термобарометрия.

GEOCHEMICAL FEATURES AND CONDITIONS OF FORMATION OF LOWER CRUSTAL XENOLITHS OF THE UDACHNAYA-VOSTOCHNAYA KIMBERLITE PIPE

Morozova A. S.[1], Aranovich L. Y.[1], Pokhilenko L.N.[2], Varlamov D. A.[3]*

[1]Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry RAS, Moscow, Russia
[2]V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, Novosibirsk, Russia
[3]D. S. Korzhinskii Institute of Experimental Mineralogy RAS, Chernogolovka, Russia
*e-mail: nastyamor2019@mail.ru

Abstract. New data on the gross composition of the main oxides and rare elements of five samples of lower crustal xenoliths from the Udachnaya-Vostochnaya kimberlite pipe have been obtained. The mineral composition and compositions of coexisting minerals have been studied. Phase diagrams were calculated and the P-T conditions of mineral equilibria in xenoliths were evaluated. In the diagram (Na_2O+K_2O) – SiO_2, the composition of the samples varies from picrobasalt to andesite of increased alkalinity. The REE spectra of the samples are characterized by high LREE/HREE ratios and are close to the E-MORB spectra, but differ from them in a number of key geochemical relationships.
Keywords: kimberlite, mafic granulites, thermobarometry.

Введение. Кимберлитовая трубка Удачная-Восточная (У-В) расположена на севере территории Республики Якутия (Россия), в пределах Далдынского кимберлитового поля. Возраст трубки по данным U-Pb датирования цирконов оценивается 367±3; 367±3; 361±4; 353±5 млн лет [4]. С точки зрения геологической позиции кимберлитовая трубка У-В прорывает карбонатные и терригенно-карбонатные породы венда и кембрия, мощностью 2420-2478 м [2]. Данная кимберлитовая трубка примечательна тем, что содержит большое число как мантийных, так и коровых ксенолитов, которые в незначительной степени подвержены изменению вмещающим кимберлитом. В частности, среди нижнекоровых

ксенолитов преобладающими являются гранатовые гранулиты основного состава, данные по которым и приведены в настоящей работе.

Методы исследования. Изучение прозрачных шлифов осуществлялось с помощью микроскопа Olympus BX-51. Валовые элементные составы пород были получены с использованием XRF анализа, а содержания редких элементов ICP-MS (ИГЕМ РАН). Электронно-зондовый анализ минералов выполнялся на сканирующих электронных микроскопах Tescan VEGA-II XMU с ЭДС приставкой INCA Energy 450 и CamScan MV2300 (VEGA TS 5130MM) с ЭДС приставкой INCA Energy 350 (ИЭМ РАН).

Химический состав пород и минералов. Согласно рентген-флуоресцентному анализу содержания SiO_2 гранатовых гранулитов и гнейсов варьирует от 42,56 до 51,94 мас.%., MgO от 7,10 до 11,44 мас.%, CaO от 6,22 до 12,89 мас.%, сумма щелочей (Na_2O+K_2O) от 2,39 до 6,11 мас.%, TiO_2 0,50-2,23 мас.%. Оценка на основе дискриминантной функции, предложенной С.Д. Великославинским и др. [1], с большой вероятностью указывает на принадлежность образцов 392-08 и 573-12 к парапородам. Графики распределения REE для ортопород (225/13, 512/12, 585/12) демонстрируют высокие отношения LREE/HREE, что делает их близкими к спектрам E-MORB. Однако они отличаются от E-MORB по некоторым другим геохимическим параметрам.

Сквозными породообразующими минералами являются гранат (Гр), клинопироксен (Кп) и плагиоклаз (последний отсутствует лишь в обр. 585/12). В одном из образцов (573/12) присутствует скаполит. Второстепенные фазы представлены амфиболом (обр. 512/12, 573/12), слюдой (обр. 573/12, 585/12), ортопироксеном (Оп; обр. 225/13). Акцессорные минералы включают ильменит, рутил, апатит, эпидот и сульфиды железа. К вторичным изменениям относится образование калий-натрового полевого шпата по плагиоклазу (обр. 392/08). Структура образцов лепидогранобластовая, иногда с гнездовидными обособлениями Гр и клинопироксена Кп. Реакционные структуры практически отсутствуют, за исключением ламелей Гр (585/12) и Оп (225/13) в Кп и развития К-полевого шпата по плагиоклазу в обр. (392/08).

Гранат по составу относится к пироп-альмандиновому ряду с небольшой зональностью по содержанию CaO и FeO от центра к краю. *Клинопироксен* имеет довольно широкий диапазон значений Fe# (0,14-0,8), Na_2O (0,81-3,26 мас.%), Al_2O_3 (3,52-7,96 мас.%). В образцах 392/08 и 585/12 образует 2 генерации. В *плагиоклазе* отмечается содержание An молекулы 38,39-41,88% (обр. 225/13, 512/12, 573/12, 585/12) и 15,36% (обр.392/08). *Скаполит* по составу относится к сульфат- миззониту. *Амфибол* является паргаситом и имеет Mg# 0,58-0,67. *Слюды* характеризуются переменными содержаниями MgO 10,24 и 20,42 мас.%, TiO_2 9,70 и 3,98 мас.%, F 0,38 и 2,57 мас.% (обр. 573/12 и 585/12, соответственно).

Оценка P-T параметров. Определение параметров метаморфизма изучаемых гранулитов было проведено методом построения линий моновариантных равновесий (метод TWEEQU - «Thermobarometry With Estimation of Equilibrium state») в программном комплексе TWQ с использованием базы термодинамических данных по [3]. Для образцов с отчетливо выраженной зональностью прослеживается тренд метаморфизма. Для центральных частей минералов пересечение линий равновесия соответствует T=890°C и P=12,4 кбар, в то время как для краевых зон пересечение соответствует T=740°C и P=4,2 кбар. Близкие оценки температуры по составу краевых зон сосуществующих минералов

получены в [6]. Эти оценки отражают эволюцию условий метаморфизма изученных образцов, связанную с эксгумацией.

Выводы.

- Исходя из химических составов пород изученных образцов, предполагается, что протолитами были как изверженные, так и осадочные породы.
- P-T параметры, записанные в минеральных ассоциациях гранатовых гранулитов и гнейсов, соответствуют пику метаморфизма ~890°C/12,4 кбар (оценки по составу центральных участков породообразующих минералов) и регрессивному этапу ~740°C/4,2 кбар (по краевым зонам), т.е., характеризуют тренд метаморфической эволюции, часто наблюдаемый в комплексах гранулитовой фации метаморфизма (например, [5]).

Финансирование: Работа выполнена в рамках государственного задания ИГЕМ РАН.

Список литературы

1. Великославинский С. Д., Глебовицкий В. А., Крылов Д. П. Разделение силикатных осадочных и магматических пород по содержанию петрогенных элементов с помощью дискриминантного анализа. ДАН. 2013. Т. 453. № 3. С. 310-313.
2. Янников А. М. Перспективы использования многолетнемерзлых пород Далдынского кимберлитового поля для закачки дренажных вод трубок Зарница и Удачная. Геоэкология. 2023. Т. 2. №2. С. 43-55.
3. Berman R.G., Aranovich L.Y. Optimized standard state and solution properties of minerals. I. Model calibration for olivine, orthopyroxene, cordierite, garnet, and ilmenite in the system FeO-MgO-CaO-Al_2O_3-TiO_2-SiO_2. Contrib Mineral Petrol .1996. V. 126. P. 1–24.
4. Kinny P. D., Griffin B. J., Heaman L. M., Brakhfogel F. F., Spetsius Z. V. SHRIMP U–Pb ages of perovskite from Yakutian kimberlites, Proceedings of Sixth International Kimberlite Conference, V. 1: Kimberlites, Related Rocks, and Mantle Xenoliths. Russian Geology and Geophysics. 1997. V. 38. P. 97-105.
5. Perchuk L.L., Aranovich L.Y., Podlesskii K.K. et al. Precambrian granulites of the Aldan shield, eastern Siberia, USSR. Journal of metamorphic Geology. 1985. V. 3. P. 265-310.
6. Perchuk A. L., Sapegina A. V., Safonov O. G. et al. Reduced amphibolite facies conditions in the Precambrian continental crust of the Siberian craton recorded by mafic granulite xenoliths from the Udachnaya kimberlite pipe, Yakutia. Precambrian Research. 2021. V. 357. P. 106-122.

НОВЫЕ ДАННЫЕ О ВОЗРАСТЕ И ВЕЩЕСТВЕННОМ СОСТАВЕ УРУЛЬГИНСКОГО КОМПЛЕКСА АРГУНСКОГО ТЕРРЕЙНА (ВОСТОЧНОЕ ЗАБАЙКАЛЬЕ)

Нарыжнова А.В., Крук Н.Н.*

Институт геологии и минералогии им В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия
*e-mail: naryzhnovav@igm.nsc.ru

Аннотация. В работе представлены новые данные о возрасте и вещественном составе урульгинского метаморфического комплекса (Восточное Забайкалье). Установлено, что породы «раннепротерозойского» урульгинского комплекса соответствуют низкотитанистым толеитовым базальтам островных дуг и высокотитанистым толеитовым внутриплитным базальтам, кремнистым и терригенным осадкам с небольшим количеством карбонатов, а также вулканическим породам кислого состава. Возраст формирования осадочных толщ – не древнее неопротерозоя (698 млн лет). Можно предполагать, что изученная ассоциация пород является фрагментом неопротерозойского аккреционного клина.

Ключевые слова: урульгинский комплекс, Аргунский террейн, Восточное Забайкалье, U-Pb датирование

NEW DATA ON THE AGE AND COMPOSITION OF THE URULGA COMPLEX OF THE ARGUN TERRANE (EASTERN TRANSBAIKALIA)

Naryzhnova A.V., Kruk N.N.*

V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, Novosibirsk, Russia
*e-mail: naryzhnovav@igm.nsc.ru

Abstract. The paper deals with new data on the age and composition of the Urulga metamorphic complex (Eastern Transbaikalia). It was found that the rocks of the «Early Proterozoic» Urulga complex correspond to low-titanium tholeiitic basalts of island arcs and high-titanium tholeiitic intraplate basalts, siliceous and terrigenous sediments with a small amount of carbonates, as well as felsic volcanic rocks. The age of formation of sedimentary strata is not older than the Neoproterozoic (698 Ma). It can be assumed that the studied rock association is a fragment of a Neoproterozoic accretion wedge.

Keywords: Urulga complex, Argun terrane, Eastern Transbaikalia, U-Pb dating

Аргунский террейн является краевой частью Амурского микроконтинента. Традиционно в его строении выделяются докембрийский фундамент, который в значительной степени перекрыт фанерозойскими отложениями. Наиболее древние образования террейна представлены условно раннепротерозойскими интрузиями габбрового (чонгульский комплекс) и гранодиорит-гранитного (урюмканский комплекс) составов, а также метаморфическими комплексами гранулитовой и амфиболитовой фаций (ишагинский и урульгинский) [3]. Однако, проведенные в последние годы геохронологические исследования Аргунского террейна, указывают на более молодой возраст большинства перечисленных комплексов. Так, в результате изотопного датирования гнейсов ишагинской свиты был получен неопротерозойский возраст цирконов (808-780 млн лет) [1]. По данным [2] возраст пород урюмканского комплекса составляет 778 млн лет. U-Pb датирование цирконов из габброидов чонгульского комплекса показало раннеордовикский возраст пород (448 млн лет) [4]. На данный момент наименее

изученными остаются метаморфические породы урульгинского комплекса, которые и являются объектом настоящего исследования.

Урульгинский метаморфический комплекс имеет широкое распространение в западной части Аргунского террейна. Комплекс разделен на два подкомплекса: амфиболитовый и гнейсовый. Амфиболитовый подкомплекс представлен чередованием амфиболитов с прослоями серицит-кварцевых сланцев, реже кварцитов и мраморов. Изученные *амфиболиты* характеризуются небольшими вариациями SiO_2 (44-50 мас.%) и значительными вариациями K_2O (0,49-1,36 мас.%). По содержанию TiO_2 выделяется две разновидности: низкотитанистые (0,55-1,81 мас.%) и высокотитанистые (2,1-3,9 мас.%). Первая разновидность характеризуется пониженными концентрациями P_2O_5, ∑REE, HFSE, для второй характерны повышенные концентрации перечисленных элементов. Протолитами амфиболитов являлись низкотитанистые толеитовые базальты островных дуг и высокотитанистые внутриплитные базальты (близкие к OIB типу). Среди метаморфизованных пород гнейсового подкомплекса уверенно диагностируются *высокоглиноземистые метапелиты (гранат-биотитовые- и гранат-силлиманит-кордиерит-биотитовые гнейсы).* Эти породы характеризуются повышенным содержанием Al_2O_3 (16,3-18,7 мас.%), небольшим обогащением LREE и слабовыраженными Eu-аномалиями (0,51-0,78). Согласно классификации М. Херрона [6], составы этих пород соответствуют глинистым сланцам. Также в подкомплексе присутствуют *биотитовые гнейсы*, которые представлены двумя типами: первые образовались по осадочным протолитам (индекс DF для них составляет <0, отношение P_2O_5/TiO_2 <0,18), а вторые возникли в результате метаморфизма вулканических пород кислого состава нормального и умеренно-щелочного ряда (SiO_2 от 65 до 73 мас. %, N_2O+K_2O от 5,16 до 8,86 мас. %, DF>0, P_2O_5/TiO_2> 0,25). Согласно классификации, М. Херрона [6], протолитом для первого типа биотитовых гнейсов являлись граувакки. *Милонитизированные гранитоиды и гранитогнейсы* (SiO_2=70-75 мас. %), отобранные в поле распространения пород гнейсового подкомплекса, соответствуют гранитоидам нормального и умеренно-щелочного рядов. Содержания Zr, Y, Nb, Ta и Hf в породах крайне высокое и в среднем составляет 782 г/т, содержания РЗЭ варьируют от 279 до 355 г/т, спектры распределения РЗЭ слабонаклонные (среднее La/Yb_n составляет 5,6) с выраженными Eu-аномалиями ($Eu/Eu^*_{ср.знач.}$=0.41). На мультиэлементных спектрах наблюдаются Ba-, Sr- и Ti-минимумы. По своим характеристикам гранитоиды близки к А-типу.

Единственные оценки возраста урульгинского комплекса, полученные Rb-Sr методом по амфиболитам, составили 1294±100 и 1497±45 млн лет [5]. Нами были проведены дополнительные U-Pb датирования цирконов из милонитов, гранитогнейсов и гранат-биотитовых гнейсов. *Цирконы из милонитов и гранитогнейсов*, отобранных на левом берегу р. Шилки в районе с. Апрелково (51°51’49.9” N, 116°21’1.76” E), представлены однотипными идиоморфными кристаллами с четкими гранями призм и дипирамид, в катодолюминесценции видна тонкая осцилляторная зональность. В единичных зернах присутствуют оплавленные ядерные части, однако возраст в этих точках не отличается от других полученных возрастов. Th/U значения варьируют от 0,42 до 1,43. Перечисленные характеристики позволяют отнести цирконы к типичным магматическим. Датирование цирконов показало близкие возраста: 432,8±1,8 (СКВО=0,82, вероятность конкордантности=0,37) для милонитов и 437,1±2,4 (СКВО=1,5, вероятность конкордантности=0,23) млн лет для гранитогнейсов. *Цирконы из гранат-биотитовых гнейсов*, отобранных в районе д. Малый Тонтой (51°20’12.01” N, 117°47’49.06” E)

характеризуются округлыми гранями. На катодолюминесцентных изображениях цирконы отличаются друг от друга по зональности, наличию/отсутствию оплавленных ядер. Th/U отношения варьируют от 0,04 до 2,46 (среднее 0,65). Конкордантный возраст был получен для 81 аналитической точки. Главные возрастные пики отвечают возрастам 897 (38 %), 834 (37 %) и 698 (10 %) млн лет. Некоторые ядра имеют более древний возраст: 1442, 1809, 1950 и 2865 млн лет.

По своему вещественному составу породы «раннепротерозойского» урульгинского комплекса соответствуют низкотитанистым толеитовым базальтам островных дуг и высокотитанистым толеитовым внутриплитным базальтам (близким к OIB типу), кремнистым осадкам с небольшим количеством карбонатов, вулканическим породам кислого состава, а также терригенным осадкам. Учитывая различный возраст формирования пород, можно полагать, что все они являются составными частями аккреционного клина, возникшего на территории современной западной окраины Аргунского террейна.

К сожалению, проведенные исследования не позволили установить достоверный возраст метаморфизма. Формирование осадочного протолита (гранат-биотитовый гнейс) завершилось не ранее 698 млн лет, что соответствует неопротерозою. Раннесилурийские анорогенные гранитоиды по предварительным данным, являются постметаморфическими, а их степень тектонической переработки связана с более поздним событием. Таким образом, возраст метаморфизма пород урульгинского комплекса может быть оценен как неопротерозойский-раннепалеозойский.

Финансирование: работа выполнена в рамках государственного задания ИГМ СО РАН (№ 122041400044-2).

Список литературы:

1. Голубев В.Н., Чернышев И.В., Котов А.Б., Сальникова Е.Б., Гольцман Ю.В., Баирова Э.Д., Яковлева С.З. Стрельцовский урановорудный район: изотопно-геохронологическая (U-Pb, Rb-Sr и Sm-Nd) характеристика гранитоидов и их место в истории формирования урановых месторождений. Геология рудных месторождений. 2010. Т. 52. № 6. С. 553–571.
2. Гордиенко И.В., Метелкин Д.В., Ветлужских Л.И. Строение Монголо-Охотского складчатого пояса и проблема выделения Амурского микроконтинента. Геология и геофизика. 2019. Т. 60. № 3. С. 318–341.
3. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1000000 (третье поколение). Лист М-50 – Борзя. Объяснительная записка. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ. 2010. 553 с.
4. Лыхин Д.А., Пресняков С.Л., Некрасов Г.Е., Руженцев С.В., Голионко Б.Г., Балашова Ю.С. Вопросы геолинамики области сочленения Агинской и Аргунской зон Забайкалья (данные U-Pb SHRIMP-датирования пород Цогульского габбро-плагиогранитного массива). Доклады Академии наук. 2007. Т. 417. № 5. С. 668–672
5. Павлова В.В., Амантов В.А., Окунева Т.М. Усовершенствование схем расчленения и корреляция стратифицированных, магматических образований для опорной легенды Госгеолкарты-200 и составление тектонических карт Восточно-Забайкальского полигона. Т. 1–4. 1994.
6. Herron M.M. Geochemical classification of terrigenous sands and shales from core or log data. Journal of Sedimentary Research. 1988. V. 58. P. 820–829.

ПРИРОДА МАГМАКЛАСТОВ В МОНЧИКИТАХ ТРУБКИ ВЗРЫВА НАМУАЙВ (КОЛЬСКАЯ ЩЕЛОЧНАЯ ПРОВИНЦИЯ)

Шайхутдинова Д.Р.[1,2], Лебедева Н.М.[1], Сазонова Л.В.[1,2], Каргин А.В. [1], Носова А.А.[1]*

[1] ИГЕМ РАН, Москва, Россия
[2] Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Москва, Россия
*e-mail: darina.shai.petrol@gmail.com

Аннотация. Трубка взрыва Намуайв (363 ± 3 млн лет; [1]) прорывает породы Хибинского массива (377± 3 млн лет) в его северной части. Детальные петрографические исследования показали, что брекчия, слагающая трубку, сформировалась в результате нескольких взрывных событий при участии двух разных щелочных магм: айликитовой и мончикитовой. Этой работой освещены петрографические особенности более позднего мончикита с точки зрения процессов, протекавших во время образования трубки.

Ключевые слова: щелочной магматизм, трубка взрыва, Хибинский массив

THE NATURE OF MAGMACLASTS IN MONCHIQUITES OF NAMUIVE PIPE (KOLA ALKILINE PROVINCE)

Shaikhutdinova D.R.[1,2], Lebedeva N.M..[1], Sazonova L.V.[1,2], Kargin A.V. [1], Nosova A.A.[1]*

[1]IGEM RAS, Moscow, Russia, darina.shai.petrol@gmail.com
[2]Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

Abstract. The Namuaive pipe (363 ± 3 Ma; [1]) erupted the alkaline rocks of the north part Khibiny massif (377± 3 Ma). The detailed petrographical studied suggested, that the pipe breccia was formed during some explosive events, emboding two portions of alkaline melts texturally and mineralogically close to aillikite and monchiquite. Latest portion of monchiquite magma represents matrix for earlier fragmented aillikite magma. Wide range of microstructures in both magmas can give us a key to understanding processes these rocks came around. This work lights up petrographical properties of monchiquite in Namuive pipe in its genetical aspect.

Keywords: alkaline magmatism, pipe, Khibina massif

В литературе обсуждаются новые подходы к изучению петрографии щелочно-ультрамафических пород [2,3]. Систематическое описание основных обособлений в породах позволит улучшить классификацию и интерпретировать их происхождение. По классификации, предложенной [2] магмакласты – это фрагменты затвердевшей магмы сферической формы. Магмакласты образуются в результате процессов жидкостной фрагментации/сегрегации. Магмакласты объединяют пирокласты (флюидная фрагментация расплава в результате взрывных процессов) и расплавные (магматические) сегрегации, возникающие в расплавах с низкой вязкостью, высоким содержание летучих компонентов (например, в кимберлитовых магмах) [3].

Мы рассмотрели две разновидности расплавных сегрегаций – возникающих 1) в результате ликвации (тип А, Рисунок 1б) и 2) в результате аккреции (тип Б, В, Рисунок 1в, г) расплавного материала вокруг некого ядра. Из-за высокого содержания флюида в текущем расплаве при аккреции возникает момент вращения и кристаллизация материала по сферическим «орбитам». Вращательный момент в газово-жидкой среде (в процессе

движения расплава и многочисленных взрывных моментов в нем) может приводить к сферическим обособлениям и без наличия твёрдой «затравки».

Магматические сегрегации (тип А, Рисунок 1б) сложены главным образом лейстами флогопита, интерстиции между которыми выполнены содалитом, кальцитом, гаюином и высокотитанистым гранатом. Кристаллы Ti-магнетита рассеяны в виде мелкой вкрапленности в периферической зоне глобулей. По краю глобули могут быть очерчены каймой из идиоморфных кристаллов клинопироксена, расположенных концентрически. Флогопит из сегрегаций склонен давать повышенные содержания BaO и F по сравнению с флогопитом других магмакластов и основной массы.

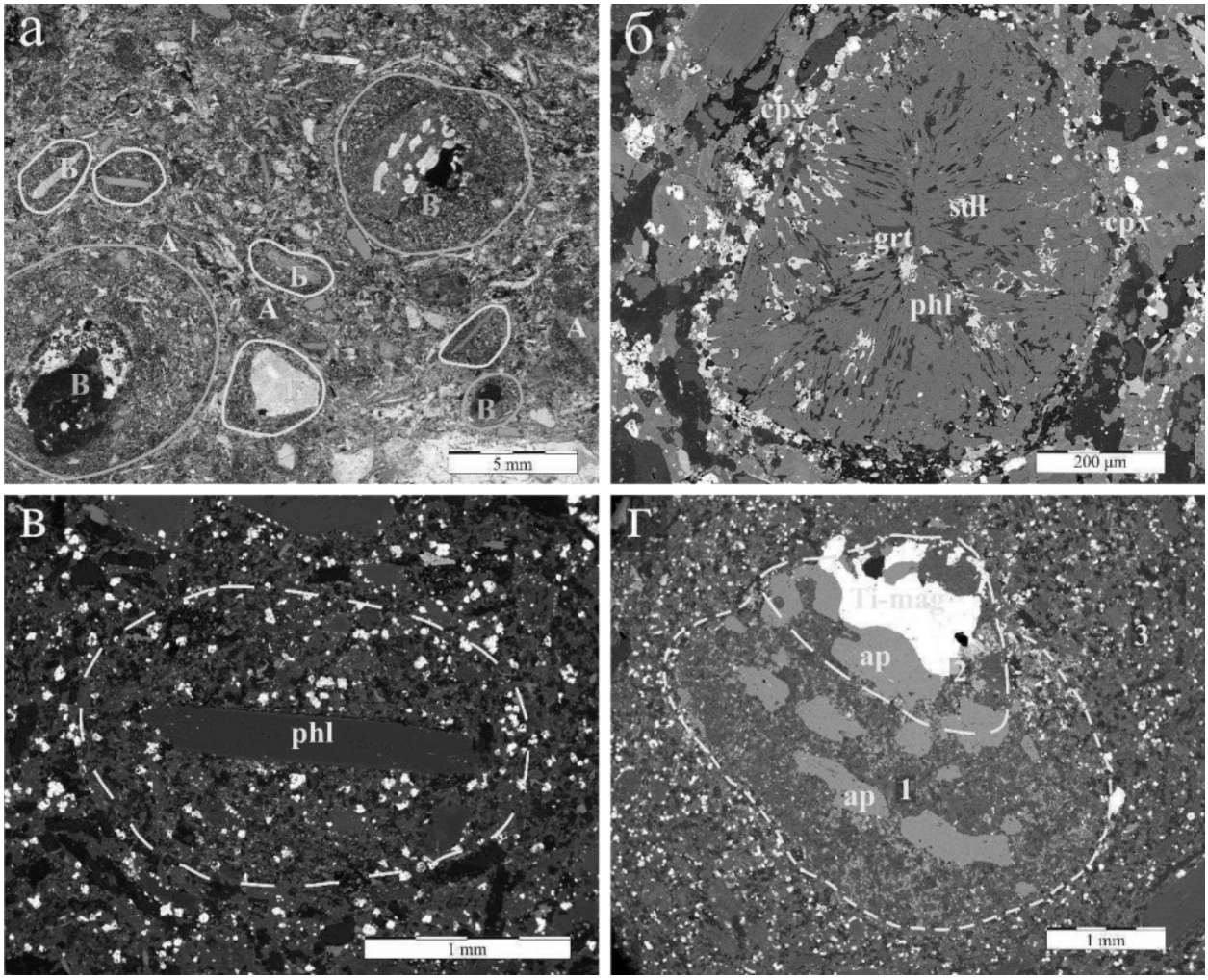

Рисунок 1. Текстурно-структурные особенности и минеральный состав магмакластов разных типов в мончиките: а – общее положение магмакластов в породе, строение: б – магмакласта типа А, в – магмакласта типа Б, г – магмакласта типа В (1 - внутренняя часть ядра, 2 - дугообразное обрамление ядра, часть мончикитовой магмы, 3 - концентрически закрученной вокруг ядра). Фото в проходящем свете (а), в отражённых электронах (б-г); phl - флогопит, grt - гранат, sdl - содалит, cpx - клинопироксен, Ti-mag – Ti-магнетит.

Тип Б и В – магмакласты со сферической аккреционной текстурой. Внутри них расположено крупное ядро, окружённое оболочкой мончикита, более микрозернистого, чем мончикит матрикса. Минералогически основная масса магмакласта не отличима от окружающего мочикита, но флогопит встретить в матриксе практически невозможно. Главным различием для двух типов магмакласта является состав ядра. Магмакласты типа Б в размерах достигают 5 мм и в качестве ядра содержат макрокристы флогопита и нефелина

(Рисунок 1 а, в). Ядра магмакластов типа В достигают 5 мм в диаметре имеют более сложное строение: преобладающую часть занимает нодуль (Рисунок 1г – зона 1), содержащий в микрокристаллической концентрически ориентированной матрице реликтовые кристаллы апатита и титаномагнетита обломочной, местами оплавленной формы. Матрица состоит из флогопита, нефелина, титаномагнетита, кальцита и высокотитанистого граната. Внутренний нодуль имеет выпуклое дугообразное обрамление (Рисунок 1г- зона 2) – четкое или размытое, сложенное крупными, угловатыми зернами апатита, большим количеством перовскита, клинопироксеном, гранатом, карбонатом и небольшим количеством гаюина. Кристаллы основной массы магмакласта облекают ядро, подчёркивая общее закручивание всех элементов строения магмакласта.

Нами было показано, что при внедрении более позднего и флюидонасыщенного мончикита за счёт захвата ранних фаз возникают центры аккреционной кристаллизации. В случае магмакластов Б-типа затравка образует вокруг себя слой материала, бедного летучими, т.к. они оказываются «отогнаны» вращением в межмагмакластовое пространство. Пересыщенный в этих местах флюидом мончикитовый расплав ликвирует с последующей кристаллизацией магмакластов А-типа. В случае же вращения вогнуто-ассиметричного элемента интенсивной отгонки летучих не происходит и они, напротив, могут концентрироваться в магмакластах В-типа относительно окружающего мончикита.

Финансирование: Работа поддержана из средств гранта РНФ № 23-77-01052.

Список литературы:

1. Arzamastsev A.A., Belyatsky B.V., Travin A.V. et al. Dyke rocks in the Khibiny massif: relation to plutonic series, age, and characterization of mantle sources. Petrology. 2005. V.42. N3. P.1-23.
2. Glossary of Kimberlite and Related Terms. Published by Scott-Smith Petrology Inc., North Vancouver, BC, Canada. 2018. Part 1-144 pp; Part 2-59 pp; Part 3-56 pp.
3. Webb K., Hetman C.. Magmaclasts in kimberlite. Lithos. 2021. V. 396–397

СРЕДНЕКЕМБРИЙСКИЕ ГАББРО-МОНЦОДИОРИТОВЫЕ МАССИВЫ КОЛЛИЗИОННОГО ЭТАПА РАЗВИТИЯ СТРУКТУР ОЗЕРНОЙ ЗОНЫ (ЗАПАДНАЯ МОНГОЛИЯ)

Шелепов Я.Ю.[1,2*], *Шелепаев Р.А.*[1,2]

[1]Институт геологии и минералогии им В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия
[2] Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия
*e-mail: shelepov@igm.nsc.ru

Аннотация. Изучены раннепалеозойские габбро-монцодиоритовые дифференцированные массивы Монгольского Алтая (Морьт-Ула, Бэгэрский и Битуутский), проявившиеся на коллизионном этапе развития структур Озерной зоны. Установлено их синхронное проявление в диапазоне 500-505 млн лет и близкий состав: повышенная щелочность, фракционированные спектры REE, обогащение K, Ba и Sr и обеднение Nb, Ta, εNd (503 млн лет) +6,8…+8,4.

Ключевые слова: габбро-монцодиоритовые массивы, среднекембрийский магматизм, Монгольский Алтай

MIDDLE CAMBRIAN GABBRO-MONZODIORITE MASSIFS OF THE COLLISIONAL STAGE OF DEVELOPMENT OF THE LAKE ZONE STRUCTURES (WESTERN MONGOLIA)

Shelepov Y.Y.[1,2], *Shelepaev R.A.*[1,2]

[1]V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, Novosibirsk, Russia
[2]Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia, shelepov@igm.nsc.ru

Abstract. Were studied the Early Paleozoic gabbro-monzodiorite differentiated massifs of the Mongolian Altai (Mort-Ula, Biger and Bituut), which appeared at the collisional stage of development of the structures of the Lake zone. Their synchronous manifestation in the age range of 500-505 Ma and similar composition have been established: subalkaline composition, fractionated REE spectra, enrichment in K, Ba and Sr and depletion in Nb, Ta, εNd (503 Ma) +6.8 - +8.4.

Keywords: gabbro-monzodiorite intrusions, Middle Cambrian magmatism, Mongolian Altai

В данной работе изучен базитовый магматизм коллизионного этапа развития структур Озерного террейна, который относятся к габбро-монцодиоритовому формационному типу. К этим объектам относятся габбро-монцодиоритовые массивы, расположенные в хр. Монгольский Алтай: Морьт-Ула (к востоку от сомона Эрдэнэбурен), Бэгэрский и Битуутский (к югу и западу от сомона Бэгэр). Массив Морьт-Ула характеризуется двумя этапами мантийного магматизма – среднекембрийским габбро-монцодиоритовым и раннедевонским габброидным [7]. В данной работе будет рассмотрена только среднекембрийская ассоциация.

Массив Морь-Ула состоит из серии пород габброиды – монцодиориты, первые из которых, преимущественно, встречаются в виде ксеноблоков в последних. Общая площадь габбро-монцодиоритовой ассоциации составляет около 7 км^2. Вмещающие представлены вулканогенными и вулканогенно-осадочными отложениями нижнекембрийской ичитуинской свиты [2]. Массивные биотитовые оливиновые габбро и габбронориты ксеноблоков обладают порфировидной структурой и породообразующими минералами: Ol 10-20 об.%, Pl 40-60 об.%, Cpx 10-30 об.%, Opx до 10 об.%, Bt 5-10 об.%, Amp до 7 об.%;

рудные минералы 2-5 об.%. В некоторых породах установлен K-Na-полевой шпат, и они классифицируются как монцогаббро. В северных фрагментах этого интрузива установлены расслоенные габброиды, которые характеризуются кумулятивной структурой и широкими вариациями породообразующих минералов. Для монцодиоритов характерны массивная текстура и среднезернистая монцонитовая структура. Породообразующие минералы: Pl 40-50 об.%, Cpx 10-15 об.%, Bt 5-10 об.%, Amp 10-12 об.%, Fsp 10-20 об.%, Qz 3-10 об.%; рудные минералы 2-5 об.%; акцессорные: Ap и Zrn.

Бэгэрский массив занимает площадь около 100 км^2, его главный объем слагают двупироксеновые, (кварцевые) диориты и монцодиориты. Вмещающие породы представлены раннепалеозойской толщей известняков, гравелитов с силлами долеритов. На контакте монцодиоритов с вмещающим породами возникают гранатовые и везувиан-гранатовые скарны [3]. В Битуутском массиве установлены габброиды с элементами дифференцированности, которые встречены в виде ксеноблока в мелкозернистых двупироксеновых монцодиоритах. Массив находится среди перекрывающих его верхнеюрско-нижнемеловых галечников и конгломератов [1]. Общая площадь массива составляет около 1 км^2. Вероятно, Бэгэрский и Битуутский массивы относятся к единому габбро-монцодиоритовому плутону [3]. Неизмененные габброиды Битуутского массива представлены оливиновыми мезогаббронoритами с габброофитовой структурой. Породообразующие минералы: Ol 5-10 об.%, Pl 45-60 об.%, Cpx 15-20 об.%, Opx 20-25 об.%, Bt 3-5 об.%, Qz до 3 об.%; рудные минералы 4-5 об.%; акцессорные: Ap. Диориты и монцодиориты в Бэгэрском и Битуутском массиве имеют близкий состав. Для характерны средне- и мелкозернистая гипидиоморфная структура и следующие породообразующие минералы: Pl 70-85 об.%, Cpx до 12 об.%, Opx до 7 об.%, Bt 5-10 об.%, Amp 5-15 об.%, Fsp до 10 об.%, Qz 3-12 об.%; рудные минералы 2-4 об.%; акцессорные: Ap и Zrn.

Возраст габброидов массива Морьт-Ула 503,1±3,7 млн лет (Ar-Ar методом по биотиту, ИГМ СО РАН), монцодиоритов 501,6±3,8 и 505±3,4 млн лет (U-Pb методом по циркону, LA-ICP-MS, ИГМ СО РАН). Для диоритов Битуутского и Бэгэрского массивов U-Pb методом (циркон, SHRIMP, Санкт-Петербург) получен возраст 504±4,4 и 500,9±5,7 млн лет, соответственно, что совпадает с возрастом пород массива Морьт-Ула.

Породы массива Морьт-Ула (массивные габбро, монцогаббро и монцодиориты) на бинарных диаграммах образуют единые тренды: при увеличении SiO_2, в них происходит снижение MgO, CaO, увеличение Na_2O+K_2O. Содержания Al_2O_3, P_2O_5 и TiO_2 максимальны в монцогаббро и снижаются в меньшей степени к монцодиоритам, и в большей степени к оливиновым габбро. Близкими трендами характеризуются породы Бэгэрского и Битуутского массивов: при увеличении SiO_2 в них происходит снижение MgO, CaO, увеличение Na_2O+K_2O, но, в отличии от пород массива Морьт-Ула, для них характерны более низкие содержания K_2O и высокие Na_2O, из-за чего, породы массива Морьт-Ула попадают в среднекалиевую серию, а Бэгэрского и Битуутского – в средненатровую.

Массивные габброиды и двупироксеновые диориты изученных интрузивов имеют однотипные фракционированные спектры РЗЭ, нормированные на хондрит CI [9], с умеренными $(La/Yb)_n$ (2,2-5) и $(Gd/Yb)_n$ (1,2-2) отношениями без аномалий по Eu. Суммарное содержание РЗЭ - 29-81 ppm. Монцодиориты имеют фракционированные спектры РЗЭ с повышенными $(La/Yb)_n$ (4,8-9) и $(Gd/Yb)_n$ (1,5-2,2) отношениями без аномалии по Eu. Суммарное содержание РЗЭ - 77 – 106 ppm. Мультиэлементные спектры, нормированные по примитивной мантии [10], характеризуются общими чертами: на них

присутствуют максимумы по K, Ba и Sr и минимумы по Nb, Ta, указывающие на участие в магмогенерации надсубдукционного типа мантийного источника.

Породы изученных массивов характеризуются близким изотопным составом Nd. Для габброидов массива Морьт-Ула значения ε_{Nd} (503 млн лет) составляют +7,2…+8,4 ($^{147}Sm/^{144}Nd$ 0,17-0,18), для монцодиоритов - +7,1…+7,3 ($^{147}Sm/^{144}Nd$ 0,13-0,14). Двупироксеновые диориты и монцодиориты Битуутского и Бэгэрского массивов характеризуются значениями ε_{Nd}(503 млн лет) +6,8 - +7,9 ($^{147}Sm/^{144}Nd$ 0,13-0,15), что отражает сильно-деплетированный мантийный источник.

Таким образом изученные массивы Морьт-Ула, Бэгэрский и Битуутский можно отнести к одному дифференцированному габбро-монцодиоритовому среднекембрийскому комплексу, сопоставимому по возрасту с коллизионными Хайрханским дунит-троктолит-габбровым массивом Озерной зоны [6] и Урэгнурской вулканоплутонической пикрит-базальтовой ассоциацией Монгольского Алтая [4], а также близкому по возрасту к габбро-монцодиоритовым массивам коллизионного этапа Западного Сангилена: Баянкольскому и Эрзинскому массивам с возрастом 490 млн лет [6]. Проявление субщелочного и щелочного мантийного магматизма на коллизионном этапе в ЦАСП обычно связывается с участием обогащенных мантийных источников (мантийных плюмов) в области магмогенерации, которые воздействовали на литосферные блоки участвующие в строении Озерной зоны и сопредельных территорий на протяжении венда-раннего палеозоя [4,8].

Финансирование: Работа выполнена по госзаданию ИГМ СО РАН (№122041400044-2).

Список литературы

1. Геологическая карта МНР. Масштаб 1:10 000. Лист L-47-74-Г (участок Битуут). 1987 г.
2. Геологическая карта МНР. Масштаб 1:50 000. Лист M-46-124-B. 1990 г.
3. Изох А.Э., Поляков Г.В., Кривенко А.П., Богнибов В.И., Баярбилэг Л. Габброидные формации Западной Монголии. Новосибирск. Наука. 1990. 269 с.
4. Изох А.Э., Вишневский А.В, Поляков Г.В., Калугин В.М., Оюунчимэг Т., Шелепаев Р.А., Егорова В.В. Урэгнурская платиноносная вулканоплутоническая пикрит- базальтовая ассоциация монгольского алтая - индикатор кембро-ордовикской крупной изверженной провинции. Геология и геофизика. 2010. Т.51. № 5. С.665-681.
5. Изох А.Э., Вишневский А.В., Шелепаев Р.А. и др. Хайрханский дунит-троктолит-габбровый массив (Озерная Зона Западной Монголии) - пример синколлизионных среднекембрийских габброидов. Петрология магматических и метаморфических комплексов: Материалы X Всероссийской петрографической конференции с международным участием. Томск. 2018. № 10. С. 169-173.
6. Шелепаев Р.А., Егорова В.В., Изох А.Э., Зельтман Р. Коллизионный базитовый магматизм складчатого обрамления юга Сибири (Западный Сангилен, Юго-Восточная Тува). Геология и геофизика. 2018. Т. 59. № 5. С. 653–672.
7. Шелепов Я.Ю., Шелепаев Р.А. Массив Морьт-Ула (Монгольский Алтай) – пример среднекембрийских габбро-монцодиоритовых массивов Западной Монголии. Ультрамафит-мафитовые комплексы: геология, строение, рудный потенциал: Материалы VIII Всеросс. конф. с междунар. участием. Новосибирск: ИПЦ НГУ, 2023. С. 215-217.
8. Ярмолюк В.В., Ковач В.П., Коваленко В.И., Сальникова Е.Б., Козловский А.М., Котов А.Б., Яковлева С.З., Федосеенко А.М. Состав, источники и механизмы формирования континентальной коры Озерной зоны каледонид Центральной Азии: I. Геологические и геохронологические данные. Петрология. 2011. Т. 19. № 1. С. 83—107.
9. McDonough, W. F., Sun, S.-s., Ringwood, A.E., Jagoutz, E. and Hofmann, A.W. K, Rb and Cs in the Earth and Moon and the evolution of the Earth's mantle. Geochim. Cosmochim. Acta. 1992. 56. 1001-1012.
10. Sun S.-s. and McDonough W. F. Chemical and isotopic systematica of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes. In Magmatism in the Ocean Basins. Geol. Sot. Lond. Spec. Pub. 1989. P. 313-345.

ПЕТРОЛОГИЯ МЕТАПЕРИДОТИТОВ КАРЬЕРА КУРА-ВААРА, БЕЛОМОРСКИЙ ПОДВИЖНЫЙ ПОЯС

Якушик М.А.[1,2,3]

[1]Институт экспериментальной минералогии, Черноголовка, Россия
[2]Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии, Москва, Россия
[3]Геологический институт, Москва, Россия
*e-mail: yakush.mihail@yandex.ru

Аннотация. В тезисах проводится анализ особенностей состава и происхождения минералов метаультрамафитов из эклогитсодержащего комплекса в составе Беломорского подвижного пояса. При детальном петрографическом изучении выявлены характерные особенности различных генераций оливина, который является основным минералом пород, а также структурных генераций флогопита и шпинелидов в зависимости от химического состава, которые являются минералами индикаторами метасоматических изменений.

Ключевые слова: мантия, перидотиты, беломорский подвижный пояс

PETROLOGY OF METAPERIDOTITES FROM THE KURA-VAARA, BELOMORIAN MOBILE BELT

Yakushik M. A.[1,2,3]

[1]Institute of Experimental Mineralogy, Chernogolovka, Russia, yakush.mihail@yandex.ru
[2]Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry, Moscow, Russia
[3]Geological Institute, Moscow, Russia

Abstract: The thesis analyzes the composition and origin of metaultramafic minerals from an eclogite-bearing complex within the Belomorian mobile belt. Detailed petrographic study revealed characteristic features of different generations of olivine, which is the main mineral of the rocks, as well as structural generations of phlogopite and spinelides depending on their chemical composition, which are indicator minerals of metasomatic changes.

Keywords: mantle, peridotites, Belomorian mobile belt

Позднеархейский магматизм является прямым индикатором эволюции температурного режима мантии в тот период. Наиболее примитивными выплавками из вещества мантии являются ультраосновные и основные породы. Соответственно в этих породах будут запечатлены наиболее приближенные значения термального режима мантии на момент их формирования. Совместное же нахождение ультрабазитов(метаперидотитов) и эклогитов в толще серых гнейсов в СЗ части беломорского подвижного пояса (БПП) открывает возможности для комплексной реконструкции геодинамических условий для этих пород.

Эклогитсодержащий комплекс, входящий в состав Беломорского подвижного пояса, один из древнейших на Земле. Повышенный интерес к нему обусловлен не только уникальностью докембрийских комплексов, но также дискуссией о времени и характере плейт-тектонических процессов на ранних этапах развития Земли, понимание которых невозможно без данных по термодинамическому и флюидному режиму метаморфизма соответствующих высоко барных пород.

Ультрабазит-базитовые массивы предоставляют уникальные возможности для расшифровки истории формирования и разрушения геологических систем. Благодаря высоким температурам кристаллизации и изначально обезвоженному характеру расплавов последующие преобразования пород, связанных с парциальным давлением подвижных компонентов, могут оказываться более информативными чем в обрамляющих их метаморфических породах.

Метаперидотиты в карьере Куру-Ваара северо-западной части Беломорского Подвижного Пояса состоят из порфиробластов оливина (~75 об. %), пироксена (~5 об. %), шпинелидов (~5 об. %), серпентина (~10 об. %), и флогопита (~5 об. %). Также наблюдались акцессорные минералы: гумит, апатит, сульфиды железа и меди и карбонаты.

Содержание форстерита в оливинах варьирует в пределах 87—95 моль.%. Для самой железистой генерации Fo 88-89 мол. %, которая является доминирующей по объему в изученных образцах. Для промежуточной Fo 90.5-91.5 мол. %, которая формирует переходные зоны к самой магнезиальной генерации, в срастания гумитом, для самой магнезиальной Fo 93-95 мол.%. Для сосуществующей с карбонатами Fo 89 мол.%. Очевидно, что проанализированные оливины стремятся к аномальным богатым по магнию составам по сравнению с составом типично магматических пород таких как перидотиты.

Содержание кальция в оливинах колеблется от пределов обнаружения (около 0,001 мас. %) до 0,2 мас. % (0,008 катиона на формульную единицу). Содержание кальция увеличивается с уменьшением среднего форстеритового номера генерации. Самые широкие вариации по кальцию наблюдаются в матричной генерации, где содержания могут достигать 0,29 мас. %. Содержание марганца в исследованных оливинах варьирует от 0,48% до 0,83% MnO. Вариации в пределах каждой генерации значительно меньше. Содержание никеля в оливинах находится в диапазоне от 150 до 1350 частей на миллион. Для каждой генерации значения содержания никеля варьируют. Все исследованные оливины могут быть классифицированы как аномально низкие по соотношению содержания никель\желез.

В образцах можно найти флогопиты двух видов: крупные порфиробласты размером до 1 мм и мелкие чешуйчатые зёрна, которые могут срастаться с более хромистыми шпинелидами.

Изученные флогопиты содержат повышенное количество трёхвалентного железа и формируют тренд составов от флогопитов к тетраферрифлогопитам. Выделяются три генерации флогопитов по химическому составу: ядра мелких зёрен, краевые участки мелких зёрен и контактовые зоны со шпинелидами. Ядра мелких зёрен и крупные порфиробласты содержат 6-8,6% Al_2O_3 и 0,35-0,5% Na_2O. Содержание титана в них составляет около 0,15-0,4% TiO_2, хрома — 0,04-0,09% Cr_2O_3, а магнезиальность — 0,93-0,95. Краевые зоны мелких зёрен, самые железистые, близки по составу к тетраферрифлогопитам (содержание Al_2O_3 1,5-2,6%). Содержание Na_2O в них достигает 0,5-0,6%, титана — около 0,1%, хрома — менее предела обнаружения. Магнезиальность составляет 0,89-0,9. Контактовые зоны со шпинелидами близки к флогопитам по составу (содержание Al_2O_3 10,6-11,8%). Содержание Na_2O самое низкое (0,25-0,4%), титана достигает 0,9% TiO_2, а хрома — 0,36% Cr_2O_3. Магнезиальность равна 0,91-0,93.

Были изучены шпинелиды из срастаний с мелкочешуйчатыми зернами флогопитов и отдельно сидящие зерна в матриксе. Шпинелиды в срастаниях с флогопитами по своему составу отвечают Cr-магнетитам (содержание хрома достигает 16 вес. % Cr_2O_3). Отдельно располагающиеся зерна в матриксе по своему составу отвечают магнетитам (содержание

хрома достигает 2,5 вес. % Cr_2O_3). В обеих изученных генерациях содержание Al не превышает 0,02 вес. % Al_2O_3.

В метаперидотитах обнаружены три генерации оливина с разными параметрами: самая магнезиальная (Fo93-95), промежуточная (со средним номером Fo91) и наиболее распространённая (87-89 мол. %). Самая магнезиальная генерация сформировалась при низкой активности воды и серы, содержит много марганца и имеет отрицательную корреляцию Ni-Fo. Промежуточная генерация связана с процессом десерпентинизации, показывает слабую корреляцию с марганцем и положительную — с никелем. Наиболее распространённая генерация меньше всего преобразована и сформировалась при других условиях.

Вероятнее всего флогопиты, как и наиболее хромистые шпинели образовывались в результате метасоматических преобразований. Содержание натрия во флогопитах сходно с другими метасоматизированными перидотитами, описанными в литературе [1, 4], считается что, источником натрия вполне могут быть жадеитовая и космохлоровая составляющие пироксена. Соотношение K/Na во флогопитах является показателем не только глубинности метасоматических преобразований перидотитовых ассоциаций [2], но и соотношения K/Na во флюидах, производящих эти преобразования, по крайней мере, до 2,5 ГПа – вероятного предела стабильности аспидолита [3]. Во флогопитах уменьшается содержание изоморфных примесей с увеличением трёхвалентного железа. Это может указывать на высокую фугитивность кислорода при их росте. Высокое содержание хрома в шпинелидах позволяет предположить, что гранат был исходным минералом через кнорингитовый минал.

Метаперидотиты Куура-Ваара изначально представляли из себя гарцбургиты, вероятно, шпинелевой фации глубинности, которые претерпели метасоматические преобразования, которые сопровождались снижением модального содержания ортопироксена и шпинели согласно реакции:$7/2En + 1/2Spl + [1/2K2O + H2O] = 1/2Fo + Phl;$ и происходили на глубинах не превышающее 2,5 ГПа.

Финансирование: Работа выполнена в рамках тем НИР: fmmg-2023-0007; fmmn-2021-0008; fmuf-2022-0004.

Список литературы:

1. Aoki K. Origin of phlogopite and potassic richterite bearing peridotite xenoliths from South Africa. Contributions to Mineralogy and Petrology. 1975. V. 53. №. 3. P. 145–156.
2. Arai S. K/Na variation in phlogopite and amphibole of upper mantle peridotites due to fractionation of the metasomatizing fluids. The Journal of Geology. 1986. V. 94. №. 3. P. 436–444.
3. Pirard C., Hermann J. Focused fluid transfer through the mantle above subduction zones. Geology. 2015. V. 43. №. 10. P. 915–918.
4. van Achterbergh E., Griffin W. L., Stiefenhofer J. Metasomatism in mantle xenoliths from the Letlhakane kimberlites: estimation of element fluxes. Contributions to Mineralogy and Petrology. 2001. V. 141. №. 4. P. 397–414.

Секция Геохимия и геохронология

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ИНДИКАТОРЫ ФАЦИАЛЬНЫХ ОБСТАНОВОК ЮРСКИХ ПОРОД ИНЬЯЛИ-ДЕБИНСКОГО СИНКЛИНОРИЯ (СЕВЕРО-ВОСТОК РОССИИ)

Брынько И.В.

Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт им. Н.А. Шило ДВО РАН, Магадан, Россия
*e-mail: ibrynko@mail.ru

Аннотация. Представлены результаты геохимического изучения петрогенных и редких элементов нижнее-среднеюрских отложений Иньяли-Дебинского синклинория (Северо-Восток России). Данные исследования показали, что юрские отложения накапливались в кислородных условиях холодного климата. Возможными источниками сноса были Удско-Мургальская вулканическая дуга, которая поставляла в морской бассейн вулканиты среднего и основного состава, а также питающая провинция вулканитов кислого состава, вероятно, располагавшаяся в пределах Колымской петли.

Ключевые слова: Иньяли-Дебинский синклинорий, Северо-Восток России, юра, геохимические индикаторы.

GEOCHEMICAL INDICATORS OF FACIAL SETTINGS OF JURASSIC ROCKS OF THE INYALI-DEBINSKY SYNCLINORIUM (NORTH-EAST RUSSIA)

Brynko I.V.
North-East Interdisciplinary scientific research institute, RAS, Magadan, Russia,
ibrynko@mail.ru

Abstract. The results of a geochemical study of petrogenic and small elements are presented lower and middle part of Jurassic deposits of Inuali-Debin sinklinorium (North-East Russia). These studies showed that Jurassic sediments accumulated in oxic conditions of a cold climate. Possible sources of demolition were the Udsko-Murgal volcanic arc, which supplied volcanic rocks of intermediate and basic composition to the sea basin, as well as a feeding province of felsic volcanic rocks, probably located within the Kolyma loop.

Keywords: Inuali-Debin sinklinorium, North-East of Russia, Jurassic, geochemical indicator

Впервые получены представительные данные о содержании порообразующих окислов в нижне-среднеюрских отложениях юго-восточной части Иньяли-Дебинского синклинория. Для уточнения особенностей осадконакопление помимо литологических и палеонтологических методов существенное значение имеют и геохимические характеристики терригенных пород. Нижнеюрские отложения представлены пачками переслаивания темно-серых аргиллитов и серых алевролитов. Среднеюрские образования сложены серыми алевролитами, темно-серыми аргиллитами с прослоями песчаников и туффитов.

Каменный материал, использованный в этом сообщении, был собран в ходе полевого сезона в 2022 году, при проведении геологического доизучения территории листов P-55 XVIII и P-56 XIII, масштаба 1: 200 000. Из нижнеюских пород было отобрано 113 проб из среднеюрских – 262 пробы.

Изучаемая территория относится к юго-восточной части Иньяли-Дебинского синклинория близ его сочленения с Балыгычанским блоком и Аян-Юряхским

антиклинорием, входит в состав Куларо-Нерского турбидитового террейна, являющегося частью Яно-Колымского орогенного пояса [3]. Синклинорий характеризуется изоклинальной складчатостью с преобладанием линейных складок северо-западного и субширотного простирания, доминированием разломов северо-западного простирания, развитием мощных (до 9 км) толщ терригенно-осадочного, терригенно-вулканогенного комплексов, преимущественно юрского возраста.

В качестве показателей окислительно-восстановительных условий для терригенных отложений были использованы индексы V/Cr [7], V/(V+Ni) [6], (значения бескислородных обстановок 4< и 0,6< соответственно) которые показывают достаточно противоречивые результаты. Так по V/Cr все нижнеюрские породы образовывались в кислородных обстановках (от 0,39 до 3,16, среднее 1,62), а среднеюрские – как в кислородных, так и бескислородных обстановках (от 0,77 до 20, среднее 2,75). А по V/(V+Ni) [6] практически все породы формировались в бескислородных условиях, нижнеюрские от 0,77 до 1, среднее 0,90; среднеюрские отложения – от 0,44 до 1, среднее 0,94.

Для оценки палеоклимата применен индекс химического выветривания CIA, определяющийся соотношением $[Al_2O_3/Al_2O_3 + CaO^* + Na_2O + K_2O]\times100$ [10]. В качестве критерия для разграничения отложений, формирующихся в условиях теплого и холодного климата, принято считать значение CIA, равное 70. Невыветрелые породы характеризуются значениями около 50, тогда как для сильно выветрелых этот индекс стремится к 100. Для нижнеюрских образований значения от 39.28 до 72.37, среднее 62,87; для среднеюрских от 21,19 до 73,04, среднее 62,8. Полученные результаты свидетельствуют о формировании пород в условиях холодного климата.

Для выявления питающих провинций были использованы диаграммы: TAS диаграмма [8] и DF1-DF2 [12]. Так, на TAS диаграмме нижне-среднеюрские образования формируют один кластер и попадают в поля андезиты, дациты, единичные точки – риодациты, низкощелочные риодациты и трахиандезиты. Среднеюрские породы локализовались в полях трахиандезибазальты, трахибазальты и щелочные базальты. Диаграмма TiO_2 – Ni [5] показывает, что юрские породы концентрируются в поле кислые породы и соответственно не испытывали существенных изменений при переносе и накоплении.

Палеотектоническая интерпретация химического состава глинисто-алевритовых пород, полученная при анализе диаграммы Дж. Мейнарда [9] по данным SiO_2/Al_2O_3 – K_2O/Na_2O, показывает, что часть фигуративных точек нижнеюрских отложений расположены в полях пассивные континентальные окраины, а вторая часть -преддуговых бассейнах, а среднеюрские – в преддуговых бассейнах и бассейнах с окраинно-континентальными магматическими дугами. Сходные результаты были продемонстрированы и на диаграмме Бхатия [4], где фигуративные точки попадают в поля океанические и островные вулканические дуги. Еще одна тектоническая интерпретация химического состава песчанистых и алевритовых частиц была предложена Б. Роузером и Р. Коршом [11]. Большая часть проб нижней юры локализуется в поле активные континентальной окраины, а средней юры – в преимущественно в поле активные континентальные окраины и в меньшей степени океанические островные дуги.

Обобщив полученные результаты, можно предположить, что породы формировались в относительно мелководных условиях, холодного климата. Обстановки были кислородными, о чем свидетельствует присутствие в разрезах кринойдей, белемнитов и двустворчатых моллюсков [2]. В это время существовала Удско-Мургальская вулканическая дуга основного и среднего состава [1]. Источники сноса имели различный

состав от кислого до основного и располагались рядом с седиментационным бассейном, в среднеюрское время добавился еще один источник сноса, вероятно, располагавшийся в пределах Колымской петли [2].

Список литературы:

1. Белый В.Ф., Гельман М.Л., Паракецов К.В. Мезозойский вулканизм структурообразование на Северо-Востоке СССР. Советская геология. 1989. № 4. С. 62–77.
2. Литвинов В.Е., Мальков Б.И. Типы разреза триасовых и юрских отложений района Больших порогов р. Колымы. В кн. Материалы по геологии и полезным ископаемым Северо-Востока СССР. 1972. Вып. 20.С. 83–96.
3. Парфенов Л.М., Берзин Н.А., ХанчукА.И., БадарчГ., БеличенкоВ.Г., Булгатов А.Н., Дриль С.И., Кириллова Г.Л., Кузьмин М.И., Ноклеберг У., Прокопьев А.В., Тимофеев В.Ф., Томуртогоо О., Янь Х. Модель формирования орогенных поясов центральной и северо-восточной Азии. Тихоокеанская геология. 2003. Т. 22. № 6. С. 7-41.
4. Bhatia M. R. Plate tectonics and geochemical composition of sandstones. Journal Geology. 1983. V. 91. № 6. P. 611–627.
5. Floyd, P. A. Geochemistry and tectonic setting of Lewisian clastic metasediments from the Early Proterozoic Loch Maree Group of Gairloch, NW Scotland. Precambrian Research / P. A. Floyd, J. A. Winchester, R. G. Park. 1989. V. 45. P. 203–214.
6. Hatch J. R., Leventhal J. S. Relationship between inferred redox potential of the depositional environment and geochemistry of the Upper Pennsylvanian (Missourian) Stark Shale Member of the Dermis Limestone, Wabaunsee County, Kansas, U.S.A. Chemical Geology. 1992. V. 99. P. 65–82.
7. Jones B., Manning D. A. C. Comparison of geochemical indices used for the interpretation of palaeoredox conditions in ancient mudstones. Chemical Geology. 1994. V. 111. P. 111–129.
8. Le Maitre R. W., Bateman P., Dudek A. E. A. A classification of igneous rocks and glossary of terms. Oxford, Blackwell. 1989. P. 137–150.
9. Maynard J. B., Valloni R., Yu H. S. Composition of modern deep – sea sands, from arc – related basins/ Trench – Forearc Geology. Sedimentation and tectonics of modern and ancient plate margins, Oxford, London, Edinburg, Melbourne: Blackwell Scientific Publications. 1982. P. 551 – 561.
10. Nesbitt H. W., Young G. M. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites. Nature. 1982. V. 299. P. 715–717.
11. Roser B. P.; Korsch R. J. Provenance signatures of sandstone-mudstone suites determined using discriminant function analysis of major element data. Chemical geology.1988. №. 67. P. 119–139.

ПЕРВЫЕ ДАННЫЕ ОБ УСЛОВИЯХ ФОРМИРОВАНИЯ ЗОЛОТО-ВИСМУТ-ТЕЛЛУРИДНОГО ОРУДЕНЕНИЯ ПРОЯВЛЕНИЯ ЛАГЕРНОЕ АЛТАН-ЧАЙДАХСКОГО РУДНОГО УЗЛА (АЛДАНО-СТАНОВОЙ ЩИТ)

Кардашевская В.Н.[1], Анисимова Г.С.[1], Бочаров В.Н.[2]*

[1]Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, Якутск, Россия
[2]Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия
*e-mail: kardashevskaya92@mail.ru

Аннотация. Алтан-Чайдахский рудный узел расположен на юго-востоке Алдано-Станового щита, который известен крупными коренными и россыпными месторождениями золота на Сибирской платформе. В данной работе приведены результаты изучения флюидных включений (термокриометрия и КР спектроскопия) в кварце золото-висмут-теллуридной ассоциации. Проведенные исследования показали, что золото-висмут-теллуридное оруденение сформировалось при температуре 280–365°С, давлении 0,6–0,7 кбар из умеренноконцентрированных растворов, содержащих хлориды Mg, Na и Fe. Газовый состав флюидов представлен преобладающим содержанием CO_2 с незначительной примесью CH_4 и N_2.

Ключевые слова: кварц, золото, флюидные включения, КР спектроскопия, Алданский щит

FIRST DATA ABOUT THE FORMATION CONDITIONS OF GOLD-BISMUTH-TELLURIDE MINERALIZATION OF THE LAGERNOYE OCCURRENCE OF THE ALTAN-CHAYDAKH ORE CLUSTER (ALDAN-STANOVOY SHIELD)

Kardashevskaia V.N.[1], Anisimova G.S.[1], Bocharov V.N.[2]

[1]Diamond and Precious Metal Geology Institute SB RAS, Yakutsk, Russia,
kardashevskaya92@mail.ru
[2]Saint-Petersburg State University, Saint-Petersburg, Russia

Abstract. The Altan-Chaydakh ore cluster is located in the southeast of the Aldan-Stanovoy Shield, which is known for large primary and placer gold deposits on the Siberian Platform. This research presents the results of studying fluid inclusions (thermocryometry and Raman spectroscopy) in quartz of the gold-bismuth-telluride assemblage. Researches have shown that gold-bismuth-telluride mineralization was formed at a temperature of 280–365°C, a pressure of 0.6–0.7 kbar from moderately concentrated solutions containing Mg, Na and Fe chlorides. The gas composition of the fluids is represented by a predominant content of CO_2 with a slight admixture of CH_4 and N_2.

Keywords: quartz, gold, fluid inclusions, Raman spectroscopy, Aldan Shield

Алданский щит является одним из главных регионов золотодобычи России, в котором известны крупные месторождения коренного и россыпного золота, связанные с мезозойским щелочным и субщелочным магматизмом [1; 2; 3; 4; 5]. В тектоническом отношении Алтан-Чайдахский золоторудный узел расположен в Тыркандинской зоне тектонического меланжа и приурочен к одноименному глубинному разлому [6]. Геологическое строение узла представлено мезозойскими терригенными породами, докембрийскими кристаллическими образованиями и прорвано силлами гранодиоритов и сиенит-диоритов. Рудные тела представлены крутопадающими кварцевыми жилами и прожилками согласными с зонами дробления. Мощность жил от 20 см до 6 м с протяженностью до 100 м. На основе минералогических исследований выявлено три последовательные минеральные ассоциации: 1) пирротин-пирит-кварцевая; 2) золото-

полиметаллическая (халькопирит, сфалерит, галенит) и 3) золото-висмут-теллуридная (тетрадимит, бурсаит) [7].

Изучения флюидных включений (ФВ) проводились в кварце золото-висмут-теллуридной ассоциаций Алтан-Чайдахского рудного узла (рудопроявление Лагерное). Термо- и криометрия выполнялась в термокамере Linkam THMSG-600 с диапазоном измерений температур от -196 до +600°С (СПбГУ). Состав водно-солевого раствора включений определялся по температуре эвтектики [8], концентрация солености – по температуре плавления льда [9]. Давление рассчитывалось по сингенетичным газово-жидким и водно-углекислотным включениям с использованием программ BULK [10]. Состав включений проанализирован на КР спектрометре Horiba Lab Ram HR800 [11].

В прозрачных двустороннеполированных пластинках кварца были обнаружены ФВ размером от 5-100 мкм. Среди них были выделены первичные и вторичные включения [12]. Первичные ФВ равномерно распределены по зонам роста кварца, ко вторичным относятся включения, приуроченные к залеченным трещинам, секущим границы кварцевых зерен. Изучению подверглись первичные ФВ. По фазовому соотношению при комнатной температуре первичные включения подразделены на 2 типа: (1) двухфазные – газово-жидкие с объемом газового пузырька 10–20 об.% (Рисунок 1а) и (2) трехфазные – углекислотно-водные (Рисунок 1б). Флюидные включения имеют вытянутую, угловатую, округлую неправильную форму и отрицательной огранки.

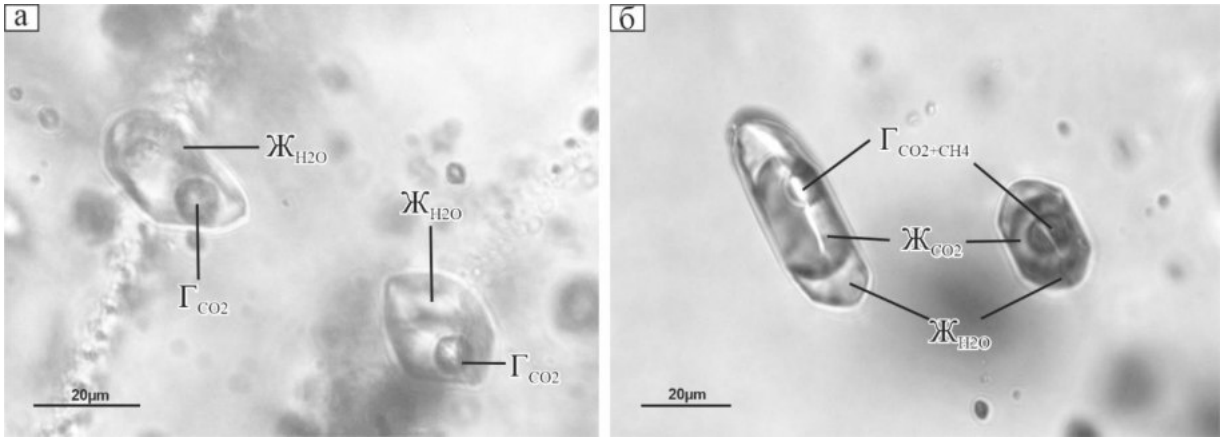

Рисунок 1. Типы флюидных включений в кварце золото-висмут-теллуридной ассоциации рудопроявления Лагерное. а – газово-жидкое двухфазное, в – водно-углекислотное трехфазное. Г – газ, Ж – жидкость.

В кварце золото-висмут-теллуридной ассоциации гомогенизация включений происходит при диапазоне от 280 до 365°С в жидкую фазу, с максимальным количеством определений в интервале 300–330°С (Таблица 1). Температура эвтектики водной фазы включений составляет -30.0…-36.6°С, что говорит о присутствии хлоридов Mg, Na и Fe. Концентрация солей изменяется от 7.45 до 19.21 мас. % экв. NaCl. Об этом свидетельствуют значения температуры плавления льда в температурном диапазоне от -4,7 до -15,7°С. Плавление CO_2 происходит при температурах от -57,2 до -59,3°С, что предполагает наличие примесей низкокипящих газов. Гомогенизация жидкой CO_2 в трехфазных включениях происходит при температурах +26,1…+30,9°С в жидкую и газовую фазу. Плотность флюида 0,33–0,61 г/см^3. Давление флюида 0,6–0,7 кбар. Изучение газовой составляющей ФВ методом КР спектроскопии выявило присутствие в составе их газовой фазы CO_2 (100–96,7 мол.%), CH_4 (3,3–0,2 мол.%) и наличие следов N_2.

Таблица 1. Результаты термокриометрических исследований ФВ в кварце золото-висмут-теллуридной ассоциации рудопроявления Лагерное

Тип ФВ	n	$T_{гом}$, °C	$T_{эвт}$, °C	$T_{пл.льда}$, °C	$T_{пл.CO2}$, °C	$T_{гом.CO2}$, °C	$C_{солей}$, мас. % экв. NaCl	d, г/см^3	p, кбар
П	25	280–365	-30,0…-36,6	-4,7…-15,7	-57.2…-59.3	26,1–30,9	7,45–19,21	0,33–0,61	0,6–0,7

Таким образом, образование золото-висмут-теллуридной минерализации происходило при среднетемпературных (280–365°C) условиях и давлении 0,6–0,7 кбар из умеренноконцентрированных (7,45–19,21 мас.% экв. NaCl) водно-солевых растворов, где присутствуют хлориды Mg, Na и Fe и преобладании CO_2 в газовой составляющей. Полученные данные имеют сходные параметры с флюидами, формировавшими золото-висмутовую ассоциацию Спокойного рудного узла и могут свидетельствовать об едином источнике рудообразующих флюидов золоторудных объектов, расположенных в Тыркандинской зоне тектонического меланжа Алдано-Станового щита.

Финансирование: Работа выполнена за счет государственного задания НИР ИГАБМ СО РАН.

Список литературы:

1. Ветлужских В.Г., Казанский В.И., Кочетков А.Я., Яновский В.М. Золоторудные месторождения Центрального Алдана. Геология рудных месторождений. 2002. Т. 44. № 6. С. 467–499.
2. Бойцов В.Е., Верчеба А.А., Пилипенко Т.Н., Жданов А.В. Металлогеническое районирование Центрально-Алданского рудного района Республики Саха (Якутия). Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2010. № 5. С. 23–32.
3. Хомич В.Г., Борискина Н.Г. Структурная позиция крупных золоторудных районов Центрально-Алданского (Якутия) и Аргунского (Забайкалье) супертеррейнов. Геология и геофизика. 2010. Т. 51. № 6. С. 849–862.
4. Дворник Г.П. Золоторудные метасоматические формации Центрально-Алданского района. Литосфера. 2012. № 2. С. 90–105,
5. Молчанов А.В., Терехов А.В., Шатов В.В., Петров О.В., Кукушкин К.А., Козлов Д.С., Шатова Н.В. Золоторудные районы и узлы Алдано-Становой металлогенической провинции. Региональная геология и металлогения. 2017. № 71. С. 93–111.
6. Тектоника, геодинамика и металлогения территории Республики Саха (Якутия). Москва. МАИК «Наука/Интерпериодика». 2001. 571 с.
7. Анисимова Г.С., Соколов Е.П. Алтан-Чайдахский рудный узел – перспективный золоторудный объект Южной Якутии. Отечественная геология. 2015.№ 5. С. 3–10.
8. Борисенко А.С. Изучение солевого состава газово-жидких включений в минералах методом криометрии. Геология и геофизика. 1977. № 8. С.16–27.
9. Bodnar R.J., Vityk M.O. (1994) Interpretation of microthermometric data for H_2O-NaCl fluid inclusions, in Fluid inclusions in minerals: methods and application. (Eds. De Vivo B., Frezotti M.L.) Blacksburg: Virginia Tech, 117–130.
10. Bakker R.J., Package FLUIDS 1. Computer programs for analysis of fluid inclusion data and for modelling bulk fluid properties. Chemical Geology. 2003. V. 194. P. 3–23.
11. Dubessy J., Poty B., Ramboz C. Advances in C-O-H-N-S fluid geochemistry based on micro-Raman spectrometric analysis of fluid inclusions. European Journal of Mineralogy. 1989. № 1. P. 517–534.
12. Реддер Э. Флюидные включения в минералах. Москва. Мир. 1987. Т. 1, 2. 560 с.

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МЕТАЛЛООРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ ЗОЛОТА В ОТЛОЖЕНИЯХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЧЁРТОВО КОРЫТО (ИРКУТСКАЯ ОБЛАСТЬ) И ВОЗДВИЖЕНСКОЕ (ЗАБАЙКАЛЬСКИЙ КРАЙ)

Пахтаева М.Г., Иванов В.П., Тимкин Т.В.*

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия
*e-mail: pahtaevamarina@gmail.com

Аннотация. Метод структурно-кластерного анализа углефицированных веществ позволил увидеть влияние исходного растительного материала через формы связи золота и его соединений в виде металлоорганических соединений.

Ключевые слова: Месторождение Чертово Корыто, Воздвиженское месторождение, золото, металлоорганические соединения

COMPARATIVE CHARACTERISTICS OF ORGANOMETALLIC COMPOUNDS OF GOLD IN SEDIMENTS OF THE CHERTOVO KORYTO DEPOSITS (IRKUTSK REGION) AND VOZDVIZHENSKOYE (TRANS-BAIKAL TERRITORY)

Pakhtaeva M.G., Ivanov V.P., Timkin T.V.*

National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia, pahtaevamarina@gmail.com

Abstract. The method of structural cluster analysis of carbonified substances made it possible to see the influence of the initial plant material through the forms of bonding of gold and its compounds in the form of organometallic compounds.

Keywords: Chertovo Koryto deposit, Vozdvizhenskoye deposit, gold, organometallic compounds

На примере черносланцевых отложений Вернинского месторождения [1] была установлена взаимосвязь углеродистого вещества с золотом и характер её проявления на стадии седиментации органических отложений и с рудогенезом, при этом оно часто выступает сопутствующим микроэлементом. Проблема заключается в том, что обычно считается, что рассеянное углефицированное вещество характеризуют либо углистое, либо углеродистое вещество.

Целью представленных исследований является сравнительная характеристика металлоорганических соединений золота в отложениях месторождений Чёртово Корыто (Иркутская область) и Воздвиженское (Забайкальский край). Отметим, что происхождение тонкодисперсного и ультрадисперсного золота в золоторудных месторождениях в чёрных сланцах и в золотосодержащих полиметаллических рудах Воздвиженского месторождения слабо изучено.

В качестве фактического материала были выбраны скважины, подсекающие осадочные толщи, включающие зоны оруденения. На Воздвиженском месторождении интервалы 286…350 м., на месторождении Чертово Корыто от 50…169 м. Анализу были подвергнуты пробы, отобранные на глубине 50 (50ЧК) и 169 (169ЧК) метров (Чёртово Корыто) и групповые пробы интервалов 219…310 м. и 310…350 м., характеризуемые пробами группы 1В и 2В (Воздвиженское).

Для исследования использовался метод ИК-спектроскопии диффузного отражения в диапазоне 7500–350 см$^{-1}$ с максимальным разрешением 0,5 см$^{-1}$ с аппаратно-программным комплексом (АПК) СКАУФВ (структурно-кластерный анализ углефицированных веществ) [2] на базе спектрометра фирмы «SHIMADZU» IRAffinity-1 с Фурье преобразованием, который позволяет получать ИК-спектр диффузного отражения с помощью приставки DRS-8010ASC для порошков (DRIFTS). Отобранные точечные пробы из керновых образцов с выделением углистого вещества методом препарирования подвергались дроблению и истиранию до крупности 0,2 мм.

По результатам углепетрографического анализа установлено, что показатели отражения витринита (Ro) на объектах находятся в пределах 0,32–0,36%, что соответствует прогреву осадочных толщ 60–70°С в следствии проявления регионального метаморфизма, поэтому изученные пробы являются изометаморфными углефицированными веществами (УФВ). При этом автор [3] придерживается деления органических веществ (ОВ) по растительному происхождению и ОВ проб Воздвиженского месторождения в данном случае принимаются как углефицированные вещества (УФВ), месторождения Чёртово Корыто – углеродистые вещества (УВ). Тем самым был обозначен гумусовый и сапропелевый исходный материал.

Сравнение спектров проб в интервалах 4000–600 и 600–350 см$^{-1}$ показало, что наибольшая корреляция спектров была обнаружена между пробами 50ЧК и 169ЧК с пробой 1В (Рисунок 1), и эта особенность видна на графиках спектров.

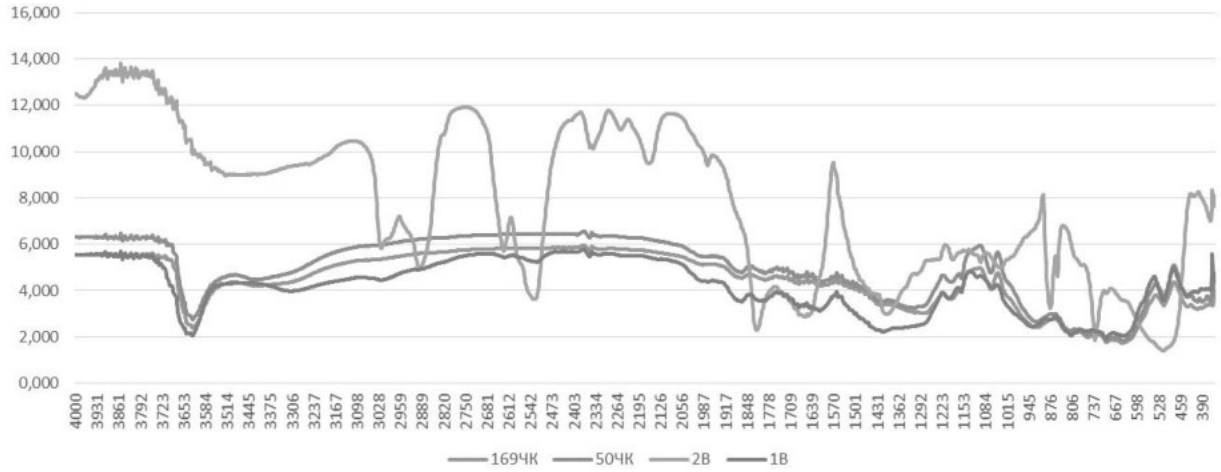

Рисунок 1. Сравнение спектров проб месторождений Воздвиженское и Чёртово Корыто

Для определения форм связей золота использовались справочные таблицы [4]. В Таблице 1 приведены результаты идентификации форм связей золота с полосами ИК спектров.

Несмотря на то, что с отдельными пробами УФВ Воздвиженского месторождения спектральная характеристика совпадает с пробами месторождения Чёртово Корыто, по характеру соединений металлоорганических соединений (МОС) есть существенное различие, а именно, по количеству форм связей.

Установлено, количество форм связей метилгалогенидов [$(CH3)_2AuCl_2$] и МОС в виде метильных мостиков [$(CH3)_2AuX_2$] в УФВ Воздвиженского месторождения больше, чем в УВ месторождения Чёртово Корыто, однако в последнем МОС в виде ν(AuN) на полосах 444 и 430 см$^{-1}$ доминирует.

Другой особенностью является различие по полосам 2163 и 775 см$^{-1}$, отражающие формы связей золота в хелатной форме соединения [(CH3)$_2$Au(NCS)$_2$]. В частности, в пробе 1В количество связей vCN больше, чем в пробе 50ЧК, в пробах 2В и 169ЧК близкое. Однако количество связей vCS (полоса 775 см$^{-1}$) в пробах 50ЧК и 169ЧК значительно превалирует.

Таблица 1. Идентификация форм связей золота по полосам ИК спектров

Название соединений	Формула	Форма связи	Полосы спектра, см$^{-1}$	1В	2В	50ЧК	169ЧК
Изотиоцинаты	[$(CH_3)_2Au(NCS)_2$]	vCN	**2163**	2,69	1,03	1,00	0,92
		vCS	**775**	0,59	0,00	17,8	17,60
Метильные мостики	[$(CH_3)_2AuX_2$]	Галогены/ метильные мостики	**571**	17,9	14,4	9,28	9,46
			561	18,9	20,7	6,64	6,68
Метил-галогениды	[$(CH_3)_2AuCl_2$]	Cl	**550**	19,8	20,9	5,01	4,94
			545	20,1	20,9	4,31	4,11
Псевдо-галогениды	K[Au(-SCN)$_4$]	NCS и SCN	**2130**	0,66	0,47	1,32	1,24
			1088	2,21	0,00	1,11	1,20
			700	2,76	2,99	22,3	22,34
			458	10,3	14,00	3,76	3,67
			413	0,31	0,07	7,85	7,63
Метильные мостики	v(AuN)	δCNS	**444**	3,31	3,41	6,49	6,56
			430	0,48	1,05	6,79	6,91

Изменчивость псевдогалогенидов K[Au(-SCN)$_4$] по разным полосам скорее отражает исходное происхождение углефицированного или углеродистого вещества, но роль азота в этом явлении, несомненно, заметна. Так, на полосах 2130, 700, 413 см$^{-1}$, отражающие связи золота с лигандой NCS, характерна для углеродистых веществ, тогда как в углефицированных веществах золото больше будет связано с лигандой SCN.

Таким образом, применённый метод СКАУФВ позволил увидеть влияние исходного растительного материала через формы связи золота и его соединений в виде МОС. Практическая значимость данного направления исследований заключается в том, что правильная оценка форм нахождения золота в отложениях, насыщенных углефицированным или углеродистым веществом ведёт к рациональному использованию золотосодержащих недр, а также предоставляет возможность оценки попутного его извлечения.

Финансирование: Работа выполнена при поддержке гранта РНФ №23-27-00013.

Список литературы:

1. Иванов В.П., Тимкин Т.В., Болдина Д.А., Пахтаева М.Г. Особенности определения металлоорганических соединений в углеродистых веществах черносланцевых отложений с применением ИК-спектроскопии диффузного отражения. Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2024. Т. 335. № 2. С. 141–156.
2. Иванов В.П. Дмитриенко А.А. Определение типов связей кремния с функциональными группами в структурах органических веществ растительного происхождения с помощью метода диффузного отражения инфракрасной спектроскопии. Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2022. Т. 333. № 8. С. 36–45.
3. Иванов В.П., Дмитриенко А.А., Рычкова И.В., Исаева Е.Р., Тимкин Т.В., Болдина Д.А., Пахтаева М.Г. Возможности инфракрасной спектроскопии диффузного отражения для изучения органических веществ каустобиолитов. Кокс и химия. 2023. № 5. С. 1–14.
4. Nakamoto K. Infrared and Raman spectra of inorganic and coordination compounds. John Wiley & Sons. 2009. 400 p.

ИЗОТОПНЫЙ СОСТАВ ОСНОВНЫХ ПОРОД ХАНГАЙСКОГО НАГОРЬЯ, ЗАПАДНАЯ МОНГОЛИЯ

Шаповалова М.О., Шелепаев Р.А.*

Институт геологии и минералогии им В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия
*e-mail: shapovalovam@igm.nsc.ru

Аннотация. Представлены данные по изотопному Rb-Sr, Sm-Nd составу ультрамафит-мафитовых массивов Хангайского региона Западной Монголии: Орцог-Ула, Номгон, Ямат-Ула. Новые изотопные данные по породам соответствуют геохимическим, и свидетельствуют об участии в формировании ультрамафит-мафитовых массивов Хангайского региона двух мантийных источников: деплетированного (εNd = +4,5…0 и ISr = 0,70385…0,70537) и обогащенного (εNd = -3,6…-5,7 и ISr = 0,70704…0,70933). Получен изотопный состав S для этих же массивов. Геохимические характеристики пород, изотопный состав серы (0,01 до 2,5‰), отсутствие корреляции между εNd(t) и главными индексами коровой контаминации указывает на то, что этот процесс не влиял на состав габброидов.

Ключевые слова: габбро, S, Rb-Sr, Sm-Nd изотопный состав, коровая контаминация

ISOTOPE COMPOSITION OF MAFIC ROCKS OF THE KHANGAI REGION, WESTERN MONGOLIA

Shapovalova M.O., Shelepaev R.A.

V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, Novosibirsk, Russia,
shapovalovam@igm.nsc.ru

Abstract. The Sm-Nd and Rb-Sr isotope composition data of mafic-ultramafic massifs in the Khangai region of Western Mongolia: Ortsog-Uul, Nomgon, Yamaat-Uul are presented. Isotopic data correspond to geochemical data and indicate the involvement of two mantle sources in the formation of the mafic-ultramafic massifs of the Khangai region: depleted (εNd = +4.5...0 and ISr = 0.70385...0.70537) and enriched (εNd = -3.6...-5.7 and ISr = 0.70704…0.70933). The isotope composition of S for the same massifs was obtained. The geochemical characteristics of the rocks, sulfur isotope composition (0.01 to 2.5‰), and the lack of correlation between εNd(t) and major indices of crustal contamination indicate that this process did not influence the composition of the gabbroids.

Keywords: gabbro, S, Rb-Sr, Sm-Nd isotope composition, crustal contamination

При изучении петрологии магматических комплексов и связанных с ними месторождений полезных ископаемых, помимо классических структурно-геологических, петрографических и петрохимических методов, все чаще используются геохимические, изотопные и изотопно-геохронологические методы анализа пород. Геохимические данные в сочетании с изотопными (Sm-Nd, Rb-Sr, S) используются с целью оценки вероятных источников магм для габброидных ассоциаций, в нашем случае для Хангайского региона.

В работе представлены пермские ультрамафит-мафитовые массивы: Орцог-Ула, Номгон и Ямат-Ула, которые относятся к перидотит-пироксенит-анортозит-габброноритовой формации и расположены на территории Хангая [1]. Массив Орцог-Ула состоит из двух фаз внедрения [2]: 1) ритмично-расслоенная перидотит-троктолит-габброноритовая серия пород; 2) слабо дифференцированные Bt-содержащие Hbl-Ol габбронориты и габбро. Массив Номгон представляет собой фрагмент дифференцированного габброидного интрузива [1], где наблюдается чередование

горизонтов Ol габбро, габбронноритов, троктолитов, лейкогаббро и анортозитов. Массив Ямат-Ула является полифазным [3]: первая фаза сложена Bt-Hbl габбро, Ol габбронноритами, лейкогаббро и анортозитами, вторая фаза - монцогаббро. Геохимической особенностью пород массивов является обогащенность LILE: Sr, Rb, Ba и деплетированность HFSE: Ta, Nb, Zr, Hf, Ti. На мультиэлементных спектрах выделяются положительные аномалии Sr и отрицательные аномалии по Ta, Nb и Ti [1-3].

Определение изотопного состава и концентраций Sm и Nd проводилось в ЦКП "Геоаналитик" ИГГ УрО РАН (г. Екатеринбург) методом TIMS на мультиколлекторном термоионизационном масс-спектрометре двойной фокусировки TRITON Plus в статическом режиме. Rb-Sr изотопные исследования в породах проведены в ЦКП многоэлементных и изотопных исследований СО РАН (г. Новосибирск) на многоколлекторном масс-спектрометре МИ-1201АТ в двухленточном режиме (испарители и ионизаторы рениевые). Соотношение изотопов серы определяли там же с помощью масс-спектрометра Finnigan MAT Delta.

Получены изотопные данные для пермских габброидов массивов Орцог-Ула, Номгон и Ямат-Ула. Значения ISr и εNd(t) пересчитаны на U-Pb возраст этих пород (~260 млн лет). Для полифазных массивов Орцог-Ула и Ямат-Ула были получены данные для пород каждой фазы. Расслоенная серия пород первой фазы массива Орцог-Ула характеризуется положительными εNd (0,1-3,3) и ISr (0,70578-0,70766), тогда как Bt-Hbl-Ol мезогаббро второй фазы имеет отрицательные значения εNd (от –3,4 до –5,7) и более высокие значения ISr (0,70704-0,70933). Значения εNd и ISr для габброидов обоих фаз массива Ямат-Ула находятся в более узком интервале по сравнению с массивом Орцог-Ула, и варьируют от –0,1 до +1,8, и от 0,70458 до 0,70500, соответственно. Для мезогаббро и лейкогаббро массива Номгон характерны высокие положительные значения εNd (4,4-4,5) и низкие ISr (0,70385-0,70391). Эти изотопные характеристики свидетельствует об участии различных мантийных источников (деплетированного и обогащенного) в образовании пород исследуемых массивов. Сульфиды (пирротин, халькопирит, пентландит) из нескольких проб массивов были проанализированы на изотопы серы. Изотопный состав серы для массива Орцог-Ула варьирует от 1,4‰ до 2,5‰, Ямат-Ула - от 0,8‰ до 1,1‰, и Номгон - от 0,01‰ до 0,2‰.

Обогащенные изотопные характеристики мафических пород, образующихся во внутриконтинентальной обстановке, могут быть результатом коровой контаминации. Влияние коровой контаминации и геохимические индикаторы этого процесса применительно к породам основного состава детально рассмотрены в ряде работ [4-6].

В случае коровой контаминацией расплава для пород второй фазы массива Орцог-Ула относительно пород первой фазы при увеличении K_2O, TiO_2 и P_2O_5 происходило бы уменьшение концентрации MgO. В нашем случае при одинаковом содержании MgO в породах обеих фаз, породы второй фазы резко обогащены K_2O, TiO_2 и P_2O_5 [2]. Кроме того, отсутствует корреляция между величинами εNd(t) и главными индексами коровой контаминации, такими как содержание SiO_2, Mg#, $(La/Sm)_n$ для изученных пород (Рисунок 1).

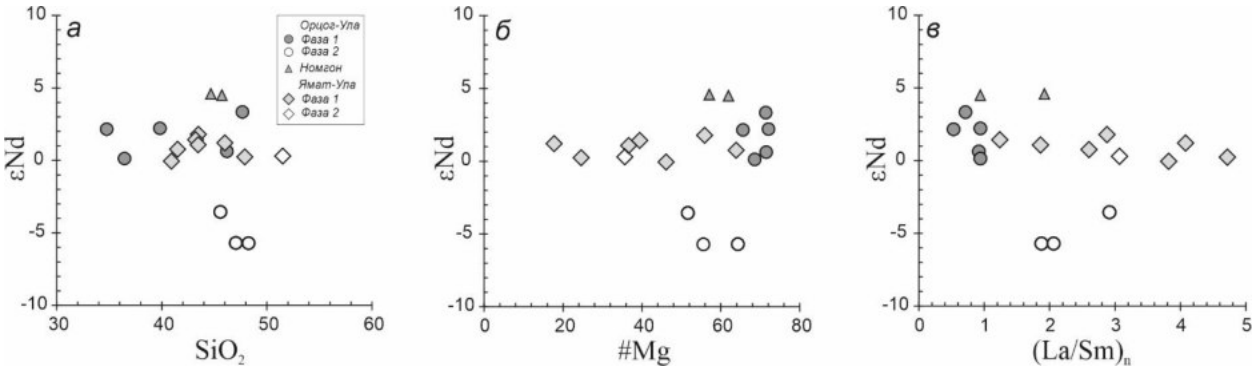

Рисунок 1. Бинарные диаграммы εNd - SiO_2 (а), εNd - Mg# (б), εNd - $(La/Sm)_n$ (в) для пород массивов Орцог-Ула, Номгон и Ямат-Ула

Для изученных массивов также определен изотопный состав серы. Все значения $\delta^{34}S$ сульфидной минерализации массивов близки и составляют от 0,01 до 2,5‰, что находится в пределах типичного мантийного диапазона [7]. Эти значения позволяют предположить, что «мантийный» изотопный состав серы отражает первичную сульфидную ассоциацию, которая не была изменена взаимодействием в глубинной камере, во время перехода на поверхность или ассимиляцией in situ [8].

Изотопные данные по породам (Sm-Nd, Rb-Sr, S) свидетельствуют о формировании ультрамафит-мафитовых массивов Хангайского региона из двух мантийных источников: деплетированного и обогащенного, и без участия коровой контаминации.

Финансирование: Работа выполнена по государственному заданию ИГМ СО РАН (№ 122041400044-2).

Список литературы:

1. Изох А.Э., Поляков Г.В., Кривенко А.П., Богнибов В.И., Баярбилэг Л. Габброидные формации Западной Монголии. Новосибирск. Наука. 1990. 269 с.
2. Шаповалова М.О., Толстых Н.Д., Шелепаев Р.А., Цибизов Л.В. Петрология и геохронология перидотит-троктолит-габбрового массива Орцог-Ула (Западная Монголия). Геология и геофизика. 2019. Т. 60. № 8. С. 1069–1090.
3. Shelepaev R., Shapovalova M., Egorova V., Shelepov Y., Oyunchimeg T-U, Tolstykh N. Petrology and Age of the Yamaat Uul Mafic Complex, Khangai Mountains, Western Mongolia. Minerals. 2023. V. 13 (6). P. 833.
4. Puchtel I.S., Haase K.M., Hofmann A.W., Chauvel C., Kulikov V.S., Garbe-Schönberg C.-D., Nemchin A.A. Petrology and geochemistry of crustally contaminated komatiitic basalts from the Vetreny Belt, southeastern Baltic Shield: evidence for an early Proterozoic mantle plume beneath rifted Archean continental lithosphere. Geochimica et Cosmochimica Acta. 1997. V. 61. P. 1205–1222.
5. Polat A., Li J., Fryer B., Kusky T., Gagnon J., Zhang S. Geochemical characteristics of the Neoarchean (2800–2700 Ma) Taishan greenstone belt, North China Craton: evidence for plume–craton interaction. Chemical Geology. 2006. V. 230. P. 60–87.
6. Туркина О.М., Сухоруков В.П., Родионов Н.В. Палеопротерозойские шошонитовые мафические ассоциации Иркутного блока (Шарыжалгайский выступ, юго-запад Сибирского кратона): U-Pb возраст и условия образования циркона. Геология и геофизика. 2023. Т. 64. № 6. С. 808–822.
7. Chaussidon M., Lorand J.-P. Sulphur isotope composition of orogenic spinel lherzolite massifs from Ariege (North-Eastern Pyrenees, France): An ion microprobe study. Geochimica et Cosmochimica Acta. 1990. V. 54. P. 2835–2846.
8. Arndt N.T., Czamanske G.K., Walker R.J., Chauvel C., Fedorenko V.A. Geochemistry and origin of the intrusive hosts of the Noril'sk-Talnakh Cu-Ni-PGE sulfide deposits. Economic Geology. 2003. V. 98. P. 495-515.

Секция Региональная геология и тектоника

РАСКРЫТЫЕ R-СКОЛЫ, КАК ОСНОВНОЙ РУДОКОНТРОЛИРУЮЩИЙ ЭЛЕМЕНТ ТРЕЩИННОГО СДВИГОВОГО СТРУКТУРНОГО ПАРАГЕНЕЗА БАИМСКОЙ РУДНОЙ ЗОНЫ НА ПРИМЕРЕ ЕГДЫКГЫЧСКОГО МАССИВА

Арешин Н.А.

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия
*e-mail: skaut1909@mail.ru

Аннотация. Баимская рудная зона (далее БРЗ) – кластер крупных месторождений цветных и драгоценных металлов. В этой работе рассматривается центральный участок БРЗ с относительно крупным Егдыгкычским массивом, так как данный участок хорошо изучен. В результате исследования установлено, что именно раскрытые R-сколы, к некоторым из которых приурочены уже известные самые крупные месторождения БРЗ, являются основным рудоконтролирующим элементом трещинного сдвигового структурного парагенеза Егдыгкычского массива Баимской рудной зоны.

Ключевые слова: Баимская рудная зона, Баимская медно-порфировая зона, сдвиговая тектоника, физическое аналоговое моделирование, аналоговое моделирование

THE REVEALED R-SHEARS AS THE MAIN ORE-CONTROLLING ELEMENT OF THE FRACTURED SHEAR STRUCTURAL PARAGENESIS OF THE BAIMSKAYA ORE ZONE ON THE EXAMPLE OF THE EGDYKGYCHSKY INTRUSIVE

Areshin N.A.

M.V. Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia, skaut1909@mail.ru

Abstract. The Baimskaya Ore zone (hereinafter BRZ) is a cluster of large deposits of non–ferrous and precious metals. In this work, the central section of the BRZ with a relatively large Egdygkychsky intrusive is considered, since this section has been well studied. As a result of the study, it was found that the disclosed R-shears, some of which are associated with the already known largest deposits of the BRZ, are the main ore-controlling element of the fractured shear structural paragenesis of the Egdygkych intrusive of the Baimskaya ore zone.

Keywords: Baimskaya ore zone, Baimskaya copper and porphyry area, strike-slip tectonic, physical analogue modeling, analogue modeling

Баимская рудная зона (далее БРЗ) широко известна как кластер крупных месторождений цветных и драгоценных металлов. Она представляет собой зону сложного сдвига шириной от 20 до 30 км, испытавшую несколько этапов деформации. Во время первого этапа (левосторонний сдвиг) сформировалось несколько извилистых пересекающих разломов, на втором этапе произошло внедрение раннемеловых гипабисальных интрузивных тел, испытавших деформацию в условиях правого сдвига. С этими телами связана медно-порфировая и золото-серебряная эпитермальная минерализация. Месторождения и рудопроявления располагаются преимущественно внутри интрузивных тел и в их ближайших окрестностях, при этом структурный парагенез контролирует размещение рудных штокверков [2, 3]. В связи с этим, **целью работы** является выявление типа разрывов, наиболее перспективных к рассмотрению в качестве потенциально рудоносных структур.

Данные и методы исследования. В этой работе рассматривается центральный участок БРЗ с относительно крупным Егдыгкычским массивом, так как данный участок хорошо изучен [2, 3, 4], а также в силу того, что разрывы здесь образуют хорошо дешифрируемые упорядоченные системы, что позволяет сравнивать их с результатами аналогового моделирования.

Эксперименты осуществлялись на приборе для тектонофизического моделирования с движущейся столешницей и двумя стенками – неподвижной и передвигающейся вместе со столешницей. Модели интрузивных тел помещались в различные условия: сдвига неоднородного по вертикали и латерали (модель «осадочный чехол над разломом в фундаменте»), квазиоднородного (простого). Для моделирования интрузивного массива в зоне сдвига, неоднородного по вертикали и латерали, к прибору прикреплялись две параллельно смещающиеся покрытые шипованным материалом доски, одна из которых была жёстко прикреплена к неподвижной стенке, а другая – к подвижной столешнице. Для моделирования квазиоднородной зоны сдвига использовалось оригинальное приспособление, по принципу работы аналогичное описанному Т. Дулли и Дж. Шрёурсу [5], подробно описанное Н.С. Фроловой с соавторами [1]. Получившаяся модель деформировалась в условиях правого сдвига со скоростью 5-8 см/час.

В результате серии предварительных опытов для вмещающих пород (матрикса) была выбрана влажная каолиновая глина [1]. Для имитации интрузивных тел лучше всего подошла влажная фаянсовая глина и песок.

Были построены розы-диаграммы азимутов простирания трещиноватости и даек, а также использованы результаты сделанных ранее расчётов приуроченности минерализации к разным системам разрывов [1] для выявления разрывов, наиболее перспективных к рассмотрению в качестве потенциально рудоносных структур.

Результаты экспериментов и их обсуждение. Результаты моделирования, а также построенные розы-диаграммы указывают, что многочисленные R-сколы, развитые как в самом теле, так и во вмещающих породах, ориентированы под углом в среднем 20° к направлению сдвигания (Рисунок 1). Точно такую же ориентировку имеют многочисленные меридиональные разрывы в интрузивных массивах БРЗ и их окрестностях. Выдвинутое А.Ф. Читалиным [2, 3] предположение о том, что такие разрывы в БРЗ сформировались не в условиях сдвига, а в условиях растяжения в свете этих данных видится маловероятным, так как в БРЗ не выявлено иных структур, указывающих на такую ориентировку оси растяжения.

Ориентировка даек, которые по идее должны указывать на ориентировку оси растяжения, мало коррелируются с ожидаемой ориентировкой трещин отрыва на территории БРЗ. Скорее всего это связано с тем, что дайки внедрились после того, как интрузивное тело деформировалось в условиях правого сдвига.

Заключение. В Баимской рудной зоне медно-порфировое осреднение приурочено именно к R-сколам. Эпитермальное золото-серебряное оруднение приурочено более к трещинам отрыва, однако, так как сколы Риделя – изначально ослабленная зона, т.е. зона повышенной проницаемости, часть золото-серебрянных оруднений так же коррелируется с R-сколами. Так как для миграции транспортирующих руды флюидов нужна открытая трещиноватость, то именно раскрытые R-сколы, к некоторым из которых приурочены уже известные самые крупные месторождения Баимской рудной зоны, являются основным рудоконтролирующим элементом трещинного сдвигового структурного парагенеза Егдыгкычского массива Баимской рудной зоны.

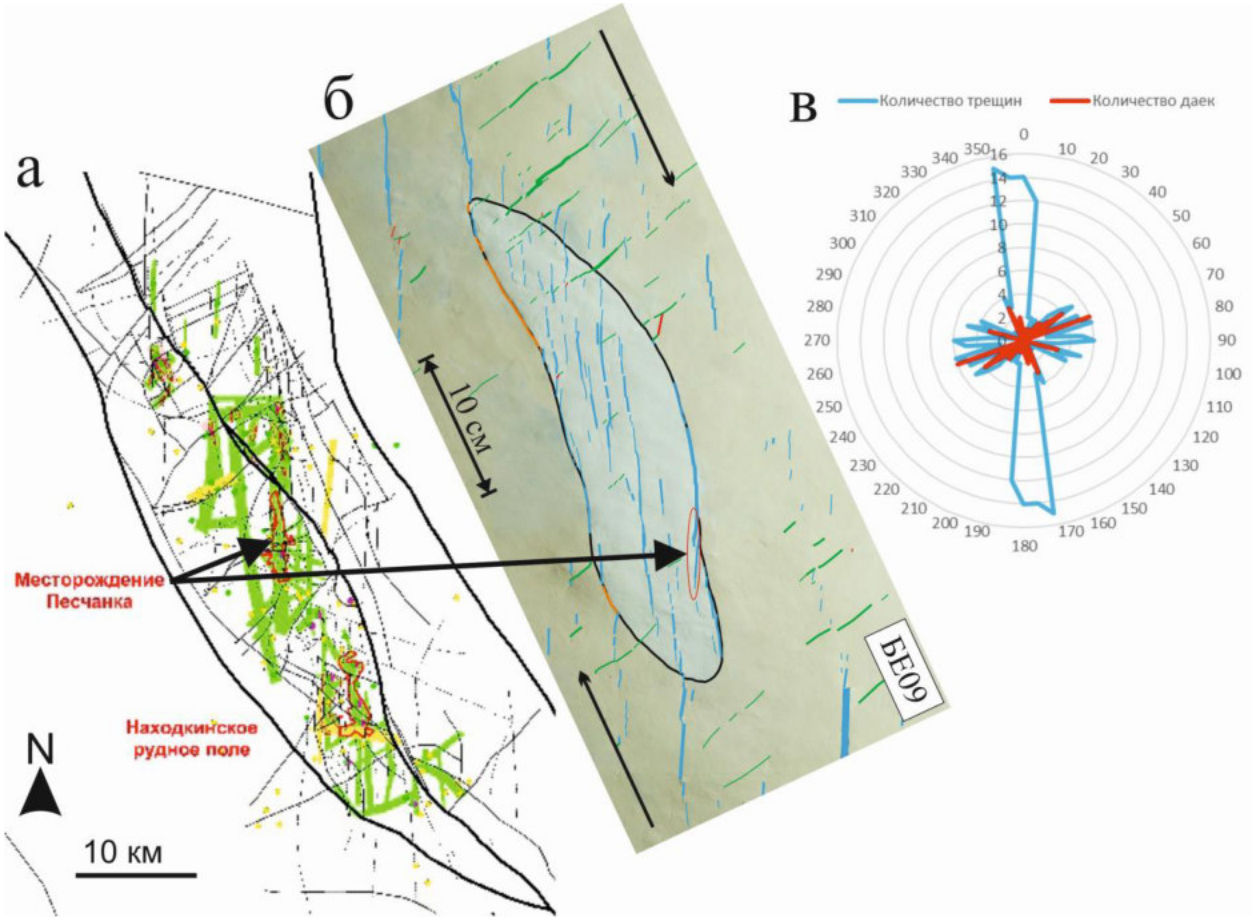

Рисунок 1. Сравнение ориентировки разрывов в эксперименте с ориентировкой разрывов и даек в природе: а – зоны проницаемости (разрывы) по данным аэромагнитной съемки на Баимской площади [2], б – опыт БЕ09 с дешифрированными сколами Риделя, в – роза-диаграмма.

Список литературы:

1. Фролова Н. С., Арешин Н. А. Кара Т. В., Читалин А. Ф. Аналоговое моделирование хрупких деформаций в интрузивных массивах Баимской рудной зоны (Западная Чукотка). Труды VII Международной геолого-геофизической конференции ГеоЕвразия-2024. Геологоразведочные технологии: наука и бизнес. Т. 1. Тверь. ПолиПРЕСС. 2024. С. 253–257.
2. Читалин А.Ф. Геолого-структурная интерпретация геофизических и геохимических аномалий Баимской рудной зоны, Западная Чукотка. ГеоЕвразия - 2019. Современные технологии изучения и освоения недр Евразии: сб. материалов Междунар. геолого-геофизической конф. и выставки. Тверь. ПолиПРЕСС. 2019а. С. 961-966.
3. Читалин А.Ф. Структурные парагенезы и рудная минерализация Баимской сдвиговой зоны, Западная Чукотка. Российская тектонофизика. К 100-летнему юбилею Михаила Владимировича Гзовского: сборник статей. Апатиты. ФИЦ КНЦ РАН. 2019б. С. 343-359.
4. Читалин А.Ф., Николаев Ю.Н. Отчёт по объекту «Поисково-оченочныеработы на медь и золото в пределах Баимской перспективной площади в 2009-2014 гг.»
5. Dooley T.P., Schreurs G. Analogue modelling of intraplate strike-slip tectonics: A review and new experimental results. Tectonophysics. 2012. V. 574–575. P. 1–71.

ПРИЗНАКИ КОМПРЕССИОННОГО СОБЫТИЯ В ПЕРИОД ФОРМИРОВАНИЯ АНАДЫРСКОГО СЕГМЕНТА ОХОТСКО-ЧУКОТСКОГО ПОЯСА

Гаинцев И.А.[1,2], Тихомиров П.Л.[1,2], Тевелев А.В.[1]*

[1]Геологический факультет Московского Государственного университета им. М.В. Ломоносова, Ленинские горы, 1, Москва, 119991, Россия
[2]Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт им. Н.А. Шило Дальневосточного отделения Российской академии наук (СВКНИИ ДВО РАН), ул. Портовая, 16, Магадан, 685000, Россия
*e-mail: ivan-gaintsev1@yandex.ru

Аннотация. Оконайто-Пеледонское поднятие – крупная структура Анадырского сегмента Охотско-Чукотского вулканического пояса (ОЧВП), выделяющаяся значительной долей площади, занятой интрузивами гранитоидов (около 30%). $^{40}Ar/^{39}Ar$ возраст стратифицированных вулканитов поднятия – 104,9±2,9 млн. лет, а интрудирующих их гранодиоритов Пеледонского батолита – 103,2±1,4 млн. лет. Данный массив со следами размыва перекрыт вулканитами, связанными с главным импульсом активности ОЧВП (89-83 млн. лет). Такой перерыв в накоплении вулканитов может быть связан с компрессионным событием, случившемся в позднеальбско-туронское время в районе Анадырского сегмента.

Ключевые слова: Охотско-Чукотский пояс, Оконайто-Пеледонское поднятие, $^{40}Ar/^{39}Ar$ геохронология, компрессионное событие

EVIDENCE FOR A COMPRESSION EVENT DURING THE FORMATION OF THE ANADYR SEGMENT OF THE OKHOTSK-CHUKOTKA BELT

Gaintsev I.A.[1,2], Tikhomirov P.L.[1,2], Tevelev A.V.[1]

[1]M.V. Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geology, Moscow, Russia
[2]N.A. Shilo Northeastern Interdisciplinary Research Institute of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Magadan, Russia

Abstract. The Okonaito-Peledon uplift is a large structure of the Anadyr segment of the OCVB, with a considerable share of the area occupied by granitoids. 40Ar/39Ar the age of the stratified volcanics of the uplift is 104.9±2.9 m.y., and the granodiorites of the Peledonian batholith intruding them are 103.2±1.4 m.y. This massif with traces of erosion is overlain by volcanites associated with the main pulse of activity of the OCVB (89-83 m.y.). Such a break in the accumulation of volcanites may be associated with a compression event that occurred in the Late Albian-Turonian period in the Anadyr segment.

Keywords: Okhotsk-Chukotka volcanic belt, Okonaito-Peledon uplift, $^{40}Ar/^{39}Ar$ geochronology, compression event

Охотско-Чукотский вулканический пояс (ОЧВП) является одной из крупнейших окраинно-континентальных вулканических провинций фанерозоя. Его протяженность составляет более 3000 км при ширине 100-200 км. Принятый возрастной интервал ОЧВП находится в диапазоне от 106 до 79 млн. лет назад [4, 7].

Доля площади, занятой плутоническими породами в различных структурах ОЧВП, весьма изменчива. В Охотском сегменте ОЧВП она составляет 37.0%, в Центрально-Чукотском – 1.9%, в Анадырском – 11.6% [4]. Вероятная причина этих вариаций – различия в уровне эрозионного среза.

Оконайто-Пеледонское поднятие расположено в Анадырском сегменте ОЧВП в междуречье рр. Яблон – Большой Пеледон, правых притоков р. Анадырь. Протяженность

данной структуры составляет 110-120 км при ширине до 60 км [1, 6]. Данная структура включает серию крупных гранит-гранодиоритовых батолитов, в плане вытянутых вдоль простирания Анадырского сегмента ОЧВП и занимающих около 30% ее общей площади. Остальное составляют вулканиты, традиционно относимые к ранним формациям ОЧВП («нижние андезиты», по [1]). Для нижнего стратона (саламихинской свиты) $^{40}Ar/^{39}Ar$ возраст амфибола составляет 104,9±2,9 млн. лет [5]. Для биотита из гранодиоритов Пеледонского батолита, интрудирующего «нижние андезиты» Анадырского сегмента ОЧВП (саламихинской и вилковской свит), $^{40}Ar/^{39}Ar$ определение показало возраст 103,2±1,4 млн. лет [4]. Поскольку этот же интрузив со следами размыва перекрыт сравнительно молодыми вулканитами (еропольской свиты, по [2]), по ряду признаков сходными с продуктами главного импульса активности ОЧВП (89-83 млн. лет [4,7]), то в позднеальбско-туронское время (103-89 млн. лет) средняя скорость эрозии данного участка значительно превосходила скорость накопления новых вулканитов. Весьма вероятно, что это воздымание, затронувшее всю площадь Оконайто-Пеледонского поднятия, связано с компрессионным событием. Указания на компрессионные деформации комплексов Охотско-Чукотского пояса встречаются редко – в первую очередь, в работах исследователей Пенжинского сегмента ОЧВП [3, 6], и сам факт существования подобных деформаций оспаривается: на государственных геологических картах, включая их новые издания, надвиги в комплексах ОЧВП не показаны [2]. Данный вопрос, важный для понимания мезозойской тектонической истории Северо-Западной Пацифики, требует дальнейшего исследования, в первую очередь, с привлечением современных методов изотопного датирования.

Финансирование: Работы были проведены в рамках проекта «Разработка критериев рудоносности магматических комплексов» СВКНИИ ДВО РАН (проект 124051600003-4), Госзадания СВКНИИ ДВО РАН (тема 121031700312-1) и Госзадания Геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова.

Список литературы:

1. Белый В.Ф. Стратиграфия и структуры Охотско-Чукотского вулканогенного пояса. Москва. Наука. 1977. 171 с.
2. Малышева Г.М., Исаева Е.П., Тихомиров Ю.Б., Вяткин Б.В. Государственная геологическая карта Российской Федерации (новая серия). Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Чукотская, л. Q-59 – Марково. Объяснительная записка. СПб. Картфабрика ВСЕГЕИ. 2012. 226 с.
3. Монтин С.А. Складчато-надвиговые дислокации верхнемеловых вулканитов Охотско-Чукотского вулканогенного пояса. Вестник МГУ. Сер. 4. Геология. 1992. № 2. С. 88–91.
4. Тихомиров П.Л. Меловой окраинно-континентальный магматизм Северо-Востока Азии и вопросы генезиса крупнейших фанерозойских провинций кремнекислого вулканизма. Москва. ГЕОС. 2020. 367 с.
5. Тихомиров П.Л., Акинин В.В., Исполатов В.О., Александер П., Черепанова И.Ю., Загоскин В.В. Возраст северной части Охотско-Чукотского вулканогенного пояса: новые данные Ar-Ar и U-Pb геохронологии. Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2006. Т. 14. № 5. С. 67–81.
6. Филатова Н.И. Периокеанические вулканогенные пояса. Москва. Наука. 1988. 264 с.
7. Akinin V.V., Miller E.L., Toro J., Prokopiev A.V., Gottlieb E.S., Pearcey S., Polzunenkov G.O., Trunilina V.A. Episodicity and the dance of late Mesozoic magmatism and deformation along the northern circum-Pacific margin: North-eastern Russia to the Cordillera. Earth-Science Reviews. 2020. V. 208. 103272.

ВОЗРАСТ ПОЗДНЕДОКЕМБРИЙСКИХ ВУЛКАНИЧЕСКИХ И ВУЛКАНОГЕННО-ОСАДОЧНЫХ ПОРОД БОЛЬШОГО КАРАТАУ

Колесов К.К., Иванов А.В.*

Институт геологии и минералогии им В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия
*e-mail: konstkolesov@igm.nsc.ru

Аннотация. Приведены результаты U-Pb датирования цирконов из вулканогенно-осадочных пород бакырлинской свиты и вулканических пород кайнарской свиты (хребет Большой Каратау, Южный Казахстан). Совместное накопление карбонатных и вулканогенно-осадочных пород бакырлинской свиты происходило на рубеже 770 млн лет. С целью получения данных о возрасте кайнарской свиты были проведены U-Pb геохронологические исследования для четырех проб, в результате которых были получены следующие возраста: 743±5 млн лет, 745±5 млн лет, 766±3 млн лет, 787±4 млн лет.

Ключевые слова: U-Pb датирование зерен циркона, бакырлинская свита, кайнарская свита, Большой Каратау

THE AGE OF THE LATE PRECAMBRIAN VOLCANIC AND VOLCANOGENIC SEDIMENTARY ROCKS OF BOLSHOY KARATAU

Kolesov K.K., Ivanov A.V.*

V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, Novosibirsk, Russia
*e-mail: konstkolesov@igm.nsc.ru

Abstract. The results of U-Pb dating of zircons from volcanogenic sedimentary rocks of the Bakyrli Formation and volcanic rocks of the Kainar Formation (Bolshoy Karatau Ridge, Southern Kazakhstan) are presented. The combined deposition of carbonate and volcanogenic sedimentary rocks in the Bakyrli Formation took place within a range of 770 million years. In order to obtain data on the age of the Kainar Formation, U-Pb geochronological studies were conducted on four samples, yielding the following ages: 743 ± 5 million years, 745 ± 5 million years, 766 ± 3 million years, and 787 ± 4 million years.

Keywords: U-Pb dating of zircon grains Bakyrli Formation, Kainar Formation, Bolshoy Karatau

В пределах Центрально-Азиатского складчатого пояса (ЦАСП) представлены структуры со значительно более длительной историей развития, предшествующей образованию Палеоазиатского океана. Эти структуры, представленные террейнами с докембрийской корой, которые в пределах пояса образуют разного размера блоки. Террейны имеют различное происхождение, что отражается в их строении и истории формирования. В пределах западной части ЦАСП присутствуют докембрийские континентальные блоки, такие как Кокчетавский, Улутауский, Актау-Моинтинский и другие [3,4]. Метаморфические, магматические и осадочные комплексы в пределах этих блоков достаточно хорошо изучены, что позволяет реконструировать историю их развития. Наименее изученным является Каратау-Джебаглинский блок, расположенный в пределах хребта Большой Каратау.

В пределах Каратау-Джебаглинского блока наиболее древними являются карбонатные отложения, по объему отвечающие бакырлинской свите. Залегание карбонатных отложений на более древних толщах не установлено. Состав свиты довольно однообразен и представлен известняками и доломитами. Отложения бакырлинской свиты накапливалась в условиях шельфового мелководного морского бассейна в обстановке

стабильного тектонического режима. Для них характерна выдержанность строения на значительных расстояниях. Встречаются строматолитовые постройки. Мощность свиты достигает 900 м [1]. Карбонатные породы свиты прорываются граносиенитами Кумыстинского масиива с возрастом 717 млн лет [2], что указывает на более древний возраст осадочных пород.

Кайнарская свита по объему значительно больше других свит рифея. Характер взаимоотношений осадочно-вулканогенных толщ данной свиты с подстилающими карбонатными отложениями бакырлинской свиты среднего рифея не установлен. В составе свиты участвуют метаморфизованные конгломераты, песчаники, сланцы, песчанистые известняки, кварцевые порфиры, андезитовые и диабазовые порфиры, спилиты, различные туфы и туфолавы. Также в пределах Большого Каратау широко развиты карбонатно-терригенные отложении вендского возраста, охватывающие ранскую, косшокинскую и курайлинскую свиты.

О стратиграфии верхнедокембрийских отложений Большого Каратау до настоящего времени нет единой точки зрения. Возраст и взаимоотношения стратиграфических подразделений, часто разделенных разломами, дискуссионные и по мере поступления новых данных подвергаются обсуждению.

Во время полевых исследований в пределах восточного склона хребта большой Каратау примерно в 7 км от поселка Бакырлы, в коренном обнажении был обнаружен и изучен 30-метровый горизонт вулканогенно-осадочных пород в средней части разреза бакырлинской свиты. Карбонатные отложения бакырлинской свиты залегают согласно с вулканогенно-осадочным горизонтом. Данный горизонт подстилается и перекрывается доломитизированными известняками. С целью оценки времени образования этих вулканогенно-осадочных пород было проведено U-Pb датирование цирконов. Возраст наиболее молодой популяции цирконов из вулканогенно-осадочных пород бакырлинской свиты близок с оценкой временного интервала накопления карбонатных пород этой свиты по данным Sr-хемостртаиграфии. Совместное накопление карбонатных и вулканогенно-осадочных пород происходило в мелководном осадочном бассейне на рубеже 770 млн лет. При этом основная популяция цирконов, более 50% представлена зернами с палеопротерозойским возрастом в интервале 2- 2,5 млрд лет при незначительном вкладе неопротерозойских источников, что указывает на формирование этих пород в составе древнего континентального блока. В пробе К–285/19, для которой были получены оценки возраста бакырлинской свиты наблюдается преобладание К над Na с отношением K_2O/Na_2O 1,84/0,11.

Изучены вулканиты кайнарской свиты, которые представлены риолитами и риодацитами и реже дацитами. По отношению K_2O/Na_2O выделено две группы вулканических пород – одни калиевой специализации (1,9-2,9), другие натровой (0,03-.52).

Для получение данных о возрасте кайнарской свиты были проведены U-Pb геохронологические исследования по цирконам (из фракции 0,01-0,25 мм) для 4-х проб, отобранных в северо-западном окончании хребта Большой Каратау. Для всех проб цирконы в основном представлены обломками кристаллов бипирамидально-короткопризматического габитусов, а также их внутреннее строение характеризуются осцилляторной зональностью.

Две пробы риолитов натровой специализации (Г-30/22 – N 44°36´25,9´´, E 067°18´22,1´´ и Г- 39/23 - N 44°30´57,7´´, E 067°26´37,1´´), имеют близкий возраст 743±5 млн лет и 745±5 млн лет, соответственно. Для двух проб вулканитов калиевой специализации

(Г-29/22 - N 44°36′30,9′′, E 067°18′32,2′, Г-21/23 -N 44°35′46,9′′, E 067°19′38,8′′), представленных риолитом и дацитом установлены возраст 766±3 млн лет и 787±4 млн лет, соответственно.

В результате проведенных исследований можно сделать вывод, о двух позднерифейских этапах тектоно-магматической активизации в пределах Каратау-Джебаглинского блока. Подобие вулканических проб кайнарской свиты Г-30/22 и Г-39/23 по возрасту и наличие обогащение Na позволяет утверждать, что они были сформированы в результате одного магматического события.

Вулканогенно-осадочных пород бакырлинской свиты и K-вулканических пород кайнарской свиты формировались в интервале 766-787 млн лет в результате тектоно-магматической активизации древнего континентального блока в мелководном шельфовом бассейне, где на удалении от берега происходило накопление карбонатных пород при синхронном вулканизме риолитового и дацитового Это позволяет нам считать, что кайнарская и бакырлинская свиты являются единой осадочно-вулканогенной последовательностью и следовательно одним стратиграфическим подразделением.

Вулканических породы Na-специализации кайнарской свиты являются проявлением более молодого вулканического события в пределах Большого Каратау, проявленного на рубеже 740 млн лет и является самостоятельным стратиграфическим подразделением в составе позднедокембрийской стратифицированной последовательности Каратау-Джебаглинского блока.

Финансирование: Работа выполнена в рамках Государственного задания ИГМ СО РАН (№ 122041400214-9).

Список литературы.

1. Абдулин А.А., Азербаев Н.А., Ергалиев Г.Х., Касымов М.А., Никитин И.Ф., Цирельсон Б.С., Чимбулатов М.А. Геология и металогения Каратау. Т. 1. Геология. Алма-Ата. Наука. 1986. 240 с.
2. Дегтярев К.Е., Третьяков А.А., Сальникова Е.Б., Котов А.Б. Кумыстинский граносиенитовый комплекс позднего криогения в Большом Каратау (Южный Казахстан), обоснование возраста. Доклады академии наук. 2019. Т. 484. №5. С. 579-583.
3. Ярмолюк В.В., К.Е. Дегтярев К.Е. Докембрийские террейны Центрально-Азиатского орогенного пояса: сравнительная характеристика, типизация и особенности тектонической эволюции. Геотектоника. 2019. № 1. С. 3-43
4. KrönerA., Kovach V., Alexeiev D., Wang K-L., Wong J., Degtyarev K., Kozakov I. No excessive crustal growth in the Central Asian Orogenic Belt: Further evidence from field relationships and isotopic data. Gondwana Research. 2017. V. 50. P. 135–166.

К ВОПРОСУ О РАСЧЛЕНЕНИИ РИФЕЙСКИХ НЕКЮЛЭЭХСКОЙ И ЧУРБУКСКОЙ СВИТ ВОСТОЧНОГО СКЛОНА АНАБАРСКОГО ЩИТА

Савельев А.Д.[1,2*]

[1] Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского, Санкт-Петербург, Россия
[2] Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия
*e-mail: aleksandr.d.savelev@gmail.com

Аннотация. В работе приведены результаты исследования рифейских некюлээхской и чурбукской свит на восточном склоне Анабарского щита. Была установлена возможность их расчленения на основе составленного опорного разреза на руч. Огоннер-Юряге (территория листа R-49-XXIII, XXIV, Куонамская площадь). Однако результаты исследования толщ на западном склоне Анабарского щита показали, что их разделение на некюлээхскую и чурбукскую свиты недостаточно обосновано. Свиты сформировались в ходе единого непродолжительного цикла длительностью не более 10 млн лет, поэтому будет логичнее рассматривать их как подсвиты юсмастахской свиты.

Ключевые слова: Анабарский щит, рифей, юсмастахская, некюлээхская и чурбукская свиты

ON THE PROBLEM OF DISSECTION OF THE RIPHEAN NEKYULEKH AND CHURBUKH FORMATIONS OF THE EASTERN SLOPE OF THE ANABAR SHIELD

Savelev A.D.[1,2]

[1]All-Russian Geological Research Institute of A.P. Karpinsky, St. Petersburg, Russia, aleksandr.d.savelev@gmail.com
[2]St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

Abstract. The paper presents the results of the study of the Riphean Nekyulekh and Churbuk formations on the eastern slope of the Anabar Shield. The possibility of their dissection was established on the basis of the compiled reference section on the Ogonner-Yuryage Creek (territory of the R-49-XXIII, XXIV, Kuonamskaya area). However, the results of the study of the strata on the western slope of the Anabar Shield showed that their division into the Nekyulekh and Churbuk Formation is insufficiently justified. The formations were formed during a single short cycle lasting no more than 10 Ma, so it would be more logical to consider them as subformations of the Yusmastakh Formation.

Keywords: Anabar Shield, Riphean, Yusmastakh, Nekyulekh and Churbukh formations

Анабарский щит расположен на севере Сибирской платформы и представляет собой крупный выход архей-протерозойского кристаллического фундамента, локально перекрытый раннепротерозойской корой выветривания. На породах фундамента с резким угловым несогласием залегают рифейские осадочные комплексы, представленные терригенной мукунской и согласно залегающей выше терригенно-карбонатной билляхской сериями. Рифейские толщи занимают неширокие протяженные полосы вдоль западного и восточного обрамления Анабарского щита, с более высокими мощностями на западе. В связи с этим, большинство описанных разрезов свит (как и их стратотипов) расположено на западном своде Анабарского щита, в то время как восточный склон изучен относительно слабо: во время проведения среднемасштабной геологической съемки в 1964-1973 гг, рассматриваемые отложения некюлээхской и чурбукской свит были закартированы как нерасчлененная верхнебилляхская подсвита, поэтому в настоящее время поля их развития

не разделены [2]. Основной целью данной работы является расчленение рифейских некюлээхской и чурбукской свит билляхской серии на восточном склоне Анабарского щита

В основу исследования легли результаты полевых работ Анабарской партии-2 Института Карпинского в 2023 г. (территория листа R-49-XXIII, XXIV, Куонамская площадь), а также ретроспективные материалы и новые данные по геологическому строению западной оконечности Анабарского щита.

Отложения билляхской серии представлены котуйканской, некюлээхской и чурбукской свитами. Некюлээхская и чурбукская свиты ранее были известны как верхнебилляхская подсвита [6], а позднее как юсмастахская свита [7]. В составе юсмастахской свиты выделялись две подсвиты, между которыми хорошо устанавливались различия по строению ритмов, характеру переслаивания, количественному соотношению пород и резкой смене видового состава органических остатков [5, 8]. Эти отличия привели к выделению отдельных некюлээхской и чурбукской свит. Предполагалось, что породы некюлээхской свиты имеют среднерифейский возраст, чурбукской – верхнерифейский, а в двухсотмиллионном интервале между ними сформировались котуйканский (~ 1017 млн лет) и чиэресский (~ 950 млн лет) магматические комплексы [2, 3].

Однако недавние исследования рифейских осадочных разрезов на восточном склоне Анабарского щита показали, что осадки всех свит билляхской серии отлагались в ходе единого непродолжительного (длительностью не более 10 млн лет) цикла и сформировались в нижнем рифее, около 1513 ± 35 млн лет назад [1]. В ряде публикаций существование чиэресского и котуйканского магматических комплексов было поставлено под сомнение: U-Pb методом датирования по бадделеиту возраста тел-петротипов были определены в 1380 и 1500 млн лет соответственно [9, 10]. В ходе полевых работ 2023 г. в районе р. Дюкен и руч. Огоннёр-Юряге автором был составлен опорный разрез по породам билляхской серии (рис. 1). В верхней части разреза, относимой к некюлээхской и чурбукской свитам, было выделено 3 пачки:

1) Косослоистые песчаники и гравелиты, розового и вишневого цвета (10 м);
2) Массивные серые строматолитовые доломиты с прослоями филлитовидных сланцев, глинистыми прослоями и оолитовыми доломитами ближе к кровле пачки (35 м);
3) Массивные пестроокрашенные пятнистые доломиты светло-розового цвета, вишнёвые к кровле пачки (85 м).

Первая и вторая пачка могут быть соотнесены с некюлээхской свитой, а третья – с чурбукской. В целом, представленный разрез соответствует описаниям предшественников [4], хотя нужно отметить, что его общая мощность составила всего около 130 м, в то время как ранее она оценивалась в 180-240 м [4]. Тем не менее, в обоих случаях не было установлено резкого несогласия между 2 и 3 пачками, а разрез билляхской серии, так же как на и на западной оконечности Анабарского щита, прорывается базитовыми дайками с возрастом около 1500 млн лет [9].

Таким образом, по результатам проведённой работы можно сделать следующие выводы:

1. На основании описания опорного разреза по руч. Огоннёр-Юряге на восточной оконечности Анабарского щита возможно расчленение некюлээхской (1 и 2 пачка) и чурбукской (3 пачка) свит по границе между 2 и 3 пачками.
2. Исходя из имеющихся геологических данных, выделение некюлээхской и чурбукской свит выглядит недостаточно обосновано. Более логичным будет возвращение

единой юсмастахской свиты, внутри которой возможно выделение некюлээхской и чурбукской подсвит.

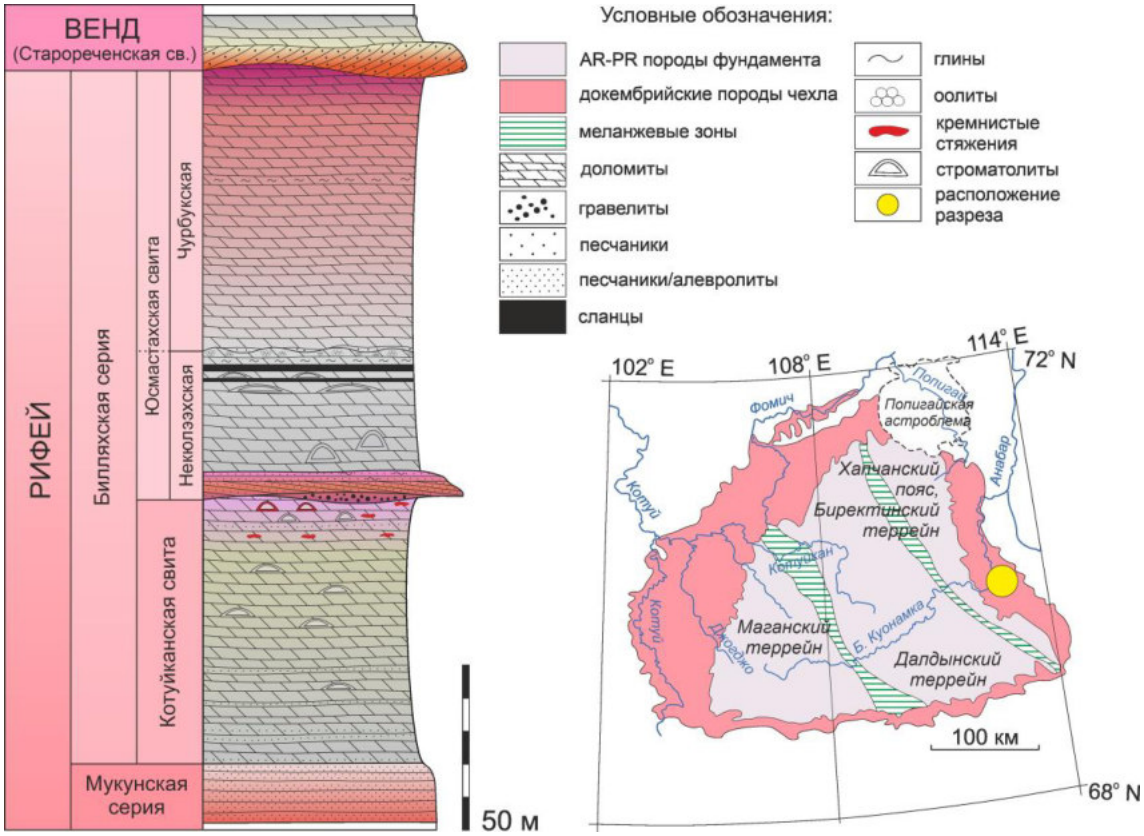

Рисунок 1. Разрез билляхской серии в районе р. Дюкен и руч. Огоннёр-Юряге по полевым наблюдениям автора (2023 г.).

Список литературы:

1. Горохов И. М., Кузнецов А. Б., Семихатов М. А., Васильева И. М., Ризванова Н. Г., Липенков Г. В., Дубинина Е. О. Раннерифейская билляхская серия Анабарского поднятия, Северная Сибирь: изотопная С-О геохимия и Pb-Pb возраст доломитов. Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2019. Т. 27. № 5. С. 19-35
2. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:1000000, Анабаро-Вилюйская серия, лист R-49. 2016
3. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1: 1 000 000, Серия Анабаро-Вилюйская. Лист R-48 – Хатанга. 2015.
4. Государственная геологическая карта СССР масштаба 1:200000. Серия Анабарская. Листы R-49-XXIII, XXIV. 1965.
5. Злобин М. Н. О расчленении билляхской серии синийского комплекса. Ученые записки НИИГА. Региональная геология. № 13. 1968. С. 135–143.
6. Лопатин Б.Г. О синийских отложениях юго-восточного и восточного склонов Анабарского поднятия. Информационный сборник НИИГА. 1963. № 32. С. 21-28.
7. Решения Всесоюзного стратиграфического совещания по докембрию, палеозою и четвертичной системе средней Сибири. Новосибирск, 1979 г. Часть I (Верхний докембрий и нижний палеозой). Новосибирск. 1983. 215 с.
8. Шпунт Б.Р., Шаповалова И.Г., Шамшина Э.А. Поздний докембрий севера Сибирской платформы. Новосибирск. Наука. 1982. 225 с.
9. Ernst R.E., Buchan K.L., Hamilton M.A., et al. Integrated paleomagnetism and U–Pb geochronology of mafic dikes of the eastern Anabar Shield region, Siberia: Implications for Mesoproterozoic paleolatitude of Siberia and comparison with Laurentia. Journ. Geology. 2000 V. 108 № 3 P. 381–401.
10. Pasenko A. M., Malyshev S. V., Pazukhina A. A., Savelev A. D., Lipenkov G. V., Chamberlain K. R. Age, Composition, and Paleomagnetism of Dolerite–Gabbro Dolerite Intrusions of the Western Slope of the Anabar Massif: The Issue of Vendian Magmatism in the Region. Doklady Earth Sciences. V. 514. P. 228–233.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АНАЛОГОВЫХ МОДЕЛЕЙ СДВИГОВЫХ ЗОН, ВЫПОЛНЕННЫХ ИЗ РАЗНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Циглер А.С.[*]

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, Геологический факультет, кафедра динамической геологии, Москва, Россия
*e-mail: anastasiyatsigler@gmail.com

Аннотация. Работа посвящена проблеме выбора эквивалентного материала для физического аналогового моделирования сдвиговых зон. При помощи специальной тектонофизической установки и крепящихся к ней приборов был создан ряд моделей различных сдвиговых зон из песка и влажной глины. Модели были изучены путём визуальной интерпретации при помощи графических редакторов, а также путём обработки в специализированных программах, к некоторым моделям был применен метод цифровой трассерной визуализации (PIV). По итогам исследования был приведён сравнительный анализ структурных парагенезов моделей, полученных в сходных условиях деформации, сделанных из разных эквивалентных материалов. Сделан вывод о преимуществах или недостатках того или иного материала при моделировании.

Ключевые слова: сдвиговые зоны, сдвиговые структурные парагенезы, физическое аналоговое моделирование, эквивалентные материалы

COMPARATIVE ANALYSIS OF SHEAR ZONES ANALOGUE MODELS MADE OF DIFFERENT MATERIALS

Tsigler A.S.[*]

Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geology, Department of Dynamic Geology, Moscow, Russia
*e-mail: anastasiyatsigler@gmail.com

Annotation. The work is devoted to the problem of choosing an equivalent material for physical analogue modeling of shear zones. With the help of a special tectonophysical installation and devices attached to it, a number of models of various shear zones made of sand and wet clay were created. The models were studied by visual interpretation using graphic editors, as well as by processing in specialized programs, and the digital tracer visualization (PIV) method was applied to some models. According to the results of the study, a comparative analysis of the structural parageneses of models obtained under similar deformation conditions made of different equivalent materials was given. The conclusion is made about the advantages or disadvantages of a particular material in modeling.

Keywords: shear zones, shear structural parageneses, physical analogue modeling, equivalent materials

Введение. Начало метода аналогового моделирования зон сдвига было положено работами Г. Клооса и В. Риделя в 30-х годах прошлого века. Тогда и вплоть до 80-х годов в качестве модельного материала повсеместно выступала влажная глина. Позже за рубежом получили преимущество модели из сухого песка. Свойства и физические параметры глины и песка, которые в экспериментах выступают в качестве аналога верхней части земной коры, описаны во многих публикациях, все авторы сходятся в выводах, что оба материала только отчасти соответствуют горным породам [3]. Тем не менее лишь в одной публикации [2] приведен сравнительный анализ некоторых аналоговых моделей, сделанных из этих материалов. Между тем, все сдвиговые структурные парагенезы, получаемые в одинаковых условиях, но на разных материалах, достаточно сильно отличаются друг от друга, и для каждой модели можно найти наиболее соответствующую природную структуру. Помимо

всего, разнится количество информации, которую можно извлечь из моделей. Важно знать, модели из какого материала более показательны: модели из песка можно разрезать, или исследовать их внутреннюю структуру с помощью X-лучевой компьютерной томографии, кроме того, на них можно использовать методы цифровой трассерной визуализации (отслеживание перемещения песчинок), с помощью которых можно получить поля скоростей и деформации.

Проблему выбора наилучшего материала для аналогового моделирования можно рассмотреть не только со стороны их физических свойств, необходимо выяснить, модели из каких материалов больше соответствуют природным объектам. Изучение структурного парагенеза моделей, созданных из правильно выбранного материала, может помочь в интерпретации природных структур, в том числе содержащих полезные ископаемые, а также в интерпретации данных, полученных с помощью дистанционных методов и для анализа сейсмодислокаций.

Объекты и методы исследования. Настоящая работа посвящена сравнению структурообразования в аналоговых моделях из глины разного состава и влажности, а также песка разной размерности сухого и с небольшими связующими добавками, а также сравнению моделей с некоторыми природными структурами.

В первую очередь были воспроизведены, зоны сдвига Риделя (два блока фундамента, перекрытые чехлом). После чего было проведено моделирование сложных сдвиговых зон: транспрессии и транстенсии. Последние воспроизводились ранее (за одним исключением) лишь с помощью сухого песка. Для анализа были привлечены также материалы Лаборатории тектонофизики и геотектоники МГУ предыдущих лет. Также были воспроизведены некоторые природные структуры, к которым приурочены месторождения, контролирующиеся разломами сдвигового типа.

Для анализа структурообразования во времени осуществлялась непрерывная фотосъемка поверхности моделей с интервалами 30-60 сек. Ее результаты использовались для визуального дешифрирования и метода цифровой трассерной визуализации (PIV). Для изучения структуры на глубине делались вертикальные разрезы моделей, частично применялся также метод X-лучевой компьютерной томографии.

Результаты. Сравнение моделей простого сдвига, сделанных из разных материалов в примерно одинаковых условиях, показало, что структурный рисунок, получаемый на глине и на песке, повторяется в основных чертах (Рисунок 1): и там и там формируются синтетические R-сколы, Y-сколы и валообразные поднятия между концами сколов Риделя. Однако и различия весьма существенны: R-сколы в моделях из глины формируются путем объединения мельчайших кулисообразно расположенных трещинок скалывания, а в моделях из песка те же сколы представляют собой результат объединения мелких трещинок отрыва [1]. В песчаных моделях развиваются лишь R-сколы, в то время как отсутствуют R'-сколы, также не обнаруживаются и P-сколы, которые нередко образуются в глиняных моделях. Упомянутые валообразные поднятия во влажной глине нередко ограничены субгоризонтальными надвигами, в то время как в песке это всегда крутые взбросы. Кроме того, если в модель из влажной глины ввести неоднородности, имитирующие слоистость, то на начальной стадии структурообразования формируются складки продольного изгиба, перпендикулярные оси максимального сжатия, что не свойственно моделям из песка.

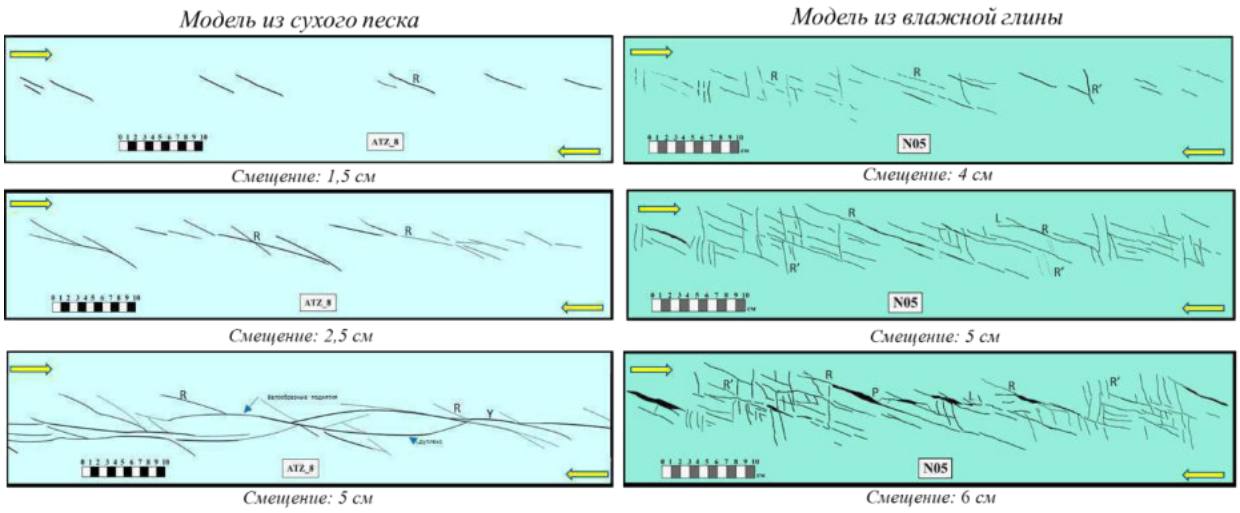

Рисунок 1. Сравнение развития структурного парагенеза в моделях из песка и глины (Слева опыт А. Родионовой, справа А. Циглер)

В моделях транспрессии, в которых формируются сдвиговые поднятия pop-up, и транстенсии, в которых формируются сдвиговые впадины pull-apart, также имеется ряд отличий для глины и песка.

Общим для моделей транспрессии как из глины, так и из песка является ступенчатая форма поднятия, а также формирование нескольких систем сколов внутри него. Различия состоят в немного разной форме основного поднятия, а также количестве и ориентировке сколов.

Модели транстенсии из песка и глины также похожи между собой: имеют сходную форму впадины, но в количестве и ориентировке сколов также имеются различия.

Сравнение моделей с природными сдвиговыми зонами позволяет выдвинуть предположение, что набор структур, характерный для моделей из песка, чаще образуется в крупных объектах регионального масштаба, в более локальных объектах чаще наблюдается парагенез, характерный для моделей из глины. Что касается сдвиговых сейсмодислокаций, то, как и следовало ожидать, их структура в рыхлых молодых отложениях соответствует таковой в песке, а в глинистых отложениях – во влажной глине.

Финансирование: Работа выполнена при поддержке кафедры динамической геологии геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова.

Список литературы:

1. Фролова Н.С., Корбутяк А.Н., Мишакина А.А., Корпач С.В. (2016): Развитие деформаций в зонах сдвига: результаты физического моделирования с использованием песка. Материалы докладов всероссийской конференции с международным участием «Четвёртая тектонофизическая конференция в ИФЗ РАН. Тектонофизика и актуальные вопросы наук о Земле». Москва: ИФЗ РАН Москва. Том 2. С. 385-392.
2. Dooley T. P., Schreurs G. Analogue modelling of intraplate strike-slip tectonics: A review and new experimental results. Tectonophysics. 2012. V. 574–575. P. 1–71.
3. Naylor M.A., Mandl G., Sijpesteijn C.H.K. Fault geometries in basement-induced wrench faulting under different initial stress states. Journal of Structural Geology. 1986. P. 737–752.

Секция Палеонтология и стратиграфия

ЭНТОМОКОМПЛЕКС МАКСИМУМА ПОСЛЕДНЕГО ОЛЕДЕНЕНИЯ ИЗ МЕСТОНАХОЖДЕНИЯ КЕБЕЗЕНЬ (СЕВЕРО-ВОСТОЧНЫЙ АЛТАЙ)

Агриколянская Н.И.[1], Гурина А.А.[1,2], Дудко Р.Ю.[1], Легалов А.А.[1]*

[1]Институт систематики и экологии животных СО РАН, Новосибирск, Россия
[2]Кемеровский государственный университет, Кемерово, Россия
*e-mail: natylnik@mail.ru

Аннотация. В низкогорьях Северо-Восточного Алтая на р. Турачак вблизи пос. Кебезень найдено местонахождение позднечетвертичных насекомых. Калиброванные радиоуглеродные датировки местонахождения Кебезень соответствуют максимуму последнего оледенения (MIS-2). Энтомокомплекс представлен, в основном, жесткокрылыми насекомыми (Coleoptera), которые отличаются высоким таксономическим и экологическим разнообразием, и включает несколько эндемичных видов. Видовой состав рассмотренного энтомокомплекса наиболее соответствует современной фауне среднегорий Алтая, с широким развитием темнохвойных лесов.

Ключевые слова: насекомые, палеоэкология, поздний плейстоцен, дегляциация, МИС-2

ENTOMOCOMPLEX OF THE LAST GLACIATION MAXIMUM FROM THE KEBEZEN' SITE (NORTH-EASTERN ALTAI)

Agrikolyanskaya N.I.[1], Gurina A.A.[1,2], Dudko R.Yu.[1], Legalov A.A.[1]

[1]Institute of Systematics and Ecology of Animals, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences (RAS), Novosibirsk, Russia, natylnik@mail.ru
[2]Kemerovo State University, Kemerovo, Russia

Abstract. A Late Quaternary insect locality was found in the lowlands of the North-Eastern Altai on the Turachak River near the village of Kebezen`. Calibrated radiocarbon dating of the Kebezen' locality corresponds to the maximum of the last glaciation (MIS 2). The entomocomplex is represented mainly by Coleoptera, which are characterized by high taxonomic and ecological diversity and includes several endemic species. The species composition of the considered entomocomplex most corresponds to the modern fauna of the middle elevation of Altai Mountains with a wide development of coniferous forests.

Keywords: insects, palaeoenvironment, late Pleistocene, Last Glacial Maximum, MIS 2.

Исследования природных процессов, происходящих под влиянием климатических изменений, стали особенно важными в последние десятилетия [1]. Одной из задач таких исследований является реконструкция природной обстановки в различные исторические периоды. Изучение представителей фауны и флоры из плейстоценовых отложений позволяют выявить параметры климата прошлых эпох. В практике реконструкций природной обстановки четвертичного периода всё большее значение приобретает палеоэнтомологический метод, так как насекомые являются массовыми практически в любых биотопах, очень чувствительны к изменениям окружающей среды, а также имеют достаточно прочный хитиновый покров, позволяющий им сохраняться долгое время в анаэробных условиях.

Несмотря на интенсивное развитие четвертичной энтомологии в Северном полушарии, некоторые регионы по-прежнему остаются слабо изученными. Одним из таких мест является Алтае-Саянская горная система: на этой территории Т. Жанг и С. Элаяс [5]

исследовали Алтае-Синьцзянский регион Китая, А. Гурина с соавторами [4] – местонахождение на р. Лебедь из Северо-Восточного Алтая. В настоящей работе представлены результаты изучения позднеплейстоценового комплекса насекомых местонахождения Кебезень (Северо-Восточный Алтай), цель которой – охарактеризовать энтомокомплекс низкогорий Алтая в максимум последнего оледенения в сравнении с современной фауной, выявить наиболее близкие аналоги и реконструировать природные условия этого времени.

Материалы и методы. Объектом исследования являлись фрагменты хитинового скелета насекомых, извлекаемые из слоёв и прослоек глин и суглинков, насыщенных растительным детритом. Пробы с насекомыми брались на основе стандартных методик [2, 3, 4], с некоторыми изменениями и дополнениями.

В местонахождении Кебезень было отобрано 12 проб, которые промывались и разделялись на четыре фракции, с помощью мокрого просеивания через сита с ячейками 0,1, 0,3, 0,6 и 2 мм. Фракции просушивались при комнатной температуре, затем осуществлялся поиск фрагментов насекомых под бинокулярным микроскопом Carl Zeiss Stemi 2000. Отобранные фрагменты хорошего качества подвергались дальнейшей очистке с помощью моющего средства. Подготовленные фрагменты приклеивались на картонные энтомологические плашки водорастворимым клеем, с присвоением индивидуальных этикеток с географическими и стратиграфическими данными, а также порядковым номером. Далее специалистами по разным систематическим группам жесткокрылых проводилось определение материала методом сравнения фрагментов с коллекциями современных насекомых [3].

Для определения возраста энтомокомплексов радиоуглеродным методом растительный детрит из проб был передан в РГПУ им. Герцена (г. Санкт-Петербург). В результате было получено шесть последовательных дат, которые лежат в диапазоне от ~19,76 тыс. л.н. до ~19,44 тыс. л.н., что соответствует максимуму последнего оледенения плейстоцена.

Результаты и обсуждение. По итогам обработки материала было получено 1567 фрагментов насекомых и 26 карапаксов пауков. Среди насекомых, 1405 фрагментов принадлежит жесткокрылым (Coleoptera), 10 фрагментов – полужесткокрылым (Hemiptera), 44 фрагмента – перепончатокрылым (Hymenoptera) и 72 пупария – двукрылым насекомым (Diptera). В анализе использовались в основном представители Coleoptera, многие из которых определены до видового уровня.

Видовой состав энтомокомплекса Кебезень, большей частью, соответствует современной фауне, обитающей в среднегорьях и высокогорьях Северо-Восточного Алтая. Подобное распределение указывает на то, что в максимум последнего оледенения в низкогорьях Северо-Восточного Алтая, условия были значительно холоднее современных и были ближе к условиям современных среднегорий. Также в энтомокомплексе присутствуют виды, не известные в современной фауне региона. Так, например, *Sternoplatys fulvipes* (Chrysomelidae) и *Denticollis acuticollis* (Elateridae) в настоящее время встречаются лишь в Забайкалье и на Дальнем Востоке. Вид *Sulcacis nitidus* (Ciidae) широко распространен в европейской части России, приводится также для Дальнего Востока и Японии. Более редкий вид *Ochthebius kaninensis* (Hydraenidae) обитает на северо-востоке Европы и отмечен для Восточной Сибири. Присутствие этих видов в энтомокомплексе может свидетельствовать об их более широком распространении в конце плейстоцена.

По характеру занимаемых экологических ниш энтомокомплекс местонахождения Кебезень можно разделить на четыре группы (Рисунок 1). Первая группа – водные и околоводные виды (22 вида, обитающих в различных биотопах, таких как болота, берега рек и озёр, долины рек). Вторая группа – насекомые, характерные для открытых ландшафтов (луга, альпийские луга и тундры) – 7 видов. Третья группа – виды, живущие в лесных сообществах, либо облигатно связанные с древесной растительностью (14 видов). Кроме того, богато представлена группа видов, обитающих как в открытых ландшафтах (альпийские луга и тундры), так и в лесных (таёжный пояс гор) (16 видов).

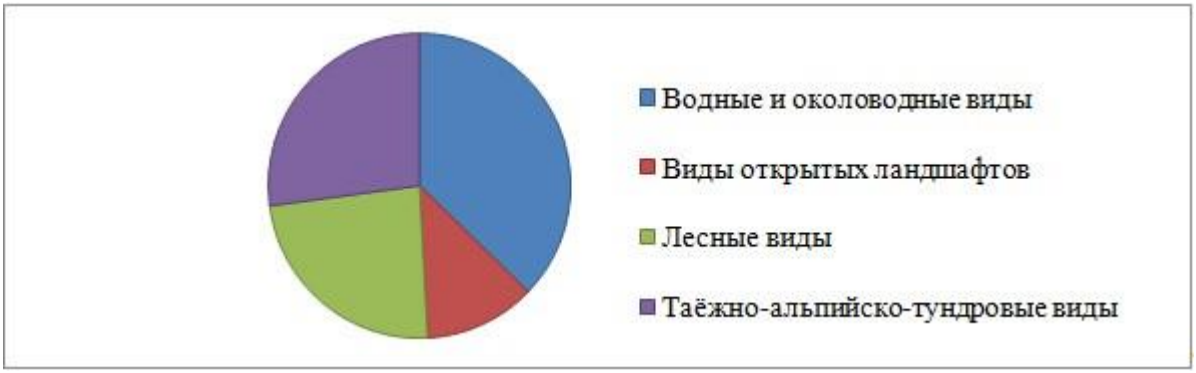

Рисунок 1. Экологические комплексы жесткокрылых насекомых из местонахождения Кебезень

Исходя из известных экологических предпочтений выявленных видов в современных условиях, для исследуемой территории в период осадконакопления реконструированы ландшафты с широким распространением темнохвойных лесов и присутствием лугов, аналогичных альпийским.

Выводы. Местонахождение Кебезень относится к максимуму последнего оледенения, в связи с чем, в энтомокомплексе присутствуют холодолюбивые виды среднегорий и высокогорий, которые отсутствуют в низкогорьях Северо-Восточного Алтая. Предполагается, что климат был влажным и значительно более холодным, чем в настоящее время на исследуемой территории.

Финансирование: Работа выполнена при поддержке программы фундаментальных научных исследований (грант №1021051703269-9-1.6.12).

Список литературы

1. Бондаренко Л.В., Маслова О.В., Белкина А.В., Сухарева К.В. Глобальное изменение климата и его последствия. Вестник РЭУ им. Г. В. Плеханов. 2018. № 2 (98). С. 84-93.
2. Coope G.R. A Late Pleistocene insect fauna from Chelford, Cheshire. Proceedings of the Royal Society of London. Ser. B. 1959. V. 151. P. 70–86.
3. Dudko R.Yu., Danukalova G.A., Gurina A.A. et al. Insects and molluscs of the Late Pleistocene at the Gornovo site (Southern Ural foreland, Russia): New data on palaeoenvironment reconstructions. Quaternary International. 2022. V. 652. P. 154–177.
4. Gurina A.A., Dudko R.Y., Mikhailov Y.E., Prokin A.A., Solodovnikov A.Y., Zinovyev E.V., Legalov A.A. First record of insects from the oldest and older Dryas of Altai (Russia). Coleoptera assemblages from Lebed River. Palaeoentomology. 2024. V. 7. №. 1. P. 112–131.
5. Zhang T., Elias S.A. Holocene palaeoenvironmental reconstruction based on fossil beetle faunas from the Southern Altai region, north-west China. Journal of Quaternary Science. 2019. V. 34. P. 593–602.

УРАЛЬСКАЯ СИСТЕМА ПРОЛИВОВ В МААСТРИХТЕ (МЕЛОВОЙ ПЕРИОД): НОВЫЕ ДАННЫЕ ПО ФОРАМИНИФЕРАМ И ПРИВЛЕЧЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ

Баканова Е.А.[1,2] , Маринов В.А.[1,3], Трубин Я.С.[1,4]

[1]Тюменский научный центр СО РАН, Тюмень, Россия
[2]Тюменский государственный университет, Тюмень, Россия
[3]Тюменский нефтяной научный центр, Тюмень, Россия
[4]Томский государственный университет, Томск, Россия
*e-mail: ekaterina_bakanova00@mail.ru

Аннотация. В настоящей работе представлены результаты комплексного анализа микрофаунистических данных с привлечением математических методов, демонстрирующие степень биогеографической связанности Западно-Сибирского морского бассейна, с бассейнами Тургайского пролива и акваториями Восточной Европы. Анализ биоразнообразия фораминифер и кластеризация данных подтверждают гипотезу о существовании Уральской системы проливов в маастрихтском ярусе, функционировавших как малые транзитные коридоры.

Ключевые слова: микропалеонтология, фораминиферы, математическая обработка, палеогеография

THE URALIAN STRAIT SYSTEM IN THE MAASTRICHTIAN (CRETACEOUS): NEW DATA ON THE FORAMINIFERA AND INVOLVEMENT OF MATHEMATICAL METHODS

Bakanova E.A.[1,2] , Marinov V.A.[1,3], Trubin Ya.S.[1,4]

[1]Tyumen Scientific Center, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Tyumen, Russia, ekaterina_bakanova00@mail.ru
[2]Tyumen State University, Tyumen, Russia
[3]Tyumen Petroleum Research Center, Tyumen, Russia
[4]Tomsk State University, Tomsk, Russia

Abstract. This thesis presents the results of a comprehensive mathematical analysis of microfaunistic data demonstrating the degree of biogeographic connectivity the West Siberian Basin with Turgai Strait and East European basins. The analysis of foraminifera biodiversity and data clustering support the hypothesis of the existence of the Ural Strait System in the Maastrichtian, which functioned as small transit corridors.

Keywords: micropaleontology, foraminifera, mathematical processing, paleogeography

Проливы представляют собой важнейшее коммуникационное пространство между водными бассейнами и обеспечивают обмен теплом, влагой и биомассой. Этот обмен играет ключевую роль в формировании климата планеты и распространении организмов [3]. В меловом периоде Западно-Сибирский морской бассейн сообщался с бассейнами Бореально-Атлантической области через Тургайский пролив [1] и, возможно, через «уральскую систему проливов», существование которой гипотетически впервые предложено в начале настоящего века [2]. Однако, доказательство сообщения Западно-Сибирского морского бассейна с сопредельными областями через Уральскую систему проливов требует привлечения большего объема данных и методов. Настоящей работой мы вносим вклад в решение вопроса о существовании Уральской системы проливов с привлечением новых данных по фораминиферам и математического анализа их комплексов.

Материалам для исследования послужили результаты микрофаунистического исследования образцов горных пород, которые полученны из двух параметрических скважин, пробуренных вблизи города Урай (Западная Сибирь), и взятых с разреза на карьере Качара (Тургайский прогиб) и естественного выхода на реке Туратка (Южный Урал). Всего проанализировано из всех местонахождений 42 образца горных пород, из которых получено 5895 раковин и определено 457 видов фораминифер. Для анализа данных и выявления степени сходства между комплексами микроорганизмов применялись Ward's метод кластеризации и рассчитывались индексы биоразнообразия (Фишера, Шеннона, Симпсона) с использованием программного обеспечения Past, а также рассчитывался индекс фаунистического сходства Жаккара.

В рамках исследования биоразнообразия были получены графики, представляющие функциональную зависимость значения для каждого индекса биоразнообразия от глубины интервала от наиболее древних к наиболее молодым и отражающие динамику изменений в составе микроорганизмов для каждого региона. Анализ графиков показал, что для всех трех регионов имеется общая динамика изменения состава микроорганизмов. Однако, комплексы Западной Сибири и Тургайский прогиба демонстрируют тесную пространственную корреляцию по показателю биоразнообразия, в то время как материалы с Южного Урала отличаются более высокими значениями данного показателя. Сходный результат наблюдается при оценке расстояния между кластерами. Комплексы Западной Сибири и Тургайский прогиба имеют кофенетическое расстояние, равное 17, в то время как расстояние между комплексами Западной Сибири и Южного Урала составляет 50. Учитывая, что максимальное кофенетическое расстояние между анализируемыми комплексами достигает 150, данные значения свидетельствуют о значительной степени сходства между рассматриваемыми регионами. Это подтверждает гипотезу о близости комплексов с точки зрения их биоразнообразия и структуры сообществ. Анализ значений индекса Жаккара показал возможное существование барьера, ограничивающего свободную миграцию видов между Западно-Сибирским морским бассейном и Восточно-Европейского региона через Уральскую систему проливов. Однако полученные данные не демонстрируют полную изоляцию этих двух бассейнов.

Финансирование: Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ № 24-27-00249.

Список литературы:

1. Барабошкин Е.Ю., Найдин Д.П., Беньямовский В.Н., Герман А.Б., Ахметьев М.А. Проливы Северного полушария в мелу и палеогене. Москва. Геол. ф-т МГУ. 2007. 182 с.
2. Барабошкин Е.Ю. Палеопроливы, их особенности и значение для стратиграфии. Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел геологический. 2008. Т. 83. №. 5. С. 89–97.
3. Rossi V. A., Nebunu D., Haider T., Laptseva N., Naegele M. P., Ruschitzka F., Sudano I., Flammer A. J. Diverging role of epicardial adipose tissue across the entire heart failure spectrum. 2023. ESC Heart Failure. V. 10. № 6. P. 3419-3429.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПАЛИНОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ ДЛЯ ОЦЕНКИ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ В ГОЛОЦЕНЕ (КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ МЕТОДЫ)

Внуковская Ю.Д.[1,2*]

[1]Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, Новосибирск, Россия
[2]Институт археологии и этнографии, Новосибирск, Россия
*e-mail: vnukovskayayd@ipgg.sbras.ru

Аннотация. Палинологические данные позволяют реконструировать растительность и климатические условия голоцена, что важно для понимания текущих климатических изменений и прогнозирования будущих. Методика исследования включает создание трансферных функций на основе калибровочной базы данных поверхностных палинологических спектров. Используются методы многомерной статистики в программах R и CANOCO. Исследование озера Балыктукель в Горном Алтае показало тренд похолодания и аридизации климата за последние 6,95 тыс. лет.

Ключевые слова: палинология, методы реконструкции климата, голоцен

USING PALYNOLOGICAL DATA TO ASSESS CLIMATIC CONDITIONS IN THE HOLOCENE (QUANTITATIVE METHODS)

Vnukovskaya Y.D.[1,2]

[1]A.A. Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics, Novosibirsk, Russia, vnukovskayayd@ipgg.sbras.ru
[2]Institute of Archaeology and Ethnography, Novosibirsk, Russia

Abstract. Palynological data allow for the reconstruction of vegetation and Holocene climate conditions, which is crucial for understanding current climate changes and predicting future trends. The research methodology includes creating transfer functions based on a calibration database of surface palynological spectra. Multivariate statistical methods in R and CANOCO programs are used. The study of Lake Balyktukel in the Altai Mountains showed a trend of cooling and aridification over the past 6.95 thousand years.

Keywords: palynology, methods of climate reconstruction, Holocene

Палинологические данные предоставляют ценную информацию для реконструкции растительности и косвенно климатических условий голоцена, что предоставляет уникальные возможности для понимания текущих изменений климата и прогнозирования будущих условий. Количественная реконструкция климатических параметров основывается на анализе пыльцевых диаграмм, полученных из отложений торфяников и современных озер.

Методика исследования основывается на создании трансферных функций с использованием обширной калибровочной базы данных поверхностных палинологических спектров. Для каждого анализируемого образца приводятся современные значения ключевых климатических переменных, таких как среднегодовая температура, среднегодовое количество осадков и др., которые влияют на состав растительности на определенной территории.

Чтобы выявить главные климатические факторы, влияющие на формирование палинологических спектров, используются методы многомерной статистики в программах

R и CANOCO. К примеру, канонический корреляционный анализ применяется для исследования связи между распределением таксонов и отдельными климатическими переменными [1]. Использование коэффициентов возрастания дисперсии VIF позволяет определить наиболее важные климатические переменные для каждой пробы [2]. Для расчета количества среднегодовых осадков создается трансферная функция с использованием метода средневзвешенных дробных наименьших квадратов (WA–PLS) в программах R и C2.

С помощью данных методов было рассчитано среднегодовое количество осадков для среднего-позднего голоцена центральной части Горного Алтая на основе палинологических данных из донных отложений современного озера Балыктукель, располагающегося на высоте 1842 м на Улаганском высокогорном плато в Республике Алтай. Последние 6,95 тыс. лет в центральной части Горного Алтая наблюдается тренд похолодания и аридизации климата [3].

Метод количественной реконструкции климатических параметров применяется в изучении климатических изменений в голоцене, что предоставляет важную информацию для понимания климатических циклов, влияния человеческой деятельности на климат, естественных изменений в окружающей среде и понимание современных и будущих изменений климата.

Финансирование. Работа выполнена при поддержке Института нефтяной геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук (FWZZ-2022–0004) и Института археологии и этнографии Сибирского отделения Российской академии наук (FWZZ № 0264-2021-0010).

Список литературы:

1. ter Braak C.J.F. Ordination. Data analysis in community and landscape ecology. Cambridge. Cambridge Univ. Publ. 1995. Ch. 5. P. 69–173.
2. ter Braak C.J.F., Smilauer P. CANOCO reference manual and CanoDraw for Windows user's guide: software for canonical community ordination (version 4.5). Ithaca. Microcomputer Power. 2002.
3. Karachurina S., Rudaya N., Frolova L., Kuzmina O., Cao X., Chepinoga V., StoofLeichsenring K., Biskaborn B., Herzschuh U., Nigmatullin N., Vnukovskaya Y., Grekov I., Pestryakova L. Terrestrial vegetation and lake aquatic community diversity under climate change during the mid–late Holocene in the Altai Mountains. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 2023. V. 623. 111623. http://doi.org/10.1016/j.palaeo.2023.111623

ПЕРВОЕ ПОЗДНЕПЛЕЙСТОЦЕНОВОЕ МЕСТОНАХОЖДЕНИЕ ЖЕСТКОКРЫЛЫХ В НИЗКОГОРЬЯХ АЛТАЯ (Р. ЛЕБЕДЬ)

Гурина А.А.[1,2], Агриколянская Н.И.[1], Дудко Р.Ю.[1], Легалов А.А.[1,3,4]

[1]Институт систематики и экологии животных СО РАН, Новосибирск, Россия
[2]Кемеровский государственный университет, Кемерово, Россия
[3] Алтайский государственный университет, Барнаул, Россия
[4] Томский государственный университет, Томск, Россия
*e-mail: auri.na@mail.ru, natylnik@mail.ru, rdudko@mail.ru, fossilweevils@gmail.com

Аннотация. На территории Северо-Восточного Алтая впервые был обнаружен ископаемый комплекс насекомых, относящийся к периоду позднего плейстоцена. Калиброванный радиоуглеродный возраст проб, взятых на энтомологический анализ составил 14077-13587 л.н. и 17056-16461 л.н. Комплекс насекомых отличается высоким разнообразием (индекс разнообразия Шеннона – 4,72). Видовой состав энтомокомплекса наиболее соответствует современной фауне среднегорий Северо-Восточного Алтая и Кузнецкого Алатау. Учитывая современные экологические предпочтения видов, найденных в энтомокомплексе, для области сноса, в период дегляциации, было реконструировано чередование темнохвойных лесов и открытых высокотравных лугов.

Ключевые слова: Западная Сибирь; насекомые; Поздний плейстоцен; дегляциация

FIRST LATE PLEISTOCENE SITE OF THE BEETLE IN THE ALTAI LOWLANDS (LEBED' RIVER)

Gurina A.A.[1,2], Agrikolyanskaya N.I.[1], Dudko R.Yu.[1], Legalov A.A.[1,3,4],

[1]Institute of Systematics and Ecology of Animals, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences (RAS), Novosibirsk, Russia
[2]Kemerovo State University, Kemerovo 650000, Russia
[3]Altai State University, Barnaul, Russia
[4]Tomsk State University, Tomsk, Russia
*e-mail: auri.na@mail.ru, natylnik@mail.ru, rdudko@mail.ru, fossilweevils@gmail.com

Abstract. A Late Pleistocene fossil insect complex has been discovered for the first time in the territory of the North-Eastern Altai. The calibrated radiocarbon ages of the samples taken for entomological analysis were 14077-13587 BP and 17056-16461 BP. The insect complex is characterised by high diversity (Shannon diversity index - 4.72). The species composition of the entomocomplex corresponds most closely to the modern fauna of the Middle-Eastern Altai and Kuznetsk Alatau. Taking into account the modern ecological preferences of the species found in the entomocomplex, the alternation of dark coniferous forests and open tall grass meadows was reconstructed for the deglaciation area.

Keywords: West Siberia; Insects; Late Pleistocene; Deglaciation

Четвертичные насекомые Западно-Сибирской равнины изучаются более 50 лет, за это время обработан значительный материал из почти 100 местонахождений позднеплейстоценового и голоценового возрастов от 67,5°N на севере до 51°N на юге. Насекомые активно используются в реконструкциях природной обстановки этого времени. В частности, показано, что на юге этой территории в условиях сухого и холодного климата и преобладающих открытых степных ландшафтов конца плейстоцена обитала своеобразная перигляциальная фауна насекомых, не имеющая близких современных аналогов [3, 2].

При этом, данных по четвертичным насекомым из сопредельных территорий Алтае-Саянской горной системы практически нет. В 2019 году нами было найдено первое в этом регионе местонахождение, расположенное на р. Лебедь (52,25220°N; 87,15692°E; 320 м н.у.м) и относящееся по радиоуглеродному датированию к периоду дегляциации.

Цель исследования – охарактеризовать энтомокомплекс в сравнении с современными и позднечетвертичными энтомофаунами, выявить наиболее близкие аналоги и реконструировать природные условия этого времени. Отбор проб и обработка энтомологического материала проводилась с использованием методики Рассела Купа [1] с рядом последующих изменений [2]. Радиоуглеродное датирование проводилось в РГПУ им. Герцена в г. Санкт-Петербург. Калиброванный радиоуглеродный возраст двух проб из энтомокомплекса составил 14077-13587 л.н. и 17056-16461 л.н. Из местонахождения извлечено 409 фрагментов насекомых, преимущественно отряда жесткокрылых Coleoptera. Фрагменты отнесены не менее чем к 120 видам из 17 семейств. Индекс разнообразия Шеннона – 4,72, Симпсона – 0,988. Наиболее многочисленны и разнообразны представители жуков-жужелиц (Carabidae), коротконадкрылых жуков (Staphylinidae) и жуков-долгоносиков (Curculionidae), обнаруженные во всех пробах местонахождения.

Видовой состав энтомокомплекса на р. Лебедь наиболее соответствует современной фауне среднегорий Северо-Восточного Алтая и Кузнецкого Алатау, и включает в себя несколько эндемичных и реликтовых видов. Так, *Trechus* cf. *dudkorum*, *Patrobus obliteratus*, *Pterostichus* cf. *subaeneus* (Carabidae), *Helophorus* cf. *sinoglacialis* (Helophoridae), *Byrrhus* cf. *mordkovitshi* (Byrrhidae), *Notaris altaica* (Curculionidae) являются эндемиками, а *Notiophilus jakovlevi*, *Pterostichus drescheri*, *P. ehnbergi*, *P. tomensis* (Carabidae) и *Aegialia matalini* (Scarabaeidae) субэндемиками Алтае-Саянской горной системы. В местонахождении отмечено 4 вида реликтовых жесткокрылых, имеющих дизъюнктивный видовой ареал и представленных в Алтае-Саянском регионе изолированно от основной части ареала в горах Европы – *Aclypea souverbii* (Silphidae), *Eutrichapion rhomboidale* (Brentidae) и *Otiorhynchus krattereri* (Curculionidae) или Дальнего Востока и Северной Америки – *Notiophilus semistriatus* (Carabidae). Все эти виды предпочитают холодный гумидный климат и не связаны с широколиственными лесами. Сравнение видового состава жуков из местонахождения Лебедь с ранее изученной позднеплейстоценовой фауной насекомых Западно-Сибирской равнины показывает сходство, обусловленное наличием общих эвритопных видов с широкими ареалами.

Исходя из известных экологических предпочтений выявленных видов в современных условиях, для исследуемой территории в период осадконакопления реконструировано чередование темнохвойных лесов и открытых высокотравных лугов. Предполагается, что климат был влажным и значительно более холодным, чем в настоящее время на исследуемой территории. Принимая во внимание экологические предпочтения видов жесткокрылых насекомых и радиоуглеродный возраст двух слоев отложения соотносятся с ранним и средним дриасом.

Финансирование: Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (грант РНФ № 23-74-01024).

Список литературы:

1. Coope G.R. A Late Pleistocene insect fauna from Chelford, Cheshire. Proceedings of the Royal Society of London. Ser. B. 1959. V. 151. P. 70–86.

2. Gurina A.A., Dudko R.Yu., Tshernyshev S.E., Zinovyev E.V., Legalov A.A. Late Pleistocene insects from the Dubrovino site at Ob River (West Siberia, Russia) and their paleoenvironmental significance. Palaeontologia Electronica. 2019. V. 22. № 1.3. P. 1–18.

3. Zinovyev E.V. Sub-fossil beetle assemblages associated with the «mammoth fauna» in the Late Pleistocene localities of the Ural Mountains and West Siberia. ZooKeys. 2011. V. 100. P. 149–169.

ПЕРВЫЕ ПАЛИНОЛОГИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ ПО РАЗРЕЗУ РОСТОВКА (ПЛИОЦЕН), ОМСКОЕ ПРИИРТЫШЬЕ

Иванова А.В.[1], Тесаков А.С.[1], Сизов А.В.[1], Бондарев А. А.[2]*

[1]Геологический институт РАН, Москва, Россия
[2]Омское региональное отделение РГО, Омск, Россия
*e-mail: alexandra.ivanova@ginras.ru

Аннотация. В рамках спорово-пыльцевого анализа на территории Омского Прииртышье изучено новое местонахождение фауны мелких млекопитающих – Ростовка – относящиеся к раннему плиоцену (MN 14 Zone, 4.9-4.2 млн. лет). Выявлены и описаны два палинокомплекса, отличающиеся по таксономическому составу и структуре. Впервые дана палинологическая характеристика отложений пешневского уровня, реконструирующая для данного времени преобладание лесостепных обстановок с участием как темнохвойных, так и широколиственных древесных пород.

Ключевые слова: палинология, спорово-пыльцевой анализ, плиоцен, Иртыш, Омская область

FIRST PALYNOLOGICAL DATA ON THE ROSTOVKA SECTION (PLIOCENE), OMSK REGION

Ivanova A.V.[1], Tesakov A.S.[1], Sizov A.V.[1], Bondarev A.A.[2]

[1]Geological Institute of RAS, Moscow, Russia, alexandra.ivanova@ginras.ru
[2]Omsk regional branch of the Russian Geographical Society, Omsk, Russia

Abstract. A new Early Pliocene small mammal site Rostovka (MN 14 Zone, 4.9-4.2 Ma) was studied palynologically near the Irtysh river, Omsk region. Two distinct palynological complexes have been described. For the first time, the pollen data on the Peshnevian time indicate predominant forest-steppe environments with dark coniferous as well as broadleaved species.

Keywords: palynology, pollen analysis, Pliocene, the Irtysh river, Omsk region

В 2015-2016 гг. в низовьях р. Оми, в 1.5 км к юго-западу от границы села Андреевка, Омская область, было найдено новое местонахождение фауны мелких млекопитающих, получившее имя Ростовка [1]. Разрез имеет видимую мощность около 8 метров. Нижняя пачка представлена русловыми отложениями – серыми косослоистыми суглинками с прослоями светло-серого полимиктового, местами ожелезненного средне-мелкозернистого песка и гравия (2-3 м), выше залегает пачка свело-коричневых косослоистых слюдистых алевритистых песков с карбонатными включениями в нижней части (4-5 м). Разрез венчает пачка светло-коричневых лессовидных суглинков (1-1.5 м) и маломощная современная почва. Из прослоя косослоистых песков в нижней части, на глубине около 5 м от кровли разреза получена фауна мелких позвоночных с видом-индексом *Promimomys antiquus*, относящаяся к раннему русцинию (MN 14 Zone, 4.9-4.2 млн. лет) и коррелирующая с пешневским интервалом региональной стратиграфической схемы В. С. Зыкина [3].

Последовательно из всех наблюдаемых толщ было отобрано 10 проб, включая один поверхностный (субрецентный) образец. Химическая обработка проводилась по стандартной сепарационной методике в лаборатории стратиграфии четвертичного периода ГИН РАН. Анализ включал изучение спор и пыльцы наземных растений, а также непыльцевых палиноморф (в первую очередь – пресноводных водорослей), которые были выделены из породы вместе со спорами и пыльцой. При расчете долевого участия групп в

спектре за 100% принималась сумма всех палиноморф, при расчете роли отдельных таксонов – сумма пыльцы и спор. Выявлены и описаны два палинокомплекса, отличающиеся по таксономическому составу и структуре.

Палинокомплекс I выявлен из нижней пачки, включающей костеносный горизонт, и отличается крайне высоким разнообразием как таксонов, так и общим числом пыльцевых и непыльцевых палиноморф. Древесно-кустарниковая группа в основном представлена голосеменными растениями – *Pinus* s/gen Haploxylon и Diploxylon, *Picea, Abies, Tsuga* (3 типа), cf *Cedrus*. Реже встречается пыльца широколиственных (*Quercus, Ulmus, Juglans, Pterocarya, Tilia*), мелколиственных (*Betula, Alnus, Salix*) и других представителей группы (*Lonicera, Diervilla, Ephedra,* Elaegnaceae, *Myrica*). Травянисто-кустарничковый ярус включает Poaceae, Asteraceae, Cichoriodeae, Amaranthaceae, Ericaceae, Dipsacaceae, Lamiaceae, Onagraceae, Ranunculaceae, *Fagopyrum*, Valerianaceae, *Artemisia* в том числе прибрежно-водные элементы (*Persicaria*, Cyperaceae, Caryophyllaceae, Nymphaeaceae, *Nuphar*, *Potamogeton, Typha, Trapa, Sparganium*). Споры папоротникообразных составляют до 60 % комплекса. Кроме Polypodiaceae также присутствуют споры *Riccia*, *Azolla* (3 разновидности по глохидиям), *Sphagnum, Lycopodium, Osmunda, Botrychium*. Очень часто отмечаются фрагменты лестничных перфорационных пластинок сосудов ксилемы, а также другие фрагменты растительных тканей.

Палинокомлекс II выделен из вышележащей пачки коричневых алевритистых песков. Спектр характеризуются доминированием пыльцы хвойных пород – *Pinus* и *Picea*. Также присутствует *Tsuga* (1 тип) и мелколиственные породы. Пыльца широколиственных пород отсутствует. Возрастает роль травянисто-кустарничковой растительности, преимущественно представленной видами семейств Asteraceae, Plumbaginaceae, Amaranthaceae, Poaceae, Rosaceae. Доля споровых резко падает до 7%, среди них отмечены споры печеночных мхов *Riella*, характерных в первую очередь для временных водоемов [4].

Непосредственно палинофлору пешневского уровня В.С. Волкова обозначала как еще неизученную [2]. Приведенные нами палинологические данные указывают на развитие в пешнёвское время лесостепных обстановок. Пыльца древесных пород составляет до 40%, указывая на существование смешанных лесов с участием как темнохвойных, так и широколиственных пород. Палинокомплекс II свидетельствует об относительно прохладном климате и существовании лесостепной и степной растительности с возможной редукцией широколиственных пород; он схож с изученным нами комплексом из костеносного горизонта в разрезе Нижний Розовский, относящегося к ливенской свите первой половины позднего плиоцена [5], и предварительно может быть скоррелирован с данным временным интервалом.

Финансирование: Работа выполнена при поддержке гранта РНФ №24-27-00401 «История биоты наземных экосистем и стратиграфия позднего кайнозоя юга Сибири и сопредельных регионов».

Список литературы:

1. Бондарев А.А., Дорогов А.Л., Тесаков А.С (2016): Ростовка – новое местонахождение позвоночных раннего плиоцена Западной Сибири. XIII Всероссийская научная школа молодых ученых-палеонтологов "Современная палеонтология: классические и новейшие методы". Москва. с. 7-8. 08ad2fc1f8a9fef71b2485498e3c8432.pdf
2. Волкова В.С., Архипов С.А., Бабушкин А.Е., Кулькова И.А., Гуськов С.А., Кузьмина О.Б., Левчук Л.К., Михайлова И.В., Сухорукова С.С. Стратиграфия нефтегазоносных бассейнов Сибири. Кайнозой Западной Сибири. Новосибирск. Гео. 2002. 246 с.

3. Зыкин, В.С. Стратиграфия и эволюция природной среды и климата в позднем кайнозое юга Западной Сибири. Новосибирск. Гео. 2012. 487 с.
4. Segarra-Moragues J., Puche F., Sabovljevic M., Infante M., Heras P. Taxonomic revision of Riella subgenus Trabutiella (Riellaceae, Sphaerocarpales). Phytotaxa. 2014. V. 159. № 3. P. 131-174.
5. Tesakov A.S., Bondarev A.A. Down to the roots of lemmings: a new species of basal lemming from the upper Pliocene of West Siberia. Journal of Vertebrate Paleontology. 2022. V. 41. № 5. P. 1-16.

НОВАЯ НАХОДКА РОГА ПЕРВОБЫТНОГО ТУРА (*BOS PRIMIGENIUS*) В МИНУСИНСКОЙ КОТЛОВИНЕ

Королёва Е. В.[1], Маликов Д. Г.[2]*

[1]Новосибирский Государственный Университет, Новосибирск, Россия
[2]Институт геологии и минералогии им В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия
*e-mail: e.koroleva2@g.nsu.ru

Аннотация. В 2024 году в материалах зоологического музея Хакасского Государственного Университета был обнаружен целый левый рог первобытного тура, который был найден на территории Чулымо-Енисейской впадины на берегу реки Белый Июс. Предполагается, что образец происходит из II надпойменной террасы реки Белый Июс и относится к каргинскому времени. Благодаря этой находке стало возможным оценить примерный ареал распространения *Bos primigenius* Bojanus, 1927 в Минусинской котловине. Морфологический анализ рога может указывать на сходство с восточно-европейскими турами или молодой возраст животного.

Ключевые слова: Минусинская котловина, тур, *Bos primigenius*, крупные млекопитающие, Чебаково-Балахтинская впадина

NEW MATERIAL OF *BOS PRIMIGENIUS* IN MINUSINSK DEPRESSION

Koroleva E. V.[1], Malikov D. G.[2]

[1]Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia, e.koroleva2@g.nsu.ru
[2]V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, Novosibirsk, Russia

Abstract. In 2024, in the materials of the zoological museum of Khakass State University, an entire left horn of the aurochs was discovered, which was found on the territory of the Chulymo-Yeniseiskaya basin on the banks of the Bely Ius River. It is assumed that the sample originates from the II above-floodplain terrace of the Bely Ius River and dates back to the Karginian time. Thanks to this find, it became possible to estimate the approximate distribution area of *Bos primigenius* Bojanus, 1927 in the Minusinsk depression. Morphological analysis of the horn may indicate a high probability of similarity with Eastern European aurochs or the young age of the animal.

Keywords: Minusinsk depression, aurochs, *Bos primigenius*, large mammals, Chulymo-Yeniseiskaya basin.

Bos primigenius Bojanus, 1827 – вымерший предок крупного рогатого скота, известный с плейстоцена до XVII века. В Сибири единичные находки скелетов первобытного тура (*Bos primigenius*) известны с конца XIX – начала XX вв. на территориях Тюменской области, Алтайского и Красноярского края [2]. В основном их относят к голоцену, так, самой ранней является находка пястной кости на берегу р. Чумыш в Алтайском крае, датируемой 10241±404 (NSKA-01090) л. н. [1]. На территории Казахского мелкосопочника тур обитал в позднем голоцене [3]. Также находка неполного скелета тура в Республике Тыве на берегу р. Барык, относится к раннему голоцену [5]. Точная восточная граница ареала тура существования неизвестна и по сей день из-за редкой встречаемости в местонахождениях. Определение видовой принадлежности остатков роговых стержней и черепов этих животных не затруднено их большим анатомическим сходством с *Bison priscus* Bojanus, 1827 или крупного рогатого скота [4], в отличие от костей посткраниального скелета.

Ранее в Минусинской котловине были известны находки двух роговых стержней с частью лобных костей черепа. Точное местонахождение обоих экземпляров неизвестно, на

данный момент они хранятся в Хакасском национальном краеведческом музее (ХНКМ). Их возраст оценивается как поздний неоплейстоцен [7]. Новая находка рогового стержня уникальна тем, что он имеет лучшую сохранность и известно примерное место его находки. Сейчас рог хранится в Зоологическом музее Хакасского государственного университета (ЗМ ХГУ 6586). При сравнении размеров (схема промеров принята по Громовой В. И.) можно установить, что обсуждаемый экземпляр значительно мельче тех, которые хранятся в ХНКМ, то есть ранее известных находок из Минусинской котловины, также мельче экземпляров с Западной Сибири, Алтая и Забайкалья, которые были известны ещё в начале XX века. Наибольшее сходство он имеет с находками из Восточной Европы, которые были описаны В. И. Громовой в 1931 году [2], и голоценовыми животными Урала [4]. Но даже на их фоне обсуждаемый роговой стержень обладает немного меньшими размерами, и попадает в зону минимальных для тура размеров. Это вполне может быть связано с тем, что он принадлежал достаточно молодому животному. Рог имеет типичную для тура морфологию с изгибами в двух местах (Рисунок 1).

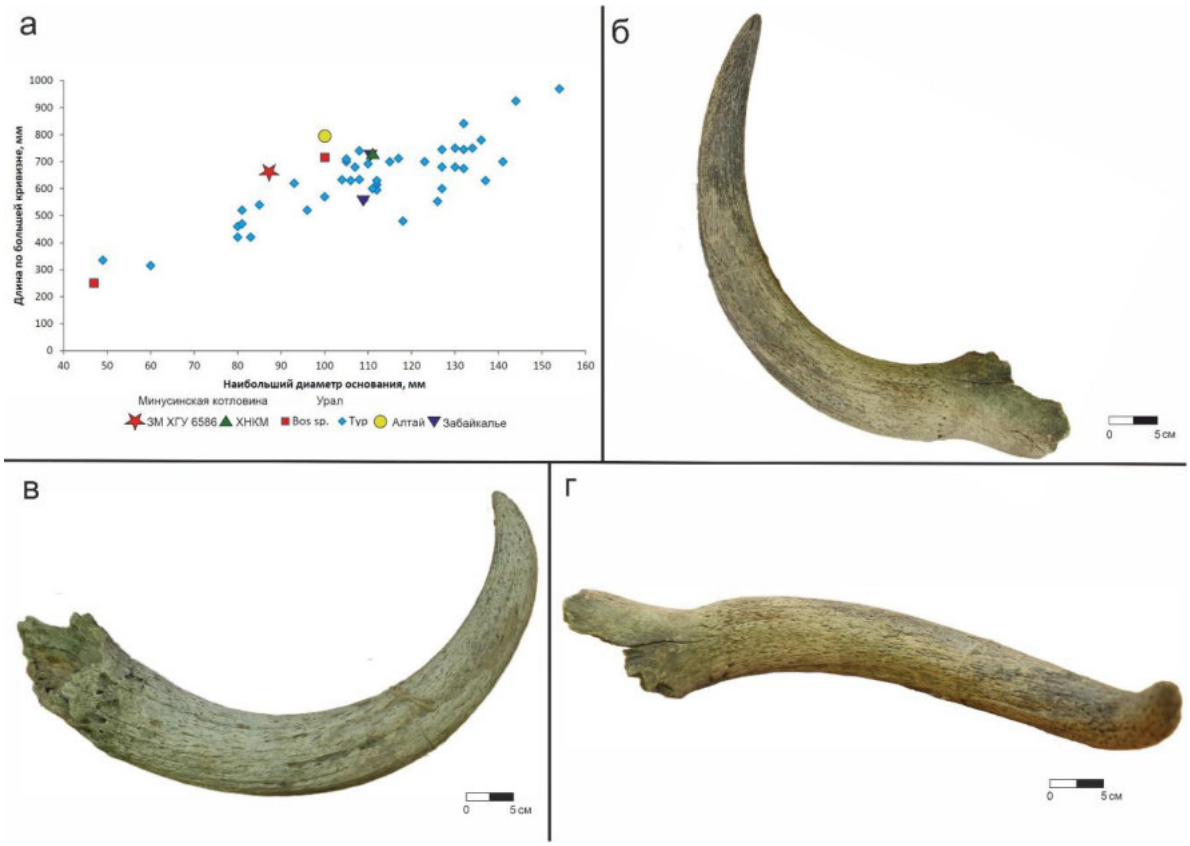

Рисунок 1. Диаграмма размерных характеристик рогов первобытного тура (а) из Хакассии, Южного Урала [4], Алтая и Забайкалья [2]; рог ЗМ ХГУ 6586, вид: дорсальный (б), вентральный (в), дистальный (г).

По информации из этикетки к образцу ЗМ ХГУ 6586 обсуждаемый рог найден на правом берегу р. Белый Июс, между д. Кобяково и Кожухово, Орджоникидзевского района Республики Хакасия. На данном участке рекой размываются отложения I и II надпойменной террас. По сохранности костный материал рога схож с материалами известными из местонахождения Кожухово II расположенного ниже по течению реки Белый Июс. Изначально местонахождение было ассоциировано с отложениями I надпойменной террасы р. Белый Июс и датировалось сартанским временем на основании ^{14}C даты по черепу

горного барана из местонахождения Кожухово I, расположенного неподалёку [9]. Однако, вновь проведённые исследования разреза Кожухово II, а также ^{14}C датировки полученные по остаткам лошади и фрагменту скелета сурка позволяют соотносить их с отложениями II надпойменной террасы и датировать каргинским временем в интервале 55-34 тыс. л. н. Такая датировка хорошо соотносится с возрастом II надпойменной террасы р. Белый Июс установленным по материалам датирования палеолитической стоянки Малая Сыя максимальным разбросом возраста в 41-32 тыс. л. н. [8, 6]. Таким образом, предварительно, можно датировать обсуждаемую находку каргинским временем. В Сибири практически неизвестны находки тура древнее голоцена, то есть, если предполагаемая датировка верна, то это одна из самых древних находок первобытного тура, известная в Сибири. Учитывая географическое расположение находки – бассейн реки Белый Июс лежит в Чулымо-Енисейской впадине и частично в Кузнецком Алатау, то можно предполагать, что территория Кузнецкого Алатау была примерным ареалом распространения первобытного тура в Минусинской котловине. Вполне возможно, что и более ранние находки (ХНКМ), также происходили с Кузнецкого Алатау.

Финансирование: Работа выполнена по государственному заданию ИГМ СО РАН (проект № №122041400243-9).

Список литературы:

1. Васильев С.К., Середнёв М.А., Милютин К.И., Панов В.С. Сборы остатков мегафауны на реках Чумыш (Алтайский край), Чик и Обь в районе поселка Бибиха (Новосибирская область) в 2016 году. Проблемы археологии, этнографии, антропологии Сибири и сопредельных территорий. 2015. Т. XXI. С. 36–40.
2. Громова В.И. Первобытный бык или тур (Bos primigenius Boj.) в СССР. Ежегодник Зоологического Музея Академии Наук СССР. 1931. С. 298–364.
3. Косинцев П.А., Бейсенов А.З., Гимранов Д.О. Находка Тура в позднем голоцене Азии. Зоологический Журнал. 2022. Т. 101. № 6. С. 687–692.
4. Косинцев П.А., Кисагулов А. В. Костные остатки тура и крупного рогатого скота из голоценовых местонахождений Южного Зауралья. Вестник Оренбургского Государственного Педагогического Университета. 2018. № 1. С. 44–55.
5. Лавров А.В., Забелин В.И. Первобытный тур (Bos primigenius, Bovidae) в раннем голоцене республики Тывы. Фундаментальные проблемы квартера: итоги изучения и основные направления дальнейших исследований. Материалы V Всероссийского совещания по изучению четвертичного периода. 2007. С. 208–209.
6. Лбова Л.В., Панов В.С., Зенин В.Н., Барков А.В. Новые данные о радиоуглеродном возрасте местонахождения Малая Сыя. Проблемы археологии, этнографии и антропологии Сибири и сопредельных территорий. 2015. Т. XXI. С. 103–106.
7. Маликов Д.Г. Крупные млекопитающие среднего-позднего неоплейстоцена Минусинской котловины, стратиграфическое значение и палеозоогеография. Дисс. на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук. Томск. 2015. 227 с.
8. Оводов Н.Д. Древние звери Хакасии. Астроархеология – естественно-научный инструмент познания протонаук и астральных религий жречества древних культур Хакасии. Красноярск. «Город». 2009. С. 189–199.
9. Шпанский А.В., Маликов Д.Г. Новые местонахождения четвертичных млекопитающих в междуречье рек Белый и Чёрный Июс, Республика Хакасия. Вестник Томского государственного университета. 2015. № 396. С. 245–257.

ГЛОБАЛЬНОЕ СОБЫТИЕ UPPER KELLWASSER В ПОЗДНЕМ ДЕВОНЕ СИБИРИ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА МИКРОБИОТУ (ОСТРАКОДЫ)

Попов Б.М.[*]

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, Новосибирск, Россия
*e-mail: popovbm@ipgg.sbras.ru

Аннотация. Изучен комплекс остракод из ключевых фран-фаменских разрезов Сибири, где ранее фиксировалось событие Upper Kellwasser. На территории Западной Сибири в разрезе на р. Томь и на территории Восточной Сибири в разрезе на р. Лена в фран-фаменском интервале прослеживается смена комплексов остракод. Прослежена взаимосвязь остракодовых сообществ и глобального аноксидного события в позднедевонское время. Зафиксировано сокращение таксономического разнообразия остракод в нижнем фамене.

Ключевые слова: франский ярус, фаменский ярус, поздний девон, остракоды, вымирание

THE UPPER KELLWASSER GLOBAL EVENT IN THE LATE DEVONIAN OF SIBERIA AND ITS IMPACT ON THE MICROBIOTA (OSTRACODS)

Popov B.M.

A.A. Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, Novosibirsk, Russia, popovbm@ipgg.sbras.ru

Abstract. A complex of ostracods from the key Frasnian-Famenian sections in Siberia, where the Upper Kellwasser event has been previously recorded, has been studied. In the territory of Western Siberia, in the section on the Tom River, and in the territory of the Siberian Platform, in the Lena River section, a change in ostracod complexes can be observed during the Frasnian/Famenian. The relationship between ostracod communities and the global anoxic event in the Late Devonian has been traced. A decrease in the variety of ostracod species in the Lower Famennian.

Keywords: Frasnian stage, Famennian stage, Late Devonian, ostracods, extinction

Позднедевонский этап характеризуется значительными изменениями морской микробиоты, приведшими к одному из крупнейших массовых вымираний в истории фанерозоя, названное как событие Upper Kellwasser [7, 8, 9, 11]. Ранее были рассмотрены ключевые разрезы верхнего девона на территории Сибири и в двух разрезах (разрез на р. Томь и разрез в дельте р. Лена) [6]. В результате изучения данных разрезов, производился отбор образцов на микрофаунистические исследования, в результате препарирования образцов – получена представительная коллекция остракод, насчитывающая более 5000 раковин и створок, хорошей сохранности.

Исследуемый терригенно-карбонатный разрез франского и фаменского ярусов расположен на юге Западной Сибири на правом берегу р. Томь (вблизи пос. Известковый завод, Кемеровская область). Здесь по фаунистическим находкам зафиксирована граница франского и фаменского яруса [1;10], а также по изотопно-геохимическим данным выявлено событие Upper Kellwasser [1]. Образцы для микрофаунистических исследований отбирались в ходе многолетних изучений этих разрезов Бахаревым Н.К. и коллективом сотрудников ИНГГ СО РАН. Основная часть образцов собрана в ходе полевых работ с 1981 по 2012 годы. Предварительные определения остракод были сделаны Н.К. Бахаревым [10].

Изучение новых образцов и исследования на сканирующем электронном микроскопе позволили уточнить определения остракод и выделить биостратоны [2]. В ходе полевых работ 2022 и 2023 годов автором произведен дополнительный отбор образцов, который позволил уточнить стратиграфическое положение ранее выделенных слоев с остракодами. Также удалось провести корреляцию с другими частями бассейна и впервые сделать биофациальный анализ по остракодам.

В разрезе прослеживается непрерывной последовательностью отложений глубокинской (средний фран), соломинской (верхний фран) свит, косоутесовскими и митихинскими (нижний фамен) слоями. В глубокинской свите (слои 6-7) найдены лишь три таксона остракод: *Bairdiocypris accuratus*, *Bairdia* sp., *Amphissites* sp. В соломинской свите (слои 8-24) прослежены разнообразные остракоды: *Hollinella valentinae*, *Amphissites klarae*, *Amphissites irinae*, *Bairdiocypris* sp., *Ampuloides* aff. *verrucosa*, *Arcyzona* sp., *Tricornina* sp., *Bairdia laminose* Rozhd., *Bairdia obliqua* Rozhd., *Bairdia obliqua* Rozhd., *Bairdia* sp. 3, *Bairdia* ex gr. *tikhyi* Pol., *Acantoscapha* sp., *Amphissites* sp., *Geisina* sp., *Sulcocavellina altschedatensis* Pol., *Microcheilinella peculiaris* Rozhd. et Netch., *Buregia* aff. *krestovnikovi* Pol., *Fellerites subsutus* Rozhd., *Arcyzona* sp., *Bicornellina bolchovitinovae* Zasp. Выше фиксируется слой (подошва слоя 26) небольшой черносланцевый прослой (около 10 см), где в настоящий момент остракод не найдено. В приграничном интервале и было установлено событие Upper Kellwasser [1]. В косоутесовских (слои кровля 26-27) слоях (после события Upper Kellwasser), таксономическое разнообразие остракод снижается и происходит смена видового состава комплекса остракод: *Acratia granuliformis*, *Amphissites* sp. nov., *Sulcatiella* sp., *Bairdiocypris* sp. В митихинских (слой 32) слоях, встречены следующие остракоды: *Acratia granuliformis*, *Bairdia samoilovae*, *Kozlowskiella* sp., *Cryptophyllus* sp., *Moorites* sp., *Bairdiocypris* sp., *Rozhdestvenskajites* sp., *Amphissites* sp. nov., *Microheilinella* sp., *Aparchitellina* cf. *monocornis, Knoxiella* aff. *domanica.* В результате биостратиграфического анализа в исследуемом районе выделены биостратоны: слои с *Hollinella valentinae* (соломинская свита, верхний фран) и слои с *Acratia granuliformis* (косоутесовские и митихинские слои, нижний фамена).

В 2012 и 2017 годах коллективом сотрудников ИНГГ СО РАН были проведены комплексные полевые работы по биостратиграфии и седиментологии верхнедевонских отложений о. Столб (дельта р. Лена). Разрез представлен морскими карбонатно-терригенными отложениями. В нем фиксируются приграничные слои франского и фаменского ярусов верхнего девона, и выраженный (кровля слоя 3) прослой (около 70 см) темно-серых высокоуглеродистых глинистых пород [6]. Ранее Н.К. Бахаревым из данного разреза определялись три вида остракод [6]. Позднее (2017 г.) был произведен повторный отбор образцов на микрофауну из разреза и была получена представительная коллекция остракод, состоящая из 600 раковин и створок хорошей и средней сохранности. В полученной коллекции удалось определить 12 видов остракод, принадлежащих к 10 родам. Находки остракод в разрезе приурочены к его нижней части (слои 2–9). Граница франа и фамена прослежена в кровле слоя 3, тогда как событие Upper Kellwasser приурочено к слою 3. Максимальное таксономическое разнообразие остракод фиксируется в слоях 2 и 3, в них определены следующие таксоны: *Bairdia sikasensis* Rozhd., *Akidellina karatchaelgaensis*, *Bairdia* aff. *kelleri*, *Acratia gassanovae*, *Evlanovia tichonovitchi*, *Bekena* sp., *Aparchites* sp., *Uchtovia* sp., *Bairdiocypris* sp. Приведенный комплекс остракод характерен для верхнего франа, виды из этого комплекса прослеживаются также в верхнем фране Южного Урала и Восточно-Европейской платформы. Кровля слоя 3 – остракодами не охарактеризована. В

вышележащем слое 4 (после события Upper Kellwasser) видовое таксономическое разнообразие остракод снижается, известны лишь три вида: *Bairdia* sp. 1, *Cryptophyllus* sp., *Acratia innumera*, последний характерен для раннего фамена Южного Урала. Экземпляры, отнесенные к Cryptophyllus sp., очень похожи на таксон, который ранее был встречен в нижнем фамене на р. Яя северо-восточной окраины Кузнецкого бассейна [3, 4, 5, 10], а также в митихинских слоях на р. Томь [2]. Они имеют такую же характерную раковину с хорошо развитой срединной перегородкой на макушке и 9 четких сегментов [2]. Единичные формы; *Bairdia* sp. 1 (слой 8), *Acratia innumera* (слой 9), встречены выше по разрезу. Проведенный биостратиграфический анализ позволил выделить в интервале верхний фран – нижний фамен два биостратона в ранге слоев с фауной: слои с *Bairdia sikasensis* (верхний фран) и слои с *Acratia innumera* (нижний фамен).

Полученные данные позволяют провести сравнение и выявить закономерность в поведении остракод в разрезах, где зафиксировано глобальное аноксидное событие Upper Kellwasser. На юге Западной Сибири, прослежена тенденция, при которой близ границы франского-фаменского яруса, происходит смена всего комплекса остракод и появления нового комплекса, который характерен для нижнего фамена. Аналогичная ситуация прослежена и в разрезе на о. Столб (дельта р. Лена). Помимо этого, зафиксировано сокращение таксономического разнообразия остракод в нижнем фамене.

Финансирование: Исследования выполнены в рамках ФНИ (FWZZ-2022-0005).

Список литературы:

1. Изох О.П., Изох Н.Г., Попов Б.М., Сараев С.В. БИО-, Литостратиграфические и геохимические маркеры глобальных событий верхнего девона юга Западной Сибири и их потенциал для межрегиональных корреляций. Геология и геофизика. 2024. DOI: 10.15372/GiG2023207.
2. Попов Б.М. Биостратиграфическое значение остракод верхнего девона северо-западной части окраины Кузнецкого бассейна (р. Томь, юго-восток Западной Сибири). Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. 2021. №4 (48). С. 12–23.
3. Попов Б.М., Изох Н.Г. Остракоды верхнего девона из разреза острова Столб (дельта р. Лена). Труды палеонтологического общества. 2021. Т. IV. С. 25-32.
4. Попов Б.М. Биостратиграфические данные по остракодам из опорных разрезов среднего и верхнего девона окраин Кузнецкого бассейна (юго-восток Западной Сибири). Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. 2019. № 2 (38). С. 3–15.
5. Попов Б.М. Новые находки верхнедевонских остракод из разреза острова Столб (дельта р. Лена). Современная палеонтология: классические и новейшие методы: Шестнадцатая Всероссийская научная школа молодых ученых-палеонтологов (г. Москва, 14-16 октября 2019 г.): Тезисы докладов. 2019. С. 21-22.
6. Язиков А.Ю., Изох Н.Г., Сараев С.В., Бахарев Н.К., Гонта Т.В., Соболев Е.С. Новые данные по биостратиграфии и седиментологии верхнедевонских отложений о. Столб (дельта р. Лены). Геология и геофизика. 2013. Т. 54. № 8. С. 1013–1027.
7. Becker R.T., Marshall J.E.A., Da Silva A.-C., Agterberg F.P., Gradstein F.M., Ogg J.G. The Devonian Period. The Geologic Time Scale 2020, v. 2. Amsterdam, Elsevier. 2020. p. 733—810
8. Carmichael S.K., Waters J.A., Suttner T.J., Kido E., DeReuil A.A. A new model for the Kellwasser Anoxia Events (Late Devonian): Shallow water anoxia in an open oceanic setting in the Central Asian Orogenic Belt. Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol. 2014. V. 399. P. 394—403.
9. Eder W., Engel W., Franke W., Langenstrassen F., Walliser O.H., Witten W. Überblick über die paläogeographische Entwicklung des östlichen Rheinischen Schiefergebirges. Exk.-Führer Geotagung 77. 1977. p. 2—11.
10. Bakharev N.K., Izokh N.G., Obut O.T., Talent J.A. Middle-Upper Devonian and Lower Carboniferous biostratigraphy of the Kuznetsk Basin: Field Excursion Guidebook. Int. Conf. “Biostratigraphy, Paleogeography and Events in Devonian and Lower Carboniferous”. Novosibirsk. Publ. House SB RAS. 2011. 98 p.
11. Schindler E. Die Kellwasser-Krise (hohe Frasne-Stufe, Ober-Devon). Göttinger Arb. Geol. Palaeontol. 1990. V. 46. 115 p.

НОВЫЕ ДАННЫЕ ПО ФОРАМИНИФЕРАМ ИЗ ОТЛОЖЕНИЙ ЭОЦЕНА ФЕРГАНСКОЙ ДОЛИНЫ (ЦЕНТРАЛЬНАЯ АЗИЯ)

Трубин Я.С.[1,2], Маринов В.А.[2,3], Баканова Е.А.[2,4], Похазникова А.А.[2], Смирнов П.В.[1]

[1]Альметьевский государственный технологический университет «Высшая школа нефти», Альметьевск
[2]Тюменский научный центр СО РАН, Тюмень
[3]Тюменский нефтяной научный центр, Тюмень
[4]Тюменский государственный университет, Тюмень
*e-mail: iyr-2009@mail.ru

Аннотация. Получены новые данные по фораминиферам эоцена урочища Мадыген (Ферганская долина, Баткенская область, Кыргызстан), позволившие уточнить биоразнообразие комплексов микробиоты и реконструировать среду их обитания. Наиболее разнообразной группой в комплексе являются фораминиферы с секреционно-карбонатной стенкой. Комплексы обитали в обстановках литорали со слабой аэрацией осадка.

Ключевые слова: фораминиферы, палеоген, палеоэкология литораль

NEW DATA ON FORAMINIFERA FROM EOCENE DEPOSITS OF THE FERGHANA VALLEY (CENTRAL ASIA)

Trubin Y.S.[1,2], Marinov V.A.[2,3], Bakanova E.A.[2,4], Pokhaznikova A.A.[2], Smirnov P.V.[1]

[1] Petroleum High School, Almetyevsk, e-mail: iyr-2009@mail.ru
[2]Tyumen Scientific Centre SB RAS, Tyumen
[3]Tyumen Petroleum Research Center, Tyumen
[4]University of Tyumen, Tyumen

Abstract. New data on the Eocene foraminifera of the Madygen tract (Fergana valley, Batken oblast, Kyrgyzstan) have been obtained, allowing the biodiversity of microbiota complexes to be elucidated and their habitat to be reconstructed. The most diverse group in the complex are foraminifera with a secretion-carbonate wall. The complexes lived in littoral environments with poor sediment aeration.

Keywords: foraminifera, palaeogene, coastal palaeoecology

Изучение фораминифер эоцена Ферганской долины инициировано в середине прошлого столетия [3] в рамках работ по детальному изучению морских палеогеновых отложений этого региона [7]. Наряду с фораминиферами из этих отложений известны находки устричной фауны и других моллюсков [6], редкие зубы акул [8], а также створки остракод, иглы морских ежей и единичные фрагменты восьмилучевых кораллов. Фораминиферы одна из наиболее важных групп как для решения вопросов биостратиграфического расчленения и корреляции геологических разрезов, так и для выполнения палеоэкологических и палеобиогеографических построений [13]. Однако, несмотря на высокое биостратиграфическое и палеоиндикационное значение фораминифер, представления о их биоразнообразии, палеобиогеографическом распространении и связь комплексов с конкретными фациями Ферганского бассейна недостаточно изучены и известны лишь из отдельных литературных источников [1, 2, 3, 4, 5, 7]. Недостаток информации особенно заметен на фоне активно изучаемых современными методами сопредельных регионов [10, 11, 14, 15]. В связи с этим необходимо детальное

изучение комплексов фораминифер. Целью работы является уточнение биоразнообразии комплексов фораминифер эоцена Ферганского бассейна и их палеогеографического значения.

Материалами для исследования послужили результаты наблюдений и сборов за летние полевые сезоны с 2021 по 2023 года в пределах урочища Мадыген (Баткенская область, Кыргызстан). Всего отобрано 52 образца из глинистых отложений туркестанской и риштанской свит среднего эоцена. Раковины фораминифер извлечены из образцов горных пород по стандартной методике [9].

Всего из отложений туркестанской и риштанской свит извлечено 1417 раковин фораминифер и определено 18 видов. Среди фораминифер с агглютинированной стенкой обнаружен только один вид, определенный как *Verneuilinoides* sp. Раковины с секреционно-карбонатной стенкой отличаются большим разнообразием и представлены *Quinqueloculina* sp., *Cibicidoides artemi* (N. Bykova, 1939), *Cibicidoides* aff. *artemi* (N. Bykova, 1939), *Cibicidoides* cf. *circumspectionis* (N. Bykova, 1959), *Cibicidoides* sp., *Ammonia ferganensis* (N. Bykova, 1939), *Ammonia* sp., *Rotalia* (?) *alaica* (N. Bykova, 1949), *Nonion laeve* (d'Orbigny, 1826), *Nonion* sp., *Cribrononion* sp., *Porosononion* sp., *Elphidium* sp., *Cribroelphidium perrarum* Uschakova in Subbotina, 1964, *Cribroelphidium rischtanicum* (N. Bykova, 1939), *Cribroelphidium* sp.

Структура и состав комплекса фораминифер указывает на формирование вмещающих пород в обстановках литорали со слабой аэрацией осадка и некоторой его неоднородностью [12]. Большее число видов, чем характерно для приливно-отливной зоны морского бассейна в эоцене [15], может быть связано с благоприятным температурным режимом и повышенным содержанием растворенного карбонатного материала, вероятно, поступившего с оконтуривающих бассейн известняков палеозойского возраста.

Коллектив авторов выражает искреннюю признательность руководителю Тянь-Шаньского геологического общества Кыргызстана Алексею Дудашвили за помощь в организации полевых работ, а также своим коллегам Алине Винклер, Илье Когану, Мерим Дербишевой и Дмитрию Мирзабаеву за всевозможное содействие в выполнении исследований.

Финансирование: Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ № 24-27-00249.

Список литературы:

1. Бугрова Э.М., Гладкова В.И., Дмитриева Т.В., Невзорова Л.С., Пинчук Т.В., Подобина В.М., Тверская Л.А., Тур Н.А., Фрегатова Н.А. Практическое руководство по микрофауне. Том 8. Фораминиферы кайнозоя. Санкт-Петербург. Издательство ВСЕГЕИ. 2005. 323 с.
2. Быкова Н.К. Материалы к палеоэкологии фораминифер алайского и туркестанского ярусов Ферганской долины. Микрофауна СССР. Сборник 10. 1959. С. 544–613.
3. Быкова Н.К. Фораминиферы верхнемеловых и палеогеновых отложений Ферганской долины. Ленинград, Москва. ГОНТИ НКТП СССР. 1939. 48 с.
4. Быкова Н.К., Вебер Г.Ф., Вялов О.С., Коробков И.А., Криштофович А.Н., Липман Р.Х., Мандельштам М.И., Меннер В.В., Плешаков И.Б., Раммельмайер Е.С., Родендорф Б.Б., Рябинин А.Н., Субботина Н.Н., Чернышев Б.И., Шульга-Нестеренко М.И., Янишевский М.Э. Атлас руководящих форм ископаемых фаун СССР. Москва. Государственное издательство геологической литературы. 1949. Т. 12. 367 с.
5. Быкова Н.К. Материалы к палеоэкологии фораминифер сузакского яруса палеогена ферганской долины. Труды ВНИГРИ. 1953. С. 207–296.
6. Вялов О.С. Палеогеновые устрицы Таджикской депрессии. Ленинград, Москва. Гостоптехиздат. 1948. 94 с.
7. Геккер Р.Ф., Осипова А.И., Бельская Т.Н. Ферганский залив палеогенового моря Средней Азии, книга 1. Москва. Издательство АН СССР. 1962. 332 с.

8. Железко В.И, Козлов В.А. Эласмобранхии и биостратиграфия палеогена Зауралья и Средней Азии. Екатеринбург. Уральское отделение РАН. 1999. 324 с.

9. Подобина В. М., Ксенева Т. Г. Микропалеонтология: учебное пособие (второе дополненное издание). Лондон. Palmarium Academic Publishing. 2013. 320 с.

10. Bosboom R., Mandic O., Dupont-Nivet G., et al. Late Eocene palaeogeography of the proto-Paratethys sea in Central Asia (NW China, southern Kyrgyzstan and SW Tajikistan). Geological Society. Special Publications. 2017. V. 427. №. 1. P. 565–588.

11. Khozyem H., Adatte T., Brunet M.-F., Chiaradia M., Keller G., Thibault N., Sidorova I., Nurtaev B., Karabeyoglu U., Spangenberg J., Castelltort S. Multidisciplinary study on the stratigraphy of the upper Cretaceous-Paleogene successions in the western Tajik Basin. Journal of Asian Earth Sciences. 2024. V. 267. 106137.

12. Langer M.R., Hottinger L. & Huber B. Functional morphology in low-diverse benthic foraminiferal assemblages from tidal flats in the North Sea. Senckenbergiana Maritima. 1989. P. 81–99.

13. Murray J.W. Ecology and Applications of Benthic Foraminifera. New York. Cambridge University Press. 2006. 426 p.

14. Salahi A. Late Paleocene-Middle Eocene Planktonic and Small Benthic Foraminiferal Fauna from the Type Section of Khangiran Formation, Kopet-Dagh Basin (NE Iran), Southernmost Peri-Tethys. Stratigraphy and Geological Correlation. 2021. V. 29. P. 303-321.

15. Trubin Y.S., Marinov V.A., Smirnov P.V., Novoselov A.A., Langer M.R. Upper Eocene benthic foraminiferal assemblages from the Western Siberia (Trans-Ural Region): a multi-proxy approach to infer environmental changes. Micropaleontology. 2024. V. 70. №. 3. P. 287-299.

ПАЛИНОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОПЕРЕЧНИНСКОЙ ТОЛЩИ ПОЛУОСТРОВА ЧЕЛЮСКИН (ПОЛУОСТРОВ ТАЙМЫР)

Фоменко А.П.[1,2], Носевич Е.С.[1], Шнейдер Г.В.[1], Костин Д.Н.[1]*

[1]Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского, Санкт-Петербург, Россия
[2]Ботанический институт им. В.Л. Комарова, Санкт-Петербург, Россия
*e-mail: fomenko.antonina@gmail.com

Аннотация. Впервые на территории полуострова Челюскин выделена поперечнинская толща по результатам изучения кернового материала из скважин в акватории и на побережье залива Терезы Клавенес и образцов из обнажения в долине р. Поперечная. Выполнен спорово-пыльцевой анализ, а также получен OSL возраст отложений.

Ключевые слова: полуостров Таймыр, Челюскин, поздний неоплейстоцен, спорово-пыльцевой анализ, ОСЛ-датирование

PALYNOLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE POPERECHNAYA STRATA OF THE CHELYUSKIN PENINSULA (TAIMYR PENINSULA)

Fomenko A.P.[1,2], Nosevich E.S.[1], Schneider G.V.[1], Kostin D.N.[1]*

[1]A.P. Karpinsky Russian Geological Research Institute, Saint Petersburg, Russia, fomenko.antonina@gmail.com
[2]Komarov Botanical Institute of the Russian Academy of Sciences, Saint Petersburg, Russia

Abstract. For the first time, the Poperechnaya strata was highlighted based the results of core studies from boreholes in the water area and the coastal area of Teresa Klavenes Bay, as well as samples studies from a section in the valley of the Poperechnaya River on the territory of the Chelyuskin Peninsula. Pollen analysis, as well as the OSL-dating were carried out.

Keywords: Taimyr Peninsula, Chelyuskin, Late Pleistocene, pollen analysis, OSL-dating

Поперечнинская толща, получившая название по р. Поперечная, выделена на карте четвертичных образований (КЧО) впервые и имеет полигенетическое происхождение (лимний и мариний). Толща отнесена к первой и второй ступеням верхнего звена неоплейстоцена (казанцевско-муруктинское время). Толща широко представлена в картировочных скважинах в зал. Терезы Клавенес, пробуренных при проведении ГСШ-200., и имеет субгоризонтальное плащеообразное залегание. Подошва толщи залегает на скальных породах или казанцевском маринии на абс. отметках от -20 до -40 м, кровля - +10 м. Прикровельная (верхняя) часть толщи мощностью около 3-4 м фрагментарно описана на суше на правобережье одноименной реки в рамках работ ГДП-200 для листов Т-48-XXV-XXVII. Методом ОСЛ получен абсолютный возраст верхней части толщи, который составляет 67±4 тыс. л.н.

Поперечнинская толща сложена монотонными серо-зелеными, темно-коричневыми ленточнослоистыми глинистыми алевритами и глинами, тонко горизонтальнослоистыми, алевритовыми песками. Слоистость подчеркивается сменой оттенков цвета, мощность слойков варьирует от 0,5 до 2 см. Мощность толщи в скважинах в пределах изученной территории составляет 24-33 м.

Для получения характеристики ландшафтно-климатических обстановок во время накопления попереченской толщи использован метод спорово-пыльцевого анализа. Лабораторная обработка образцов производилась в лаборатории четвертичной микропалеонтологии Института Карпинского по расширенной методике В.П. Гричука с использованием тяжелой жидкости ГПС-В [1]. Процентное соотношение пыльцевых и споровых таксонов рассчитано от общей суммы пыльцы деревьев и трав.

В скважине **05050** в интервале глубин 25,0-20,0 м вскрыто основание поперечнинской толщи, залегающее на казанцевском маринии.

Палинозона 6 (35,0-25,0 м). Пыльца древесных и кустарниковых не превышает 50%, среди них преобладает пыльца *Betula nana* (до 29%) и *Alnaster* (до 7%), также *Pinus sect. Haploxylon* (до 9%). Встречены единичные зерна *Larix* и *Abies.* Среди пыльцы трав (до 56%) доминирует пыльца семейств Poaceae (до 23%), Cyperaceae (до 17%), Saxifragaceae (до 5%) и Asteraceae (до 6%). Отмечена *Ephedra*. Споровые в основном представлены Polypodiaceae и *Sphagnum*.

Палинозона 7 (25,0-20,0 м). Спектры аналогичны комплексам палинозоны 6, однако сохранность пыльцы и спор значительно лучше.

В скважине **03160** методом спорово-пыльцевого анализа изучено 15 образцов в интервале глубин 37,0-21,0 м. По результатам анализа выделена 1 пыльцевая зона, где содержание пыльцы древесных и кустарниковых не превышает 39%. Преобладает пыльца *Betula nana* (до 23%) и *Alnaster* (до 10%). Пыльца *Betula* (до 9%) выпадает из спектров в средней части разреза. Единично отмечена пыльца хвойных, таких как *Pinus sect. Haploxylon, Pinus sect. Diploxylon*, *Larix*, *Abies* и *Picea obovata*. Среди пыльцы трав доминирует пыльца семейства Poaceae (до 25%), Cyperaceae (до 27%), Saxifragaceae (до 11%). Среди спор доминируют *Sphagnum* и Polypodiaceae.

В скважине **03120** из поперечнинской толщи проанализировано 24 образца в интервале глубин 24,0-0,0 м. Выделено 4 пыльцевых зоны.

Палинозона 1 (24,0-21,5 м). Пыльца древесных и кустарниковых составляет до 65%. Преобладает пыльца *Betula nana* (до 20%), *Betula* (до 17%), а также *Alnaster* (до 7%) и *Pinus sect. Haploxylon* (до 12%). Единично отмечены *Larix* и *Abies*. Пыльца травянистых преимущественно представлена Poaceae (до 16%), Cyperaceae (до 6%), Ericaceae (до 3%), а также Juncaceae (до 3%). Споры разнообразны, среди них особенно выделяются *Lycopodium pungens, Lycopodium annotium,* Polypodiaceae и *Sphagnum*. Отмечена *Huperzia*.

Палинозона 2 (21,5-15,0 м). Пыльца древесных и кустарниковых не превышает 28%, при этом среди них преобладают *Alnaster* (до 12%) и *Betula nana* (до 10%). Встречены единичные зерна *Larix.* Среди трав доминирует пыльца Poaceae (до 40%), Cyperaceae (до 14%), Saxifragaceae (до 9%), Brassicaceae (до 7%) и Papaveraceae (до 6%). Споры представлены *Sphagnum.*

Палинозона 3 (10,0-7,5 м). Возрастает содержание пыльцы *Betula* (до 9%). Отмечены единичные пыльцевые зерна *Larix.* Отмечены арктотундровые элементы флоры – *Juncus, Luzula, Stellaria*.

Палинозона 4 (7,5-1,0 м). Пыльца хвойных выпадает из спектров полностью, а содержание пыльцы *Betula* сокращается до единичных зерен. При этом возрастает содержание Caryophyllaceae (до 3%) и Chenopodiaceae (до 5%).

Пыльцевые спектры поперечнинской толщи характеризуют постепенное похолодание климата от времени казанцевского межледниковья с теплым и сухим климатом до времени муруктинского оледенения с холодным и влажным климатом. Кроме того, прослеживается

динамика ландшафтов: кустарниковая тундра – постепенный переход к кустарничковой тундре – кустарничковая тундра – типичная тундра – арктическая тундра или полярная пустыня.

Таким образом, возраст поперечнинской толщи определен казанцевским-муруктинским временем по смене характера климата и растительности, а также по значению абсолютного возраста.

Финансирование: Работа выполнена в рамках объекта «ГДП-200 листов Т-47-XXVIII, XXIX, XXX, Т-48-XXV, XXVI, XXVII (Западно-Челюскинская площадь)».

Список литературы:

1. Гричук В. П., Заклинская Е. Д. Анализ ископаемых пыльцы и спор и его применение в палеогеографии. Москва. ОГИЗ. 1948. 223 с.

Секция Геоморфология и четвертичная геология

ВЕРНЕНЕОПЛЕЙСТОЦЕНОВЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ ЛЕДНИКОВОГО КОМЛЕКСА НА СЕВЕРО-ЗАПАДЕ ТАЙМЫРА

*Костин Д.Н.**

Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского (Институт Карпинского), Санкт-Петербург, Россия
*e-mail: dmitriy_kostin_spb@mail.ru

Аннотация. В ходе работ по изучению и картированию четвертичных образований в северо-западной части полуострова Таймыр были описаны и прослежены площади распространения отложений конечно-моренных гряд и донной морены, гляциофлювиальных образований в виде геоморфологически выраженных озов протяженность до 25 км, камов и останцов озерно-ледниковых отложений. Данные образования маркируют границы распространения и динамику дегляциации Карского ледникового щита на протяжении четвертой кислородно-изотопной стадии (МИС 4) в центральной части Российской Арктики.

Ключевые слова: Арктика, Таймыр, Карский ледниковый щит, верхний неоплейстоцен

LATE PLEISTOCENE DEPOSITS OF THE GLACIER COMPLEX ON THE NORTHWEST TAIMYR

Kostin D.N.

A.P. Karpinsky Russian Geological Research Institute, Saint Petersburg, Russia
*e-mail: dmitriy_kostin_spb@mail.ru

Abstract. During the research and mapping of Quaternary formations in the northwestern part of the Taimyr Peninsula, the areas of distribution of deposits of moraine ridges and subglacial moraine were described and traced, and glaciofluvial formations of kames, geomorphological expressed eskers with a length of up to 25 km and remnants of glaciolacustrine deposits. These deposits of glacier complex mark the boundary and dynamics of deglaciation of the Kara Sea Ice Sheet (KSIS) during the fourth marine isotope stage (MIS 4) in the central part of the Russian Arctic.

Keywords: Arctic, Taimyr, Kara Sea Ice Sheet (KSIS), Late Pleistocene

Четвертичным отложениям, и как следствие, истории оледенений на Таймыре на протяжении среднего и позднего неоплейстоцена посвящено значительное количество работ [5,6] Однако территория северо-западной части полуострова по большей части представлена белым пятном в тематике исследований. Последние детальные геолого-съемочные работы, проводившиеся в период с 1997 по 1999 год, не были доведены до конца. Отдельные работы по изучению четвертичных отложений как в рамках российско-шведской экспедиции проекта QUEEN [3,4], а также в ходе геологической съемки масштаба 1:1000000 листов S-44, 45 [2] не могли охватить данную территорию и представлены единичными обнажениями.

С 2017 по 2020 год на исследуемой площади проводились детальные геолого-съемочные работы масштаба 1:200000 по изучению четвертичных отложений. Данные отложения кроме детального литологического и геоморфологического описания были опробованы для проведения геохронологических исследований, в первую очередь для

датирования методом OSL гляциофлювиальных толщ (Таблица 1) и стратиграфических исследований, так как отложения зачастую вмещают переотложенные обломки и целые створки хорошо окатанной макрофауны. В ходе работ были выделены два ключевых участка с преобладаем ледниковых отложений – *полуостров Михайлова* (Рисунок 1) и *среднее течение реки Гусиная*.

Первый участок - полуостров Михайлова, который рассматривается как возможная граница распространения Карского ледникового щита в позднем неоплейстоцене [5,6]. Новые данные, появившиеся по результатам геологической съемки миллионого масштаба в 2014-2015 году [1] добавили дискуссионности в данном вопросе, поэтому в 2020 году были изучены несколько разрезов вдоль южного побережья п-ва, где были описаны и опробованы обнажения ледникового генезиса – представленные выходами, предположительно, абляционной морены.

Рисунок 1. Южное побережье полуострова Михайлова

В долине р. Гусиная были описаны отложения плосковершинных камовых террас с поверхностью на уровне 20 м н.у.м. и мощностью более 10 м на участке от устья р. Нижняя до устья р. Новая, где они вскрываются в естественных эрозионных обрывах и обнажениях и частично перекрываются маринием каргинского горизонта.

Кроме детальных участков на территории были описаны крупные озовые гряды высотой до 20-25 м, ориентированных в северо-западном направлении. Самый протяженный (более 25 км) оз, хорошо выделяющийся как на космоснимках, так в рельефе местности, был изучен и прослежен несколькими маршрутами. Данная гляциофлювиальная гряда, следуя вдоль долины р. Блудная и пересекая водораздельную возвышенность переходит в верховье долины р. Диоритовая, где раздваивается и одной частью продолжается в северо-западном направлении, а другой спускается в виде останцов по долине р. Диоритовая и обрывается на уровне 50 м н.у.м. Результат датирования показал запредельный возраст >77 тыс. лет по кварцу и >201 тыс. лет по полевым шпатам. Западнее, в долине р. Широкая была описана гляциофлювиальная гряда, которая также представлена

останцами в виде вытянутых вдоль реки возвышенностей и протяженностью около 6 км и относительной высотой 15-20 м.

В долине р. Скалистая были описаны гляциофлювиальные отложения крупных камовых террасовидных холмов и отдельных конусообразных возвышенностей. В естественных обнажениях и расчистках были получены две датировки, полученные методов ОСЛ - 52±6 тыс. лет и 54±6 тыс. лет. Еще одна датировка была получена в обнажении в верховьях р. Тревожной, где из прислоненной к склону террасовидной поверхности, отложения которой представлены песками и галькой с обломками макрофауны была получена датировка в 76±12 тыс. лет

Таблица 1. Результаты датирования гляциофлювиальных отложений, полученные методом ОСЛ

Обнажение	Лабораторный номер	Возраст, тыс. лет
108048	RGI-0256	>77
108025	RGI-0256	>79
108065	RGI-0197	52±6
57073	RGI-0195	54±6
68014	RGI-0419	76±12

Геоморфологически выраженные гляциофлювиальные гряды, их северо-западная ориентировка и области развития камовых террас в сумме с абсолютными датировками указывают на покровных характер оледенения с центром на шельфе Карского моря и возраст его дегляциации в районе северо-западного Таймыра на границе MIS3-MIS4. Выделенная толща морены, слагающая цоколь полуострова Михайлова также согласуется с современными моделями дегляциации Карского ледникового щита [5,6].

Финансирование: Работа выполнена в рамках ГДП-200 листов S-45-XI, XII (Ленивенская площадь) и S-45-IX, X, XV, XVI (Мининская площадь) в рамках объекта «Проведение в 2017-2021 годах региональных геологосъемочных работ масштаба 1:200000 на группу листов в пределах Сибирского федерального округа».

Список литературы:

1. Гусев Е.А., Максимов Ф.Е., Молодьков А.Н. и др. Новые геохронологические данные по неоплейстоцен-голоценовым отложениям Западного Таймыра и островам Карского моря. Проблемы Арктики и Антарктики. 2016. №3 (109). С. 74-84.
2. Макарьев А. А., Макарьева Е. М., Молчанова Е. В. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:1 000 000. Третье поколение. Серия Таймырско-Североземельская. Листы S-44 – Диксон, S-45 – Усть-Тарея. Объяснительная записка. Минприроды России, Роснедра, Моргео, ФГБУ «ВСЕГЕИ», ФГУНПП «ПМГРЭ». СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2020. 450 с.
3. Павлов М.В., Федоров Г.Б., Большиянов Д.Ю., Антонов О.М. Новые данные о строении четвертичных отложений и палеогеографии архипелага Северная Земля и Северного Таймыра. Природные ресурсы Таймыра. Вып. 2. Дудинка. 2004. С. 245-257.
4. Hjort C., Funder S. Mountain-derived versus shelf-based glaciations on the western Taymyr Peninsula, Siberia. Polar Research. 2008. V. 27. № 2. P. 273-279.
5. Moller P., Alexanderson H., Funder S., Hjort C. The Taimyr Peninsula and the Severnaya Zemlya archipelago, Arctic Russia: a synthesis of glacial history and palaeo-environmental change during the Last Glacial cycle (MIS 5e-2). Quaternary Science Reviews. 2015. V. 107. P. 149–181.
6. Svendsen J.I., Alexanderson H., Astakhov V.I. et al. Late Quaternary ice sheet history of Northern Eurasia. Quaternary Science Review. 2004. V. 23. № 11–13. P. 1229–1271.

Секция Новые информационные и геоинформационные технологии в геологии и геоморфологии

СРАВНЕНИЕ АЛГОРИТМОВ КЛАССИФИКАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ КАРТОГРАФИРОВАНИЯ КРИОГЕННОГО РЕЛЬЕФА ОСТРОВА АРГА (ДЕЛЬТА РЕКИ ЛЕНЫ)

Картозия А.А.[*]

Институт геологии и минералогии им В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия
*e-mail: andrei.kartoziia@igm.nsc.ru

Аннотация. В ходе исследования анализировался космический снимок Sentinel-2 и производные от него индексы на территорию участка острова Арга. Мы сравнили результаты управляемой классификации криогенного рельефа, полученные следующими алгоритмами: дерево классификации и регрессии (CART), градиентный бустинг (GTB), случайного леса (RF), К-ближайших соседей (KNN), опорных векторов (SVM), минимального расстояния (MIND). В итоге мы выяснили, что наиболее высокую точность достигают алгоритмы RF и KNN.

Ключевые слова: управляемая классификация, машинное обучение, термоденудациия, Google Earth Engine

COMPARISON OF CLASSIFICATION ALGORITHMS USING MACHINE LEARNING IN SOLVING PROBLEMS OF MAPPING THE CRYOGENIC RELIEF OF ARGA ISLAND (LENA RIVER DELTA)

Kartoziia A.A.

V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, Novosibirsk, Russia,
andrei.kartoziia@igm.nsc.ru

Abstract. The study analyzed the Sentinel-2 satellite image and its derived indices over the Arga Island area. We compared the results of supervised classification of thermokarst landscape obtained using the following algorithms: Classification and Regression Tree (CART), Gradient Boosting (GB), Random Forest (RF), k-Nearest Neighbors (KNN), Support Vector Machines (SVM) and Minimum Distance (MIND). As a result, the RF and KNN algorithms were found to achieve the highest level of accuracy.

Keywords: supervised classification, machine learning, thermal denudation, Google Earth Engine

Данные наблюдений подтверждают современный тренд повышения среднегодовых температур поверхности Земли. Повышение температуры земной поверхности приводит к активизации опасных геологических процессов, которые связаны с деградацией подземных льдов, увеличением глубины сезонного протаивания, береговой эрозией и многими другими явлениями. Эти процессы опасны для объектов инфраструктуры и могут приводить как к экономическому ущербу, так и угрожать здоровью и жизни человека [3]. Кроме того, они приводят к глубокой перестройке природной среды и изменению геолого-геоморфологического каркаса экосистем. Современное развитие методов ГИС-анализа данных дистанционного зондирования (ДДЗ) Земли позволяет исследовать последствия воздействия термоденудационных процессов, а также количественно и качественно описывать их [1]. Более того, зачастую анализ ДДЗ является единственно возможным для труднодоступных полярных территорий.

Исследование является продолжением предыдущего этапа работ, в ходе которого было выполнено среднемасштабное ГИС-картографирование острова Арга с помощью управляемой классификации методом случайного леса (RF) [2]. Здесь мы представляем исследование, целью которого является сравнение результатов управляемой классификации, полученных с помощью различных методов машинного обучения и определение наиболее оптимального метода и его гиперпараметров для решения задач ГИС-картографирования криогенного рельефа. Все работы были выполнены на платформе Google Earth Engine. Мы анализировали участок острова Арга (северо-западная часть дельты реки Лены) площадью около 2 000 км^2. В качестве исходных данных мы использовали космический снимок Sentinel-2 (Level-2A) от 29 июля 2021 года. Анализируемое композитное изображение включало в себя нормализованные каналы исходного снимка Sentinel; результаты построения индексов NDVI, NDWI, EVI, TCW и TCG; первые три канала результата обработки данных методом главных компонент (МГК): PCA 1, PCA 2 и PCA 3. Процесс выбора космического снимка и построения индексов описаны в [2].

Мы определили ряд картографируемых классов земной поверхности, которые отличимы друг от друга по своим спектральным характеристикам и являются индикаторами состояния криогенного рельефа. К классам относятся [2]: 1) водные объекты, 2) стабильные участки, 3) участки с деградирующими многолетнемерзлыми породами (ММП), 4) склоны и 5) песчаные выдувы. Для каждого класса мы картографировали эталонные полигоны, которые затем были конвертированы в точки. Всего мы использовали 164 060 точек для тренировки моделей машинного обучения и 60 624 точки для валидации результатов. В ходе исследования мы сравнивали результаты классификации, полученные с помощью следующих методов: дерево классификации и регрессии (CART), градиентный бустинг (GTB), случайного леса (RF), К-ближайших соседей (KNN), опорных векторов (SVM), минимального расстояния (MIND). В ходе выполнения классификации определялись наиболее оптимальные гиперпараметры каждого метода. Каждая модель использовала одни и те же наборы данных для тренировки и оценки точности, а также одинаковый набор каналов композитного изображения. Валидация результатов заключалась в сравнении следующих характеристик точности алгоритма классификации: общая точность (overall accuracy, OA), точность (precision, consumer’s accuracy, CA), полнота (recall, producer's accuracy, PA), F1-мера (F1 Score) и Каппа коэффициент (Kappa coefficient). В итоге работы мы получили исчерпывающие данные о точности работы анализируемых алгоритмов управляемой классификации (Таблица 1, 2, 3, 4).

Таблица 1. Сравнение результатов классификации по параметру полноты (recall).

Класс	CART	GTB	RF	KNN	SVM	MIND
1	98,43%	98,35%	99,16%	98,80%	98,67%	98,52%
2	94,81%	95,49%	99,38%	96,43%	93,52%	97,58%
3	98,63%	98,51%	96,31%	98,89%	99,30%	96,98%
4	97,27%	98,83%	98,36%	99,29%	99,16%	97,16%
5	99,97%	100,00%	99,98%	100,00%	100,00%	99,92%
Среднее	97,82%	98,24%	98,64%	98,68%	98,13%	98,03%

Таблица 2. Сравнение результатов классификации по параметру точности (precision).

Класс	CART	GTB	RF	KNN	SVM	MIND
1	99,03%	98,85%	98,92%	99,43%	99,93%	99,92%
2	98,90%	99,07%	96,10%	99,11%	99,45%	95,14%
3	93,71%	95,51%	99,02%	96,44%	94,02%	98,23%
4	97,75%	98,04%	99,11%	98,45%	97,51%	97,04%
5	99,89%	99,77%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
Среднее	97,86%	98,25%	98,63%	98,69%	98,18%	98,07%

Таблица 3. Сравнение результатов классификации по параметру F1-меры (F1 Score).

Класс	CART	GTB	RF	KNN	SVM	MIND
1	98,73%	98,60%	99,04%	99,11%	99,29%	99,21%
2	96,81%	97,25%	97,71%	97,75%	96,39%	96,35%
3	96,11%	96,98%	97,65%	97,65%	96,59%	97,60%
4	97,51%	98,43%	98,73%	98,87%	98,33%	97,10%
5	99,93%	99,88%	99,99%	100,00%	100,00%	99,96%
Среднее	97,82%	98,23%	98,62%	98,68%	98,12%	98,04%

Таблица 4. Сравнение результатов классификации по параметрам общей точности и Каппа коэффициента (overall accuracy и Kappa coefficient).

Классификатор	CART	GTB	RF	KNN	SVM	MIND
Общая точность	97,81%	98,23%	98,62%	98,67%	98,12%	98,03%
Каппа коэффициент	97,26%	97,79%	98,28%	98,34%	97,65%	97,54%

Наименее точные результаты были получены алгоритмом CART. Наиболее точные – методами RF и KNN. Сравнивая эти два алгоритма, мы определили, что RF лучше справляется с обнаружением (recall) 1 и 2 класса, отличающихся влажностью, а KNN напротив – 4 и 5 классов, наиболее «сухих». Слабые результаты по параметру точности (precision) алгоритма RF при определении 1 и 2 классов указывают на более частое количество ложноположительных распознаваний алгоритма, в отличие от KNN, который в среднем лучше распознает все классы по данной метрике. Таким образом, мы выяснили, что алгоритмы машинного обучения RF и KNN наиболее точно характеризуют криогенный рельеф территории исследований, а различие между собой в определенных параметрах оценки точности позволяет использовать разные модели при детальном исследовании закономерностей пространственного распространения определенных классов.

Финансирование. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-77-01029, https://rscf.ru/project/23-77-01029/.

Список литературы:

1. Jorgenson M.T., Grosse G. Remote Sensing of Landscape Change in Permafrost Regions. Permafr. Periglac. Process. 2016. V. 27. P. 324–338. https://doi.org/10.1002/ppp.1914
2. Kartoziia A. Using Google Earth Engine to Assess the Current State of Thermokarst Terrain on Arga Island (the Lena Delta). Earth. 2024. V. 5. P. 228-243. https://doi.org/10.3390/earth5020012
3. Whiteman G., Hope C., Wadhams P. Vast Costs of Arctic Change. Nature. 2013. V. 499. P. 401–403. https://doi.org/10.1038/499401a

Секция Геоэкология, гидрогеология, инженерная геология и природопользование

ИНДЕКС ПРОМЕРЗАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ В ОБЛАСТИ ОПОЛЗНЕВОГО УЧАСТКА В ДОЛИНЕ Р. ВОРКУТА

Вихоть А.Н.

Институт геологии имени академика Н. П. Юшкина Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, Россия
e-mail: vikhot.anna@mail.ru

Аннотация. Индекс промерзания – один из основных параметров потенциала замерзания грунта. Индекс проанализирован в области оползневого участка в долине р. Воркута. Рассчитанная глубина промерзания растет пропорционально увеличению индекса промерзания поверхности. Совместный анализ глубины промерзания грунтов, индекса промерзания поверхности и температурного режима воздуха может иметь важное значение для оценки динамики активного слоя в ответ на изменения климата.

Ключевые слова: глубина промерзания, индекс промерзания поверхности, оползневый участок

SURFACE FREEZING INDEX ON THE LANDSLIDE AREA IN THE VORKUTA RIVER VALLEY

Vikhot A.N.

Institute of Geology, Federal Research Centre Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Syktyvkar, Russia
e-mail: vikhot.anna@mail.ru

Abstract. The surface freezing index is one of the main parameters of the soil freezing potential. The index was analyzed in the area of the landslide in the Vorkuta river valley. The calculated freezing depth is growing in proportion to an increase of the surface freezing index. A joint analysis of the soil frost depth, surface freezing index and air temperature regime can be critical for estimating the dynamics of the active layer in response to climate changes.

Keywords: freezing depth, surface freezing index, landslide area

Примерно 50 % суши в мире подвержено циклическим процессам промерзания–оттаивания грунтов [5, 6]. Одновременно с этим изменение климатических показателей по территории происходит неравномерно. Преобладающим фактором, влияющим на тепловой баланс геологической среды, является температура воздуха. Многолетние наблюдения показали, что термический режим грунтов прямо пропорционально зависит и от мощности снежного покрова, его плотности, теплопроводности и структуры [3, 4]. В инженерной геологии имеет место параметр «индекс промерзания поверхности» – искусственная величина, которая зависит от температуры воздуха и продолжительности холодного периода. Индекс промерзания является одним из основных среди существующих показателей для оценки потенциала замерзания грунта в каких-либо климатических условиях, а также является одним из важнейших параметров для оценки распределения сезонномерзлых грунтов и многолетней мерзлоты, являясь индикатором изменения климата.

В данной работе проанализируем индекс промерзания поверхности земли в области оползневого участка на территории г. Воркута в долине р. Воркута. Город находится в северной части Республики Коми в природной зоне южной тундры. Эта территория

является частью голоценовой и голоценово–плейстоценовой криолитозоны и находится в зоне прерывистого массивно–островного распространения многолетнемерзлых пород [7]. Климат – субарктический. По данным на 2023 г., за 76 лет среднегодовая температура воздуха составляет -5,3°С. За 2010–2020 гг. отмечался незначительный рост среднегодовой температуры воздуха, она составила -3,88°С. Рост отражался в повышении средней температуры воздуха в течение холодного сезона, когда среднесуточная температура воздуха отрицательна [1].

В верхней части разреза оползневого участка и прилегающей территории залегают техногенные образования (tH), представленные щебнем, дресвой, галькой, гравием и включениями суглинка [1, 2]. Мощность 0,4–1,5 м, местами до 3,0 м. Содержание крупных фракций (d> 2 мм) около 20 %. До глубины 4,0–6,8 м находятся среднечетвертичные отложения: ледниково–морские суглинки (gmE–lrg) с прослоями песков и супесей и существенным содержанием гравия и гальки в подошве до 20–25 %. До 13–14 м в глубину залегают полускальные пермские отложения ($P_{1\text{-}2}lv_2$): переслаивание выветрелых, трещиноватых, глыбо–щебенистых песчаников, алевролитов, аргиллитов, углистых аргиллитов и углей. Возможно переслаивание со скальными породами.

В исследовании глубина промерзания грунта была рассчитана для площадки, прилегающей к бровке срыва оползня, где в верхней части разреза находятся техногенные грунты, и для склоновой части, где обнажены полускальные горные породы, по уравнению Стефана при формировании снежного покрова:

$$h_{пр} = \sqrt{\frac{2\lambda_м t_n \tau}{Q_ф + C_{ом}\frac{t_n}{2} + h_m^2}} - h_m,$$

где $\lambda_м$ – коэффициент теплопроводности мерзлой породы, Вт/м·°С, t_n – средняя температура воздуха, °С, τ – продолжительность промерзания на конец месяца холодного периода, ч, $Q_ф$ – теплота фазового перехода, Вт·ч/м^3, $C_{ом}$ – объёмная теплоёмкость мёрзлых пород, Вт·ч/м·°С, h_m – условная мощность снежного покрова, м.

На Рисунке 1 рассчитанные глубины промерзания сопоставлены с индексами промерзания поверхности при среднегодовых температурах (Табл. 1). В целом, для обоих видов грунтов глубина промерзания растет пропорционально увеличению индекса промерзания поверхности. При одинаковых индексах промерзания глубина промерзания более выветрелых полускальных пород выше, чем у техногенных грунтов. Это связано с тем, что полускальные породы обладают большей теплопроводностью, чем песчаные отложения с гравием и галькой, и более выветрелые полускальные породы задерживают больший объем воды ввиду трещиноватости, чем техногенные грунты. Минимальные значения индекса промерзания получены в самый теплый год и многоснежный холодный период 2019–2020 гг. Максимальные значения наблюдались за период, когда среднегодовая температура воздуха была минимальной, а мощность снежного покрова в холодный период 2013–2014 гг. имела среднее значение 0,45 м и максимальное 0,65 м.

Тенденции изменения глубины промерзания грунтов, индекса промерзания поверхности и температурного режима воздуха холодного периода показывают, что изменение индекса промерзания может иметь важное значение для оценки динамики активного слоя в ответ на изменения климата в последние десятилетия. В частности данное заключение относится к районам с островной и прерывистой мерзлотой на Восточно–Европейской равнине на территории России, где наблюдаются значимые коэффициенты корреляции температуры грунтов с температурой воздуха [4]. Для таких исследований необходимо проведение долгосрочного мониторинга температуры поверхности земли.

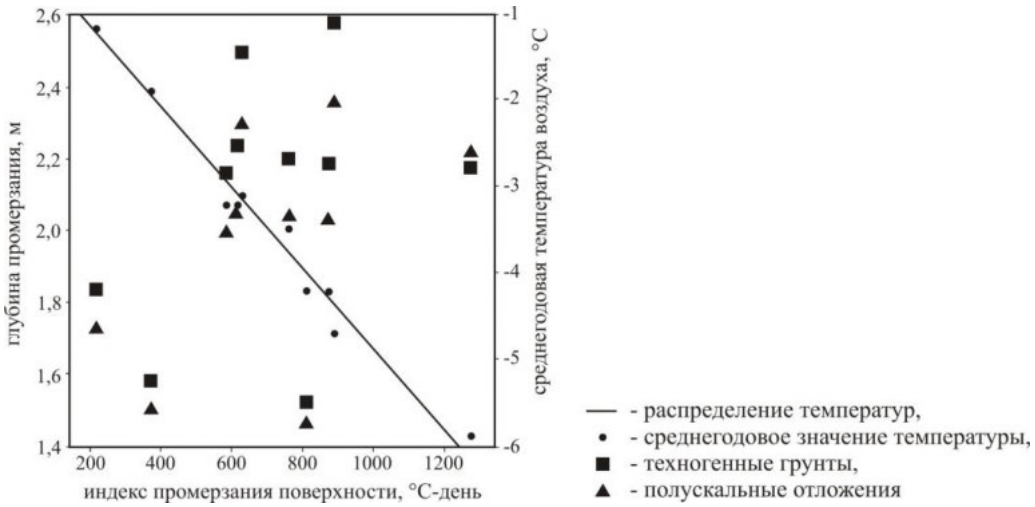

Рисунок 1. Распределение рассчитанной глубины промерзания

Таблица 1. Глубины промерзания грунтов и параметры промерзания поверхности

Период	2010 – 2011	2011 – 2012	2012 – 2013	2013–2014	2014 – 2015	2015 – 2016	2016 – 2017	2017 – 2018	2018 – 2019	2019–2020
$t_{ср}$ воздуха, °С	-3,2	-3,2	-4,7	-5,9	-3,5	-1,9	-3,1	-4,2	-4,2	-1,2
Глубина промерзания техногенных грунтов, м	2,06	1,99	2,36	2,02	2,04	1,49	2,29	2,03	1,46	1,73
Глубина промерзания полускальных грунтов, м	2,23	2,16	2,57	2,17	2,20	1,58	2,49	2,18	1,52	1,83
Индекс промерзания воздуха	684,8	649,6	987,0	1416,0	847,0	414,2	703,7	974,4	898,8	243,6
Индекс промерзания поверхности	616,3	584,6	888,3	1274,4	762,3	372,8	633,3	877,0	808,9	219,2

Финансирование: Работа выполнена в рамках темы государственного задания ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН «Глубинное строение, геодинамическая эволюция, взаимодействие геосфер, магматизм, метаморфизм и изотопная геохронология Тимано–Североуральского литосферного сегмента».

Список литературы:

1. Вихоть А.Н. Исследование оползневого процесса в условиях сезонномерзлых грунтов (оползневый склон долины р. Воркута). Вестник МГСУ. 2024. Т. 19. № 4. С. 606–617.
2. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Издание второе. Масштаб: 1:200000. Лист Q-41-V, VI (Воркута). 2005 г.
3. Заболотник С.И. О роли снежного покрова в формировании температурного режима многолетнемерзлых пород. Наука и техника в Якутии. 2019. № 2 (37). С. 3–7.
4. Шерстюков А.Б. Корреляция температуры почвогрунтов с температурой воздуха и высотой снежного покрова на территории России. Криосфера Земли. 2008. Т. XII. № 1. С. 79–87.
5. Hugh A.L.Henry. Climate change and soil freezing dynamics: historical trends and projected changes. Climatic Change. 2008. V. 87. P. 421–434.
6. Tian S., Liang T., Xianzhang L., Kong X., S. Li, D. Cai. Cyclic behaviour of coarse-grained materials exposed to freeze-thaw cycles: experimental evidence and evolution model. Cold Regions Science and Technology. 2019. V. 167. 102815.
7. Westerveld L., Kurvits T., Schoolmester T., et al. Arctic Permafrost Atlas. Arendal. GRID–Arendal. 2023. 175 p.

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВЕ НА УЧАСТКЕ С ДАВНИМ РАЗЛИВОМ НЕФТИ

Гаршин М.В.[*]

ФГБНУ УФИЦ РАН «Уфимский Институт биологии УФИЦ РАН, Лаборатория почвоведения» Уфа, Россия
*e-mail: garshin.mixail@yandex.ru

Аннотация. В работе рассматриваются результаты исследования участков почв с давними сроками разливов нефти на содержание тяжелых металлов в Республике Башкортостан. Выявлено валовое содержание тяжелых металлов и положение их концентрации по глубине.

Ключевые слова: тяжелые металлы, разлив нефти, почва

GEOECOLOGICAL ASSESSMENT OF HEAVY METAL CONTENT IN SOIL IN A LONG-STANDING OIL SPILL AREA

Gatshin M.V.

Ufa Institute of Biology of the UFIC RAS, Laboratory of Soil Science
Ufa, Russia, garshin.mixail@yandex.ru

Abstract. The paper discusses the results of a study of soil areas with long-term oil spills for the content of heavy metals in the Republic of Bashkortostan. The gross content of heavy metals and the position of their concentration in depth were revealed.

Keywords: heavy metals, oil spill, soil

Почва является одним из важнейших компонентов экосистемы для устойчивого развития человека. Загрязнение почвы может быть вызвано присутствием химических веществ, произведенных человеком, или другими изменениями в естественной почвенной среде. Кроме того, загрязнение почвы вблизи мест разведки, разработки, добычи, переработки и хранения нефти, определенно связано с антропогенной деятельностью человека.

Загрязнение почвы может происходить в результате разливов жидкостей во время бурения, при транспортировке по трубопроводам, отказов оборудования, коррозии труб и резервуаров. Буровой раствор может содержать загрязняющие вещества из тяжелых металлов, обладающие высокой токсичностью и персистентностью. Кроме того, сточные воды нефтяных и газовых месторождений также могут приводить к загрязнению почвы тяжелыми металлами [4].

Накопление высоких концентраций металлов, таких как Pb, Cd, Ni, Zn, As, Hg и Cu, вызывает озабоченность, поскольку эти металлы могут привести к снижению урожайности сельскохозяйственных культур. Накопление тяжелых металлов в сельскохозяйственных почвах также может быть важным путем загрязнения трофической цепи, и заслуживает особого внимания из-за риска биоаккумуляции [2, 3].

Исследуемый участок с давним разливом нефти находится в 300 м севернее от н.п. Павловка, Бижбулякского района, Республика Башкортостан. Почвы представлены черноземом типичным. Было заложено два почвенных разреза. Один на месте давнего

разлива, другой в 200 м севернее как фоновый. Был произведен отбор проб на валовое содержание тяжелых металлов (Рисунок 1).

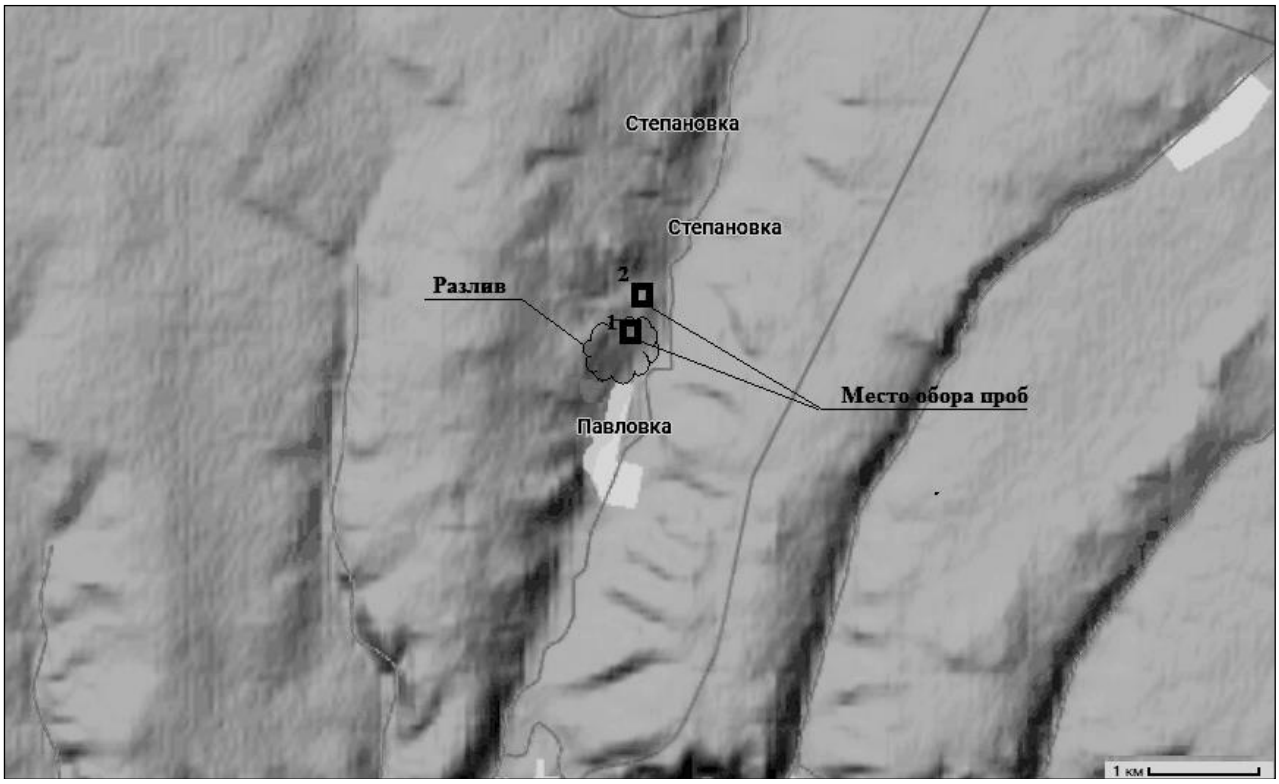

Рисунок 1. Участок исследования

Результаты анализов показали повышенное содержание тяжелых металлов в почве на участке давнего разлива относительно фонового участка, но не превышающее ПДК. Так же чем глубже отобраны пробы на месте разлива, тем они ближе по значению с фоном (Таблица 1).

Таблица 1. Валовые концентрации тяжелых металлов на участке по глубине

Валовая форма, мг/кг	**Цинк**	**Медь**	**Свинец**	**Кадмий**	**Мышьяк**	**Ртуть**	**Никель**
№ пробы, глубина отбора	Участок разлива						
1 (0-20см)	29,1	17,3	9,9	0,25	0,88	< 0,10	45,3
2 (20-40 см)	24,3	14,7	9,3	0,23	0,67	< 0,10	39,5
3 (40-60 см)	20,2	12,1	8,8	0,21	0,59	< 0,10	20,1
4(60-80 см)	17,3	11,8	7,4	0,17	0,51	< 0,10	16,7
№ пробы	Фоновый участок						
1 (0-20см)	20,3	16,6	8,9	0,15	0,64	< 0,10	26,5
2 (20-40 см)	23,5	14,3	8,2	0,13	0,55	< 0,10	24,9
3 (40-60 см)	18,8	9,6	8,4	0,17	0,55	< 0,10	18,2
4(60-80 см)	16,6	9,1	7,6	0,11	0,49	< 0,10	15,9

Предположительно, такие данные получились из-за выноса тяжелых металлов на поверхность растениями, то есть природной фиторемедиацией.

Фиторемедиация состоит из удаления металлов растениями путем поглощения и накопления в биомассе (фитоэкстракция) или даже смягчения воздействия металлов в почве путем экссудации органического материала корнями растений (фитостабилизация) [1].

Таким образом, почвы с давним разливом нефти имеют повышенное содержание тяжелых металлов по глубине, в тоже время благодаря фитоэкстракции происходит перенос тяжелых металлов на поверхность, где они концентрировались.

Список литературы:

1. Бабаева Т.М. Очистка загрязненных тяжелыми металлами почв методом фитомелиорации. Бюллетень науки и практики. 2019. № 9. С. 234-238.
2. Водяницкий Ю. Н. Загрязнение почв тяжелыми металлами и металлоидами и их экологическая опасность (аналитический обзор). Почвоведение. 2013. № 7. С. 872-881.
3. Копцик Г. Н. Современные подходы к ремедиации почв, загрязненных тяжелыми металлами (обзор литературы). Почвоведение. 2014. № 7. С. 851-868.
4. Тимофеева Е. А., Молодцова А. С. Содержание подвижных форм тяжелых металлов в черноземе типичном Республики Башкортостан, загрязненном нефтью и хлоридом натрия, в условиях полевого эксперимента. Вестник Московского университета. Серия 17. Почвоведение. 2023. Т.78. № 3. С. 93-102.

ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ ГАЗОНАСЫЩЕННЫХ МЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ

Дернова Е. О., Карпенко Ф. С.*

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН, Уланский пер., 13, стр. 2, Москва, 101000, Россия;
*e-mail: dernova.eo@gmail.com

Аннотация. Присутствие газовой компоненты является важной особенностью строения мерзлых грунтов, которая практически не изучается при инженерных изысканиях лабораторными методами. Для оценки газосодержания и динамики газовыделения из мерзлых грунтов авторами была проведена серия экспериментов, проанализированы результаты трехосных и сдвиговых испытаний образцов при различных температурах и напряженном состоянии. В результате исследований выявлено, что выделение газов начинается уже при незначительных изменениях температуры мерзлых грунтов, что необходимо учитывать при планировании хозяйственной деятельности в районах вечной мерзлоты, как один из факторов, активизирующих геокриологические процессы.

Ключевые слова: газовая компонента; геокриологические процессы; мерзлые грунты

STUDYING THE PROPERTIES OF GAS-SATURATED FROZEN SOILS IN LABORATORY

Dernova E. O., Karpenko F. S.

Sergeev Institute of Environmental Geoscience RAS (IEG RAS), Ulanskii per., 13, bld. 2, Moscow, 101000, Russia; e-mail: dernova.eo@gmail.com

Abstract. The presence of a gas component is an important feature of the structure of frozen soils, which is practically not studied during engineering surveys using laboratory methods. To assess the gas content and dynamics of gas release from frozen soils, the authors conducted a series of experiments, analyzed the results of triaxial and shear tests of samples at various temperatures and stress conditions. As a result of the research, it was revealed that the release of gases begins already with minor changes in the temperature of frozen soils, which must be taken into account when planning economic activities in permafrost areas, as one of the factors activating geocryological processes.

Keywords: gas component; geocryological processes; frozen soils

Введение. В настоящее время вопросы влияния газовых включений на свойства мерзлых грунтов становятся все более актуальными для объектов производственной и хозяйственной деятельности. В результате изменения климата, а также освоения арктических территорий происходит активизация геокриологических процессов. В этих случаях влияние на свойства грунтов оказывают не только природные условия, но и изменения температурного режима и напряженного состояния грунтовых массивов в процессе строительства и эксплуатации техногенных объектов [1].

Основной причиной проблемных вопросов, возникающих при исследованиях мерзлых грунтов, является их более сложное строение по сравнению с положениями нормативно-методических документов. Многолетнемерзлые грунты традиционно рассматриваются как относительно стабильные образования. Общепринято считать, что изменение свойств мерзлых грунтов происходит при переходе из мерзлого фазового состояния в талое [5, 6], в то же время накопленные результаты исследований свойств мерзлых грунтов говорят об обратном. В настоящее время существуют разные подходы к

изучению газовой компоненты мёрзлых пород и их поведения при природных изменениях и техногенных воздействиях [3, 5]. Не менее важным малоизученным вопросом является изменение механических свойств грунтов при газовыделении.

Методика исследований. Исследования проводились в приборах лаборатории Изучения состава и свойств грунтов ИГЭ РАН с 2022 г. с применением методики исследования свойств мерзлых дисперсных грунтов [1, 2]. Образцы мерзлых грунтов подвергают изучению методом трехосного сжатия и одноплоскостного среза в условиях изменяющихся отрицательных температур. Практическая апробация такой методики наглядно показала, что изменение температуры оказывает влияние на строение мерзлых грунтов и их прочностные и деформационные свойства.

Для определения закономерностей этого влияния была проведена серия экспериментальных исследований наиболее типичных грунтов, пользующихся наибольшим распространением в пределах геокриолитозоны – суглинков и песков, содержащих различное количество газовой компоненты. Исследования проводились на образцах грунтов берега Байдарацкой губы для грунтов ненарушенного сложения.

По данным полевых и лабораторных исследований данных грунтов было установлено широкое распространение газовых внутримерзлотных скоплений: преобладает метан (>99 %), преимущественно биохимического генезиса. Естественная влажность пылеватых песков составляет 24…26%, плотность − 1,90…1,91г/см^3, степень водо-(льдо)насыщения − 0,88…0,92. Суглинки представлены тугопластичной и полутвердой разновидностями, плотностью 1,90…2,04г/см^3, степень водо-(льдо)насыщения составляет 0,91…0,93. Не полная водо-(льдо)насыщенность, указывают на то, что грунты содержат в своем составе газовую компоненту. Температура начала замерзания – оттаивания для суглинков равна – 3° С. Пески в естественном залегании представлены пылеватыми разновидностями. Суммарная влажность песков меняется от 20 до 25 %, плотность – 1,90 г/см^3. Температура начала замерзания–оттаивания –0,9 °С.

Экспериментальные исследования грунтов проводились в различных температурных условиях и величины внешних нагрузок, моделирующих возможные изменения состояния геокриолитозоны, при различном исходном содержании в них газовой компоненты и различной влажности, соответствующих условиям естественного залегания, в диапазоне температур от –10° С до +20° С, шагом изменения температуры составлял один градус. Диапазон температур был выбран на основе данных многолетних наблюдений.

Результаты. Проведенные исследования позволили проанализировать реакцию газосодержащих мерзлых грунтов на возможные изменения геокриологических условий при изменении температуры и напряженного состояния. Результаты испытаний подтверждают, что внешние нагрузки оказывают влияние на процесс газовыделения в мерзлых грунтах при повышении температуры.

Результаты определения динамики выделения газов при объемном давлении 0,001 МПа, показали, что для песчаных грунтов газовыделение начинается при температуре −5°С, достигает своего максимума при +1°С, а дальше интенсивность выделения газовой составляющей снижается, и при температуре выше +5°С выделение газа прекращается. Для глинистых грунтов выделение газа начинается также при −5°С, пик наступает при температуре −2°С, а затем, как и в песчаных грунтах, интенсивность газовыделения сокращается до полного прекращения выделения газовой компоненты при достижении температуры +4°С.

В ходе экспериментов выявлено, что под действием сжимающих нагрузок снижается температура начала газовыделения, также меняется динамика этого процесса, при этом общий удельный объем выделяющихся газов остается неизменным. При этом интенсивность газовыделения зависит от температуры грунта и его напряженного состояния. Процесс газовыделения вызывает изменение строения грунта – изменение его плотности, пористости, степени водонасыщения.

Другим важным фактором, определяющим динамику изменения свойств мерзлых грунтов при изменении их температуры, является влажность грунта. При одинаковых условиях температуры и содержания газовой компоненты увеличение влажности грунта определяет более высокие значения показателей прочности, угла внутреннего трения и сцепления.

Все указанные изменения строения и свойств мерзлых грунтов начинаются и протекают в условиях отрицательных температур, при которых сам грунт остается в мерзлом состоянии.

Выводы. Полученные результаты свидетельствуют, что изменение строения мерзлых грунтов происходит в соответствии с динамикой выделения газов в них. Характер изменения строения как песков, так и суглинков зависит от температуры и напряженного состояния. Интенсивность процесса увеличивается с ростом температуры и увеличением сжимающего давления. Моделирование изменения свойств грунтов в лабораторных условиях, близких к реальным, позволяет провести более качественную оценку динамики состояния грунта. Неравномерный характер изменения прочностных свойств под действием температуры показывает, что газовыделение необходимо учитывать при планировании хозяйственной деятельности в районах вечной мерзлоты, как один из факторов активизации геокриологических процессов.

Финансирование. Работа подготовлена в рамках выполнения государственного задания и плана НИР ИГЭ РАН по теме № г.р. 122022400105-9.

Список литературы

1. Карпенко Ф. С., Кутергин В. Н., Котов П. И., Собин Р. В. Определение динамики выделения газа из мерзлых грунтов при изменении температуры и давления. Основания, фундаменты и механика грунтов. 2020. № 4. С. 15–20.
2. Карпенко Ф.С., Кутергин В.Н., Дернова Е.О., Осокин А.А. Методы исследования свойств мерзлых грунтов и прогноза их изменения. Геоэкология. 2022. № 2. С. 80–87.
3. Хименков А.Н., Кошурников А.В., Соболев П.А. Лабораторное моделирование фильтрации газа в многолетнемёрзлых породах. Арктика и Антарктика. 2019. № 4. С. 3-16.
4. Хименков А. Н., Кошурников А. В., Карпенко Ф. С., Кутергин В. Н., Гагарин В. Е., Соболев П. А. О фильтрации газов в многолетнемёрзлых породах в свете проблемы дегазации литосферы Земли и формирования естественных взрывных процессов в криолитозоне. Арктика и Антарктика. 2019. № 3. С. 16-38.
5. Чувилин Е.М. и др. Строение и свойства пород криолитозоны южной части Бованенковского газоконденсатного месторождения Коллектив авторов: Чувилин Е. М., Перлова Е. В., Баранов Ю. Б., Кондаков В. В., Осокин А. Б., Якушев В. С. (отв. ред. Чувилин Е. М.). Москва. ГЕОС. 2007. 137с.
6. Якушев В. С. Природный газ и газовые гидраты в криолитозоне. Москва. ВНИИГАЗ. 2009. 192 с.

СОДЕРЖАНИЕ НЕКОТОРЫХ МЕТАЛЛОВ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ПРИБРЕЖНЫХ АКВАТОРИЙ ПОЛУОСТРОВА КАМЧАТКА

Зарипова К.М.[1], Крылова В.Ю.[1], Тихонова Е.А.[2]*

[1]ИНОЗ РАН - СПб ФИЦ РАН, Санкт-Петербург, Россия
[2]ФИЦ ИнБЮМ, Севастополь, Россия
*e-mail: fikuspavel@mail.ru

Аннотация. В данной работе рассматриваются уровни содержания меди, цинка и свинца в поверхностном слое донных отложениях прибрежных акваторий п-ва Камчатка, определенных методом рентгенофлуоресцентного анализа (РФА). Для оценки качества донных отложений с точки зрения способности оказывать токсический эффект на гидробионтов, полученные значения сравнены с нормативными показателями ISQG и PEL. Содержание меди (Cu) в 94% проб оказались выше ISQG, превышение PEL зафиксировано на одной станции. Содержание цинка (Zn) во всех пробах оказалось меньше ISQG. Содержание свинца (Pb) в 35% проб превышает ISQG, но всех пробах меньше PEL.

Ключевые слова: донные отложения, тяжёлые металлы, Охотское море, Тихий океан

CONTENT OF CERTAIN METALS IN BOTTOM SEDIMENTS OF COASTAL AREAS OF THE KAMCHATKA PENINSULA

Zaripova K.M.[1], Krylova V.Yu.[1], Tikhonova E.A.[2]*

[1]Institute of Limnology of the RAS, Saint Petersburg, Russia, fikuspavel@mail.ru
[2]A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russia

Abstract. This study examines the levels of copper, zinc, and lead in the surface layer of bottom sediments in the coastal areas of the Kamchatka Peninsula, determined by X-ray fluorescence analysis (XRF). To assess the quality of the sediments in terms of their potential toxic effects on aquatic organisms, the obtained values were compared with the ISQG and PEL standards. The copper (Cu) content in 94% of the samples was found to be above the ISQG, with a PEL exceedance recorded at one station. The zinc (Zn) content in all samples was below the ISQG. The lead (Pb) content in 35% of the samples exceeded the ISQG, but was below the PEL in all samples.

Keywords: bottom sediments, trace metals, Sea of Okhotsk, Pacific Ocean

Введение. Для оценки степени антропогенной нагрузки на прибрежно-морские экосистемы по содержанию микроэлементов в различных компонентах наиболее рационально использовать донные отложения, так как они являются депонирующей средой и наиболее устойчивым компонентом прибрежных морских экосистем. Их микроэлементный состав интегрально отражает уровень антропогенной нагрузки на акваторию. Нарушение природного фона микроэлементов в морской среде может негативно отражаться на состоянии гидробионтов. В свою очередь медь, цинк и свинец относятся к числу наиболее потенциально токсичных металлов, поэтому контроль их содержания особенно важен.

Цель данной работы – оценить уровни содержания меди (Cu), цинка (Zn) и свинца (Pb) в донных отложениях некоторых прибрежных акваторий северо-западной Пацифики и восточной части Охотского моря.

Материалы и методы. Отбор проб донных отложений в прибрежных акваториях п-ва Камчатка произведен в рейсе 23/4 НИС «Профессор Мультановский» в августе-сентябре

2023 года. В работе рассмотрены 17 станций (Рисунок 1). Верхний слой донных отложений (0-5 см) отобран из бокс-корера таким образом, чтобы отбираемый осадок не контактировал с металлическими стенками пробоотборника.

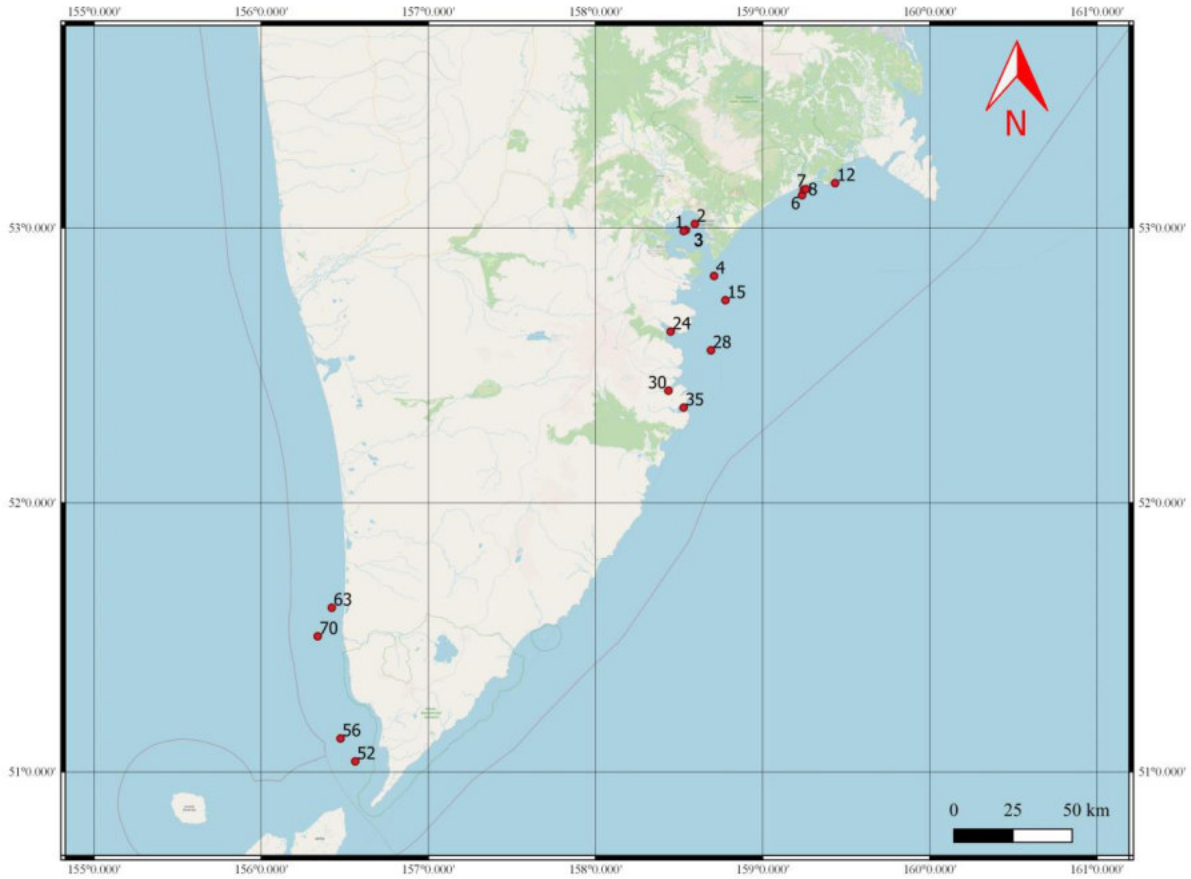

Рисунок 2. Карта точек отбора проб

Пробы были высушены до воздушно-сухого состояния и растерты в фарфоровой ступке в условиях судовой лаборатории. В грипперах транспортировали в лабораторию ИНОЗ РАН.

Далее пробы высушивали до абсолютно сухого состояния в сушильном шкафу при температуре 105 °С, после чего измельчали в агатовой ступке и просеивали через сито с диаметром 0,1 мм. До последующего определения элементного состава хранили в эксикаторе.

Содержание тяжелых металлов в поверхностном слое донных отложениях определено рентгеноспектральным методом с применением энергодисперсионного рентгенофлуоресцентного спектрометра EDX-800HS-P фирмы Shimadzu согласно методике М-02-0203-09.

Результаты и обсуждение. Средние значения, стандартные отклонения и диапазон концентраций металлов в пробах донных осадков обследованного района представлены в таблице 1.

Для оценки качества донных отложений с точки зрения способности оказывать токсический эффект на гидробионтов полученные значения содержания тяжелых металлов сравнены с нормативными показателями ISQG и PEL, разработанными Канадским советом министром по окружающей среде. Уровни, ниже которых не наблюдается негативное

биологическое воздействие на водные организмы – временные показатели качества морских донных отложений ISQGs (Interium sediment quality guidelines). Уровни, выше которых биологические эффекты наблюдаются – уровни вероятного эффекта PEL (Probable effects level) [1, 2].

Таблица 1. Содержание металлов в донных отложениях прибрежных акваторий п-ва Камчатка, мг/кг сухой массы (n = 17)

Показатели	Cu	Zn	Pb
Среднее значение	71,6	58,8	22,4
Стандартное отклонение	65,9	18,1	11,4
Минимальное значение	18,5	35,8	3,4
Максимальное значение	315,4	113,2	43,3
ISQG [1, 2]	18,7	124,0	30,2
PEL [1, 2]	108,0	271,0	112,0

Так, содержание меди (Cu) в 94% проб оказались выше ISQG (18,70 мг/кг), исключение составила станция 63 в Охотском море. Превышение PEL (108,00 мг/кг) зафиксировано на станции 1 в антропогенно-нагруженной Авачинской бухте, здесь уровень вероятного эффекта превышен почти в 3 раза. Содержание цинка (Zn) во всех отобранных пробах оказалось меньше ISQG (124,00 мг/кг). Содержание свинца (Pb) в 35% проб превышает ISQG (30,20 мг/кг), но все полученные значения оказались меньше PEL (112,00 мг/кг). Отметим, что средние значения содержания всех изучаемых элементов находились в пределах ISQG (Таблица 1).

Заключение. В целом, средние значения содержания всех исследуемых элементов остаются в пределах ISQG, что указывает на отсутствие значительного риска токсического воздействия на гидробионтов, в целом. Однако, локальные превышения, особенно по меди в Авачинской бухте, требуют внимания и, возможно, дополнительных мер по снижению антропогенной нагрузки.

Финансирование. Работа выполнена при поддержке научно-образовательной программы «Плавучий университет» (соглашение № 075-01593-23-06), в рамках темы FFZF-2024-0002 «Современные угрозы водным объектам и инновационные методы их сохранения, восстановления и рационального использования» ИНОЗ РАН – СПб ФИЦ РАН и государственного задания ФИЦ ИнБЮМ по теме «Изучение биогеохимических закономерностей радиоэкологических и хемоэкологических процессов в экосистемах водоемов Азово-Черноморского бассейна в сравнении с другими акваториями Мирового океана и отдельными водными экосистемами их водосборных бассейнов для обеспечения устойчивого развития на южных морях России» (№ гос. регистрации 124030100127-7).

Список литературы:

1. Canadian Council of Ministers of the Environment. Canadian sediment quality guidelines for the protection of aquatic life: summary tables. 2001. 5 p.
2. Canadian Council of Ministers of the Environment. Protocol for the derivation of Canadian sediment quality guidelines for the protection of aquatic life. CCME-98E. 1995. 32 p.

КОНЦЕНТРАЦИИ ПОЧВЕННОГО РАДОНА В ЗОНЕ РАЗЛОМА, ОГРАНИЧИВАЮЩЕГО ПОДЗЕМНУЮ ДОБЫЧУ УГЛЯ

Лешуков Т.В., Ларионов А.В., Легощин К.В., Баранова Е.Д.*

Кемеровский государственный университет, Кемерово, Россия
*e-mail: tvleshukov@mail.ru

Аннотация. Приведены результаты исследования концентрации радона в почвенном воздухе на разных глубинах в зоне Журинского разлома и окрестностях шахтных полей. Не обнаружено никаких пространственных различий в содержании радона в почве относительно зоны естественных нарушений и шахтных полей, разных годов отработки. Обнаружены достаточно высокие усредненные по глубинам концентрации радона, которые варьируют от 10,8 кБк/м^3 до 26,7 кБк/м^3 со средним значением 16,6±0,7 кБк/м^3. Предполагается, что область исследования находится в районе воздействия активного тектонического нарушения или шахтной выработки.

Ключевые слова: радон, проницаемые зоны, разломы, подработанные участки, шахты

CONCENTRATIONS OF SOIL RADON IN THE FAULT ZONE LIMITING UNDERGROUND COAL MINING

Leshukov T.V., Larionov A.V., Legoshchin K.V., Baranova E.D.*

Kemerovo State University, Kemerovo, Russia, tvleshukov@mail.ru

Abstract. This article presents a results of a study of soil air radon concentration at different depths in the Zhurinsky fault zone and the vicinity of mine fields. No spatial differences were found in the radon content in the soil relative to the zone of natural disturbances and mine fields, related to different years of mining. Quite high depth-averaged radon concentrations were found, which range from 10.8 kBq/m^3 to 26.7 kBq/m^3 with an average value of 16.6±0.7 kBq/m^3. It is assumed that the study area is located in an area affected by an active tectonic fault or mine workings.

Keywords: radon, permeable area, faults, mined area, mine

Введение. Радон относится к радиоактивным газам, обладающим канцерогенным эффектом. Наиболее распространенным является изотоп ^{222}Rn, который способен накапливаться из-за своего относительно большего периода полураспада [1].

Разломные зоны являются проницаемыми зонами земной коры, по которым происходит перемещение жидкой и газообразной фаз. Это свойство разломов было использовано для их картирования, определения их активности и геодинамической опасности [7, 11, 12]. Поскольку радон способен мигрировать к поверхности в этих проницаемых зонах, это создает определенные геоэкологические опасности для населения, проживающего на таких территориях.

Горнодобывающая деятельность способна изменять проницаемые свойства литосферы, например, надшахтное пространство становится более проницаемым для шахтных и почвенных газов при обрушении выработки. Такие процессы известны по добывающим регионам мира (Польша, Германия, Австралия, Китай, Россия и др.), где наблюдается рост концентрации радона, метана, водорода на подработанной территории [2, 4, 6, 9]. В настоящее время неизвестно как эта деятельность сказывается на проницаемых свойствах литосферы в окрестностях шахт. В центральных районах Кузбасса отработка

угля ведется до зоны трещиноватости или сместителей крупных нарушений, которые часто являются границами лицензионных участков.

Целью нашего исследования является выявление пространственных особенностей содержания радона в почвенном газе в зоне Журинского разлома, который является границей шахтных полей в центральной части Кузнецкого угольного бассейна. Таким образом, мы стремимся установить потенциальные риски для жилых строений, которые находятся в аналогичных условиях на территории России и других стран.

Материалы и методы. Почвенный радон измерялся на глубине 0,6 м, 1 м и 1,5 м в заранее пробуренных и затампонированных скважинах в окрестностях ранее отработанного пространства шахты и одновременно в зоне Журинского разлома (Кемеровская область, Ленинск-Кузнецкий район). Всего было пробурено 78 скважин в 26 точках наблюдения. Значения, используемые для исследования, являются средними между 3 скважин разной глубины. Содержание радона в почве измерялись с помощью оборудования Альфарад (НТМ-Защита, Москва, Россия). Все измерения соответствуют паспорту оборудования. Погрешность измерения составляет до 30 %.

Угленосные толщи относятся к ускатской и казанково-маркинской свитам пермской системы, которые отрабатывались подземным способом. Свиты перекрыты неоген-четвертичными рыхлыми отложениями разной мощности, которая возрастает к водораздельным пространствам и уменьшается к руслам рек и тальвегам балок и оврагов.

Проверка распределения данных проводилась с использованием тестов Колмогорова-Смирнова, Лилиефорса, Шапиро-Уилка ($p \leq 0,05$). Для анализа был выбран коэффициент корреляции Спирмена (R) с уровнем статистической значимости $p \leq 0,05$.

Результаты и их обсуждение. В Таблице 1 представлены результаты оценки содержания радона в почвенном воздухе и других параметров.

Таблица 1. Описательная статистика исследуемых параметров

Параметр	Среднее	Ст.ошибка	Медиана	Мин	Макс	Коэф.вар
Содержание радона в почве, Бк/м^3	16635,49	748,55	15861,25	10775,87	26672,2	22,94
Расстояние до сместителя Журинского разлома, м	259,33	41,73	193,70	2,35	650,7	82,04
Расстояние до границы шахтного «старого» поля, м	417,86	53,82	359,25	8,01	876,7	65,68
Расстояние до границы «нового» шахтного поля, м	706,15	54,72	753,49	247,74	1138,5	39,51

Никаких значимых изменений в средней концентрации радона в почвенном воздухе с расстоянием от шахтных выработок или сместителя тектонического нарушения мы не наблюдаем (R=0,21–0,28, $p>0,05$). Одновременно с этим, все показатели концентрации радона находятся на достаточно высоком уровне. Шведские критерии радоноопасности утверждают, что участки с концентрацией радона ниже 10 кБк/м^3 не нуждаются в повышенном внимании по радонозащите, но в нашем исследовании все значения выходят за пределы такого уровня [8]. Самые высокие концентрации получены на наибольших глубинах в скважинах, что согласуется с ранее полученными данными [5].

Отсутствие существенных пространственных различий и с учетом достаточно высоких концентраций радона в почве исследуемой области позволяет говорить о формировании площадной аномалии в области влияния разлома и его сопутствующей зоны дезинтеграции пород, либо влиянии шахтной выработки на проницаемые свойства грунта и/или регенерацию тектонического нарушения. В ранее проведенных исследованиях разломов отмечается, что при его современной активности и выходе зоны нарушенности под рыхлые отложения, на поверхности формируется большая по площади аномалия, чем в случае его прямого выхода [3, 10]. Таким образом, для выявления природы данных аномальных концентраций необходимы дополнительные исследования в аналогичной области за исключением присутствия естественных тектонических нарушений.

Заключение. В нашей работе продемонстрировано, что на исследуемой территории не обнаружены существенные различия в содержании почвенного радона, при этом, сами значения достаточно существенны от 10,8 кБк/м^3 до 26,7 кБк/м^3. Полученные результаты вероятнее всего свидетельствуют о том, что все выбранные точки наблюдения находятся в зоне воздействия активного разлома, либо шахтного поля. Это выражается в росте проницаемости грунта для газов, в том числе радона.

Финансирование: «Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-27-00320, https://rscf.ru/project/23-27-00320/».

Список литературы:

1. Ajrouche R, Ielsch G, Cléro E, Roudier C, Gay D, Guillevic J, Laurier D, Le Tertre A. Quantitative Health Risk Assessment of Indoor Radon: A Systematic Review. Radiation Protection Dosimetry. 2017. V. 177. P. 69–77.
2. Ball T.K., Wysocka M. Radon in coalfields in the United Kingdom and Poland. Archives of Mining Sciences. 2011. V. 56. P. 249–264.
3. Berberich G.M., Berberich M.B. Comparison of Geogases in Two Cenozoic Sedimentary Basins. Geosciences. 2022. V. 12. P. 388.
4. Klingel R., Kemski J. Influence of underground mining on the geogenic radon potential. Radon in the Living Environment. 1999. P. 773–786.
5. Lara E., Rocha Z., Palmieri H.E.L., Santos T.O., Rios F.J., Oliveira A.H. Radon concentration in soil gas and its correlations with pedologies, permeabilities and ^{226}Ra content in the soil of the Metropolitan Region of Belo Horizonte – RMBH, Brazil. Radiation Physics and Chemistry. 2015. V. 116. P. 317–320.
6. Leshukov T., Legoshchin K., Larionov A., Lesin Yu., Yakovleva S. The assessment of radon emissions as results of the soil technogenic disturbance. International Journal of Environmental Research and Public Health. 2020. V. 17. №. 24. P. 9268.
7. Miklyaev P.S., Petrova T.B., Shchitov D.V., Sidyakin P.A., Murzabekov M.A., Tsebro D.N., Marennyy A.M., Nefedov N.A., Gavriliev S.G. Radon transport in permeable geological environments. Science of The Total Environment. 2022. V. 852. P. 158382.
8. Nunes L.J.R., Curado A., Lopes S. I. The Relationship between Radon and Geology: Sources, Transport and Indoor Accumulation. Applied Sciences. 2023. V. 13. №. 13. P. 7460.
9. Palchik, V. Localization of mining-induced horizontal fractures along rock layer interfaces in overburden: Field measurements and prediction. Environmental Geology. 2005. V. 48. P. 68–80.
10. Seminsky K.Z., Bobrov A. A., Demberel S. Variations in radon activity in the crustal fault zones: Spatial characteristics. Izvestiya, Physics of the Solid Earth. 2014. V. 50. P. 795–813.
11. Seminsky K.Z., Bobrov A.A., Demberel S. Relationship between Radon and the Tectonic Activity of Faults in Central Mongolia. Doklady Earth Sciences. 2019. V. 487. №. 2. P. 890–893.
12. Utkin V.I., Yurkov A.K. Radon as a tracer of tectonic movements. Russian Geology and Geophysics. 2010. V. 51. №. 2. P. 220–227.

ВЕРТИКАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЕСТЕСТВЕННЫХ И ТЕХНОГЕННОГО (^{137}Cs) РАДИОНУКЛИДОВ В РАЗРЕЗЕ ШЕРСТОБИТОВСКОГО ТОРФЯНИКА

Ломова А.А., Мельгунов М.С., Мальцев А.Е., Мезина К.А.*

Институт геологии и минералогии им В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия
*e-mail: lomovaaa@igm.nsc.ru

Аннотация. В работе изучено распределение естественных (^{238}U, ^{234}U, ^{232}Th, ^{226}Ra, ^{210}Pb, ^{40}K) и техногенного (^{137}Cs) радионуклидов, а также рассмотрены изотопные отношения ^{234}U/^{238}U в разрезе торфа, отобранном на территории Шерстобитовского ряма. Наибольшие активности ^{40}K и ^{210}Pb наблюдаются в моховом покрове, а наибольшие активности ^{238}U, ^{234}U, ^{232}Th, ^{226}Ra и ^{137}Cs характерны для среднего и нижнего горизонтов подстилки. Изотопное отношение ^{234}U/^{238}U по всей глубине разреза остается практически неизменным и составляет 1,0-1,2. Все изученные радионуклиды имеют схожий характер распределения по разрезу.

Ключевые слова: торф, естественные радионуклиды, радиоцезий

VERTICAL DISTRIBUTION OF NATURAL AND TECHNOGENIC (^{137}Cs) RADIONUCLIDES IN THE SECTION OF THE SHERSTOBITOVO PEAT BOG

Lomova A.A., Melgunov M.S., Maltsev A.E., Mezina K.A.

V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, Novosibirsk, Russia,
lomovaaa@igm.nsc.ru

Abstract. The distribution of natural (^{238}U, ^{234}U, ^{232}Th, ^{226}Ra, ^{210}Pb, ^{40}K) and technogenic (^{137}Cs) radionuclides and the isotope ratios of ^{234}U/^{238}U in a peat section sampled in the Sherstobitovo peat bog were studied. The highest activities of ^{40}K and ^{210}Pb are observed in the moss cover, and the highest activities of ^{238}U, ^{234}U, ^{232}Th, ^{226}Ra and ^{137}Cs are observed in the middle and lower horizons of the forest floor. The isotope ratio ^{234}U/^{238}U remains almost unchanged throughout the entire depth of the section and is 1.0-1.2. All studied radionuclides have a similar distribution pattern.

Keywords: peat, natural radionuclides, radiocesium

Изучение торфяных аккумуляций представляет научный и практический интерес в связи со способностью торфа депонировать атмосферные выпадения, в том числе техногенных загрязняющих веществ [3]. В ряде исследований торф рассматривается в качестве природного планшета, позволяющего оценивать скорость и объем атмосферных выпадений и их изменение по мере роста антропогенной нагрузки в XX веке [1]. Основным источником питания верховых болот являются аэрозоли, воздушная пыль и атмосферные осадки [5]. Сфагновые растения болот поглощают и удерживают значительное количество радионуклидов, поступивших из радиоактивного осадка, что в свою очередь позволяет оценить уровни накопления и опасность для биоты, определить степень миграции радионуклидов в торфяном массиве, определить источники радионуклидного загрязнения и динамику антропогенных нагрузок. Цель данной работы заключается в установлении основных закономерностей в распределении естественных (^{238}U, ^{234}U, ^{232}Th, ^{226}Ra, ^{210}Pb, ^{40}K) и техногенного ^{137}Cs радионуклидов в разрезе Шерстобитовского верхового торфяника.

Торфяной разрез был отобран в Шерстобитовском ряме (54º58′30,1″ с.ш., 81º00′58,1″ в.д.) – в Чулымском районе Новосибирской области у с. Шерстобитово. Вместе с торфом

были отобраны образцы мха и подстилки. Общая глубина разреза составила 68 см, из которых глубина растительного покрова (мха) составила 20 см, глубина подстилки – 11 см, а глубина изученной торфяной залежи – 37 см. Торф и подстилка были отобраны послойно, толщина каждого слоя варьирует от 3,5 до 4 см. В общей сложности профиль был разделен на 16 образцов. Все полученные образцы были высушены до воздушно-сухого состояния и озолены.

Определение активностей радионуклидов ^{232}Th, ^{226}Ra, ^{210}Pb, ^{137}Cs, ^{40}K в озоленных образцах мха, подстилки и торфа осуществлялось методом высокоразрешающей полупроводниковой гамма-спектрометрии с использованием HPGe низкофоновых детекторов колодезного типа EGPC192-P21-R (EURISYS MESURES) и GWL-220-15 (ORTEC). Определение активностей ^{238}U и ^{234}U осуществлялось альфа-спектрометрическим методом на альфа-спектрометре ALPHA-ENSEMBLE-8 с кремниевыми детекторами высокого разрешения ENS-U300. Радиохимическую подготовку для определения изотопов ^{238}U, ^{234}U осуществляли согласно стандартизованной методике измерения [2].

В работе изучено распределение содержаний изотопов ^{238}U, ^{234}U, ^{232}Th, ^{226}Ra, ^{210}Pb, ^{137}Cs и ^{40}K, а также рассмотрены изотопные отношения ^{234}U/^{238}U в разрезе Шерстобитовского верхового торфяника. Результаты определения содержаний радионуклидов в исследованных образцах мха, подстилки и торфа представлены на Рисунке 1. Приведенные активности рассчитаны на массу сухого вещества.

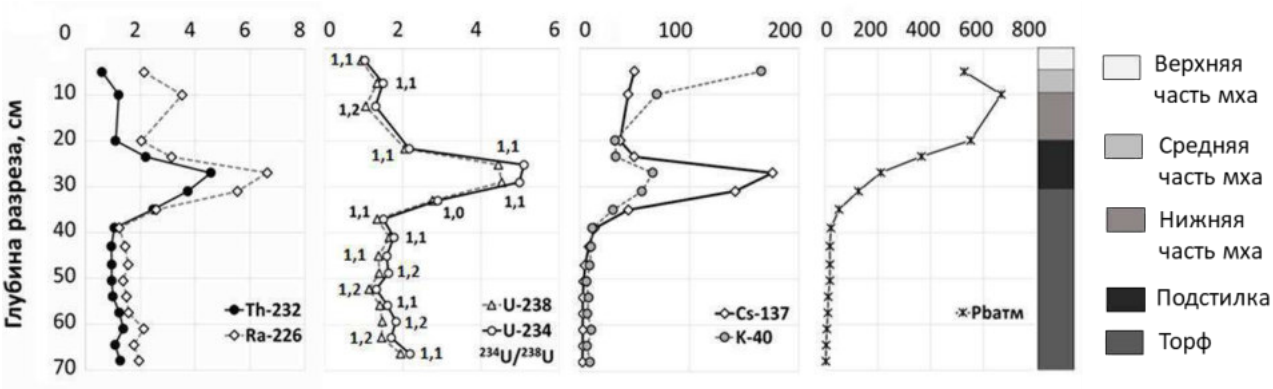

Рисунок 1. Вертикальное распределение активностей радионуклидов в торфяном разрезе, Бк/кг.

Анализ полученных данных показал следующее. Активность ^{40}K в торфяном профиле находится в пределах 6,2–165,8 Бк/кг. Активность ^{40}K снижается с глубиной. Максимальная активность радионуклида отмечается на участке разреза 0-5 см (165,8 Бк/кг), т.е. в верхней части мха. Активность ^{210}Pb в торфяном профиле составляет 3,26–665,95 Бк/кг и уменьшается с глубиной. Максимальная активность радионуклида зафиксирована на глубине 5-10 см (665,95 Бк/кг), т.е. в средней части мха. Следовательно, наибольшее накопление ^{40}K и ^{210}Pb наблюдается в моховом покрове.

Активность ^{232}Th в торфяном профиле составляет 0,61–4,57 Бк/кг и по профилю убывает с глубиной. Наиболее высокие значения активности радионуклида отмечаются на глубинах 23,5-27 см (4,57 Бк/кг) и 27-31 см (3,73 Бк/кг). Активность ^{226}Ra по торфяному профилю немного выше, чем активность ^{232}Th и находится в пределах от 1,23 до 6,63 Бк/кг. Активность ^{226}Ra также убывает с глубиной. Наиболее высокие значения активности радионуклида зафиксированы на глубинах 23,5-27 см (6,63 Бк/кг) и 27-31 см (5,54 Бк/кг).

Активность ^{137}Cs в торфяном профиле варьируется в пределах 2,5–175,8 Бк/кг и с глубиной снижается. Наиболее высокие значения активности ^{137}Cs, как и в случаях с ^{232}Th и ^{226}Ra, наблюдаются на глубинах 23,5-27 см (175,8 Бк/кг) и 27-31 см (141,8 Бк/кг). Таким образом, наибольшее накопление ^{232}Th, ^{226}Ra и ^{137}Cs характерно для среднего и нижнего горизонтов подстилки.

Активности изотопов урана ^{238}U и ^{234}U в торфяном профиле варьируют в пределах 0,94–4,53 Бк/кг и 1,02–5,09 Бк/кг, соответственно. Наиболее высокие активности изотопов урана в разрезе находятся на глубинах 23,5-27 см (4,44 Бк/кг для ^{238}U и 5,09 Бк/кг для ^{234}U) и 27-31 см (4,53 Бк/кг для ^{238}U и 4,98 Бк/кг для ^{234}U), т.е. наибольшее накопление изотопов урана приходится на средний и нижний горизонты подстилки. Изотопное отношение $^{234}U/^{238}U$ по всей глубине разреза остается практически неизменным и принимает значения в диапазоне 1,0-1,2.

Таким образом, в торфяном разрезе определена активность радионуклидов, которая снижается в ряду $^{210}Pb \rightarrow ^{137}Cs \rightarrow ^{40}K \rightarrow ^{226}Ra \rightarrow ^{234}U \rightarrow ^{232}Th \rightarrow ^{238}U$. Изученные радионуклиды имеют схожий характер распределения по разрезу, что вероятно указывает на то, что они имеют единый вертикальный миграционный путь по торфяному профилю. Большинство изученных радионуклидов (^{238}U, ^{234}U, ^{232}Th, ^{226}Ra, ^{137}Cs) накапливаются преимущественно на глубине 23,5-31 см, что указывает на то, что данный участок может представлять собой геохимический барьер. Следует также отметить, что участок разреза на глубине 25-35 см соответствует уровню максимального стояния болотных вод в весенне-летний период [4], что способствует концентрированию растворенных форм химических элементов из болотных вод в торфе.

Финансирование. Работа выполнена по государственному заданию ИГМ СО РАН № 122041400193-7 при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации. Аналитические исследования проведены в «ЦКП Многоэлементных и изотопных исследований СО РАН».

Список литературы:

1. Баденкова С.В., Добродеев О.П., Сухова Т.Г. Распределение свинца в разрезе верховых торфяников как показатель нарастающего загрязнения атмосферы. Вестник МГУ. Серия «География». 1982. № 3. С. 53–58.

2. Бахур А.Е, Мануилова Л.И., Зуев Д.М., Овсянникова Т.М., Трухина Т.П. Методика измерения удельной активности изотопов урана (^{238}U, ^{234}U, ^{235}U) в образцах почв, грунтов, донных отложений, горных пород и строительных материалов на их основе альфа-спектрометрическим методом с радиохимической подготовкой. 2013. Москва. ФГУП «ВИМС». 15 с.

3. Межибор А.М. Экогеохимия элементов-примесей в верховых торфах Томской области: дис. ... канд. геолого-минерал. наук. Томск. Томский политехнический университет. 2009. 152 с.

4. Maltsev A.E, Leonova G.A., Preis Yu.I., Miroshnichenko L.V., Zayakina S.B., Shavekin A.S. Authigenic mineralization in the early diagenesis of holocene peatlands in the baraba forest-steppe (southern West Siberia). Geosphere research. 2022. V. 3. P. 60–75.

5. Vinichuk M.M., Johanson K.J., Taylo, A. ^{137}Cs in the fungal compartments of Swedish forest soils. Science of The Total Environment. 2004. V. 323. P. 243–251.

ПРОБЛЕМЫ ГЕОКОНСЕРВАЦИИ ОБЪЕКТОВ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО НАСЛЕДИЯ В Г. ГОРЯЧИЙ КЛЮЧ, КРАСНОДАРСКИЙ КРАЙ, РФ

Лучшева Е.А., Толоконникова З.А.

Кубанский государственный университет, Краснодар, Россия
*e-mail: eka240204@gmail.com

Аннотация. На примере геоморфологических и гидролого-гидрологических объектов геологического наследия г. Горячий Ключ, рассматриваются проблемы геоконсервации. Геоморфологические объекты выделены как памятники природы регионального значения в XX веке, но до сих пор не имеют пространственно-оценочной, инвентаризационной характеристики и фактических охранных мероприятий. Предложен способ их сохранения через просвещение населения и популяризацию геологических знаний. Указывается, что подобные объекты могут служить основой для организации геотуризма, повышая тем самым рекреационный потенциал территории.

Ключевые слова: геосайты, палеоген, геотуризм, река Псекупс

PROBLEMS OF GEOCONSERVATION FOR HERITAGE OBJECTS INTO GORYACHIJ KLUCH, KRASNODAR KRAJ, RUSSIA

Luchsheva E.A., Tolokonnikova Z.A.

Kuban State University, Krasnodar, Russia, eka240204@gmail.com

Abstract. Problems of geoconservation are considered using the example of geomorphological and hydrologo-hydrogeological objects of the geological heritage in Goryachy Klyuch city. Geomorphological objects were identified as natural monuments of regional importance in the XX century, but still do not have spatial assessment, inventory characteristics and actual protective measures. A way to preserve them is proposed through public education and popularization of geological knowledge. It is indicated that such objects can serve as the basis for the organization of geotourism, thereby increasing the recreational potential of the territory.

Keywords: geosites, Paleogene, geotourism, Psekups River

Геоконсервация ориентирована на выявление и описание объектов геологического наследия (ОГН), определение необходимости и содержания охранных мероприятий, использование в геотуризме [например, 4, 5]. В России лишь некоторые субъекты (республики Башкортостан, Ульяновская область, Алтайский края и др.) являются отечественными лидерами создания геопарков, геологических музеев, научно-популярных публикаций, отставая в целом от мирового уровня. Краснодарский край обладает высоким разнообразием геологических объектов и процессов, но практическим отсутствием геоконсервационных мероприятий. Проблема усугубляется ежегодно возрастающими темпами экономического развития, трудовой миграцией населения и туристическим потоком. Цель настоящей работы – геологическое описание и анализ состояния ОГН в городе-курорте Горячий Ключ. Выбранные три объекта исследования активно вовлечены в туристическую и рекреационную деятельности. Исследование проводилось путем периодических наблюдений в разные сезоны года и библиографического анализа.

Горячий Ключ обладает продолжительной историей заселения, бальнеологическими ресурсами, достопримечательностями, развитой инфраструктурой. Город расположен на

обоих берегах р. Псекупс между хребтами Пшаф и Котх. Последние сложены осадочными породами мелового, палеогенового и неогенового возраста, осложненные разрывными нарушениями. Их накопление связано с завершающей стадией развития древнего океана Тетиса и воздыманием Кавказских гор вследствие коллизии Скифской и Закавказской платформ. Новейшие и современные тектонические движения в сочетании с гумидным климатом способствовали развитию эрозионно-денудационного рельефа.

В пределах Целебного парка города располагаются его «визитные карточки»: Дантово ущелье, скала Петушок (=Спасения), питьевая галерея Псекупского месторождения минеральных вод (лист Госгеолкарты L-37-XXXIV масштаба 1:200000). Скала (=останец, 44°37′19.2′′N 39°05′30.64′′E) и ущелье (=балка, 44°37′12.25′′N 39°05′39.1′′E) относятся к геоморфологическому типу ОГН, сложены серовато-желтоватым песчаником кварцево-глауконитового состава, среднезернистым с массивной текстурой, местами слабо ожелезненным. Песчаник мягкий, крепость пять, легко разрушается в результате физического, биологического, химического выветривания и антропогенного фактора. Осадочные отложения датируются таненским веком палеоцена (палеоген), содержат фораминиферы, радиолярии [1, 2]. Их образование соотносится с псекупской подсвитой свиты Горячего Ключа по местной стратиграфической схеме. Оба ОГН естественного происхождения, линейные по проявлению в пространстве, сохраняющиеся в удовлетворительном естественном состоянии с вероятностью перехода в разрушаемые. Относятся к категории "объект-объект" по динамическому состоянию. ОГН демонстрировались в ходе Всероссийской научно-практической конференции «Геология и биоразнообразие мезозойско-кайнозойских отложений юга России», 2015 г., экскурсии по мезозойско-кайнозойским отложениям Западного Предкавказья, 2017 г., легкодоступны круглый год. Скала Петушок и Дантово ущелье признаны региональными памятниками природы по Решению Горячеключевского горисполкома №8/264 от 15.06.1977 г. Более поздними документами определены их профили (геологический и комплексный соответственно), созданы паспорта с добавлением объектов культурного наследия на их площади в виде пещер, катакомб (Решения №326 от 14.07.1988 г., №488 от 14.09.1983 г. Краснодарского крайисполкома, Постановление Главы Администрации Краснодарского края №76 от 31.01.2013 г., приказ №903 Министерства природных ресурсов Краснодарского края от 04.07.2013 г.).

Питьевая галерея (44°37′29.59′′N 39°05′42.28′′E) в центре Целебного парка представляет собой зарегулированные выходы минеральных вод Псекупского месторождения, имеющиеся и в зданиях многочисленных санаториев города. Месторождение локализуется между Азово-Кубанским артезианским бассейном и горно-складчатым сооружением Большого Кавказа. Разрывные нарушения способствуют миграции и перемешиванию вод разных водоносных комплексов и горизонтов от раннемелового до четвертичного возраста. Термы поднимаются с глубин около 3,5 км, проходя через известняки, песчаники приповерхностных артезианских горизонтов, они меняют свои характеристики. Это обуславливает высокое разнообразие вод по химическому и газовому составам, температуре, минерализации: сероводородные и гидросульфидные, гидрокарбонатные натриевые и кальциево-натриевые, йодобромные; холодные, теплые, термы; азотные и азотно-метановые; пресные, минеральные, рассолы и пр. [2, 3]. Особенность всех вод Псекупского месторождения – повышенная щелочная реакция из-за присутствия иона гидросульфида. Естественные области разгрузки встречаются по всему парку, городу и его окрестностям. Например, сероводородные воды

в правом борту р. Псекупс у моста Надежды, ожелезненные на Минеральной поляне перед Дантовым ущельем, склонах хр. Котх. С конца прошлого века снижаются дебиты скважин и естественных областей разгрузки из-за экстенсивной эксплуатации вод для питья, оздоровления и технических нужд. Данный ОГН доступен для изучения в питьевой галерее и естественных выходах. По типу гидролого-гидрогеологический, регионального ранга, уникален разнообразием вод по всем известным характеристикам, по проявлению в пространстве площадный, по сохранности близок к разрушаемому, по динамическому состоянию «объект-процесс», легкодоступен в течении всего года.

Все рассмотренные ОГН не одно десятилетие используются в научных и учебных целях. Объекты отражают особенности осадконакопления в мезозое-кайнозое (флишевая формация, пенепленизация), интересны для прослеживания всех форм выветривания, геологической работы поверхностных и подземных вод, разнообразия форм рельефа как результата тектонических процессов. ОГН являются основными местами туристического «паломничества», что негативно сказывается на их состоянии. Информационный стенд есть у входа в Дантово ущелье, питьевой галерее Псекупского месторождения, на скале Петушок – отсутствует. Геологической информации на стендах, в паспортах не отражено. Фактически ни один рассмотренный объект не охраняется. В окрестностях г. Горячий Ключ располагаются скалы Зеркало, Поднависло, пещеры Богатырские, Фанагорийская, г. Каменная и другие ОГН разных типов, что повышает геотуристическую привлекательность.

На основании проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

а) накоплен колоссальный материал для выделения ОГН либо внесения геологической информации в официальные паспорта существующих ООПТ Краснодарского края; б) возрастающая с каждым годом антропогенная нагрузка не способствует сохранению природного и культурного наследия в г. Горячий Ключ. Необходим физический контроль и воздействие на сознание через геологические маршруты и просвещение; в) отсутствие представления научной информации в доступной форме приводит к априорному исключению большинства туристов из понимания ценности ОГН для сохранения нашей планеты и потенциально делает их движущей силой разрушения. Интерес к прошлому Земли через научно-популярные маршруты, экскурсии, информации щиты (включая интерактивные) создаст условия для развития геотуризма и дополнительного направления устойчивого развития внутреннего туризма регионального и федерального масштаба.

Список литературы:

1. Богданович К.И. Геологическое исследование Кубанского нефтеносного листа. Лист Хадыженский. СПб. Тип. М.М. Стасюлевича. 1910. Труды Геологического комитета. Нов. Сер. Вып. 57. 78 с.
2. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:200 000. Издание второе. Серия Кавказская. Лист L-37-XXXIV (Туапсе). СПб. ВСЕГЕИ. 2002. 182 с.
3. Игнатович Н.К. Псекупские минеральные источники. Москва, Ленинград. 1932. Труды Гл. геологоразведочного упр. ВСНХ СССР. Вып. 97. 187 с.
4. Лапо А.В., Вдовец М.С. Проблема сохранения геологического наследия России. Отечественная геология. 1996. № 9. С. 6–12.
5. Плюснина Е.Е., Рубан Д.А. Объекты геологического наследия категории «объект-процесс»: пространственно-временное проявление феноменов, многообразие и особенности геотуристического использования. Вестник кафедры географии ВСГАО. 2013. № 3–4 (8). С. 65–71.

ЗАПАСЫ УГЛЕРОДА В САПРОПЕЛЕВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ НОВОСИБИРСКОЙ ОБЛАСТИ

Малов Г.И., Страховенко В.Д., Овдина Е.А., Малов В.И.

Институт геологии и минералогии им В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия
*e-mail: malovgi@igm.nsc.ru

Аннотация. На территории Новосибирской области в малых озёрах повсеместно встречаются сапропелевые отложения, относящиеся общераспространённым полезным ископаемым. В работе оценены запасы углерода в разведанных месторождениях сапропеля (152 месторождения) и проведена сравнительная оценка с углеродным бюджетом торфа.

Ключевые слова: сапропель, малые озера, углерод, Новосибирская область

CARBON RESERVES IN SAPROPEL DEPOSITS OF THE NOVOSIBIRSK REGION

Malov G.I., Strakhovenko V.D., Ovdina E.A., Malov V.I.*

V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, Novosibirsk, Russia
*e-mail: malovgi@igm.nsc.ru

Abstract. On the territory of the Novosibirsk region, in small lakes, sapropel deposits related to common minerals are found everywhere. The work assessed carbon reserves in explored sapropel deposits (152 deposits) and carried out a comparative assessment with the carbon budget of peat

Key words: sapropel, small lakes, carbon, Novosibirsk region

Изменение климата является одним из значимых вызовов для человека в XXI веке. Антропогенная нагрузка на окружающую среду, связана, прежде всего, с выбросами парниковых газов. Стабилизирующим элементом климатической системы Земли, обеспечивающим сток и накопление углерода, является растительность. В основном, это лесные экосистемы планеты [6]. Но для территорий с преобладающими болотными и озёрными экосистемами, объектами способными активно захоранивать углерод так же являются торф и сапропель. Территория Новосибирской области относится к регионам с интенсивным сапропелеобразованием. По оценке СГП «Торфгеология» в 1996 году. На 01.01.1990 г. общие предполагаемые ресурсы озерного сапропеля Западно-Сибирского экономического района – 17,2 млрд т, и одну из значимых частей занимают сапропели Новосибирской области (5 млрд т).

Данная работа посвящена оценке захоронённого углерода в разведанных месторождениях сапропеля Новосибирской области. Объектами исследования являются 152 месторождения сапропеля, с общими запасами сапропеля более 75 млн. т [4, 5]. Работа основывается на актуализированных архивных данных (1950-2006 гг.), обобщённых в рамках интеграционного проекта (интеграционный проект № 52.125) в 2012-2014 годах, и данных по новым месторождениям сапропеля, открытыми авторами.

Поисковые и геологоразведочные работы на сапропель проводились согласно инструкции по разведке озёрных месторождений сапропеля и методическим указаниям по разведке озёрных месторождений сапропеля [2, 3].

Аналитические работы по изучению отобранного фактического материала выполнены в ЦКП Многоэлементных и изотопных исследований СО РАН, г. Новосибирск:

для определения макро- и микроэлементного состава проб используются атомно-абсорбционный метод, масс-спектрометрия. Морфология, минеральный, фазовый и химический состав донных отложений анализировались при помощи сканирующего электронного микроскопа и методом рентгеновской дифрактометрии. Элементный состав органической части донных отложений изучаются органическим элементным анализом Прегла-Думасана в ИПА СО РАН.

Общие запасы углерода в сапропелевых отложениях в первую очередь определяются объемом залежи и количеством органического вещества. Для расчета использовалась методика поисковых и геолого-разведочных работ на сапропель, с пересчётом запасов на углерод.

Общее содержание органического вещества в сапропелевых залежах месторождений Новосибирской области изменяется от 92 % до 14 %. Встречаются все основные типы и классы сапропелей (Рисунок 1).

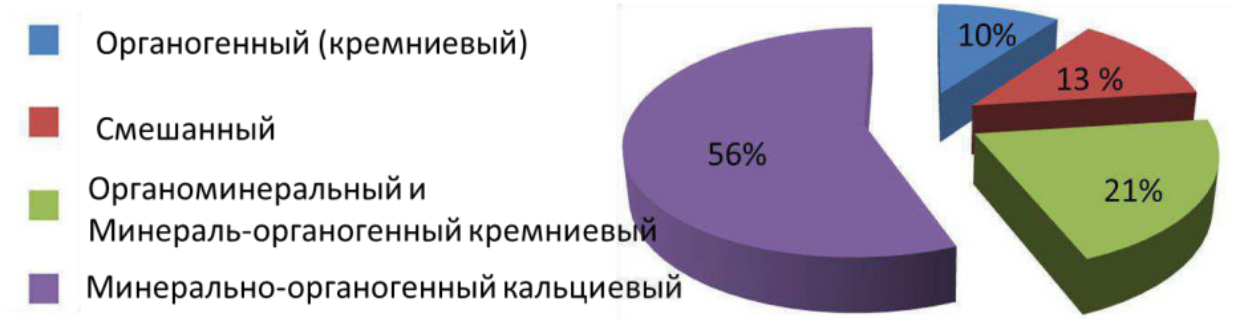

Рисунок 1. Диаграмма соотношения типов сапропелевых месторождений Новосибирской области (по 152 месторождениям).

Минеральная составляющая донных осадков, согласно рентгеноструктурному анализу, представлена довольно постоянным набором основных минералов: кварц, плагиоклаз, калиевый полевой шпат, кальцит. В виде второстепенных минералов присутствуют: пирит, слюды, гидрослюды, хлориты, доломит.

Захоронение углерода в донных отложениях в преобладающем случае идёт в виде органического вещества, в меньшем объеме углерод захоранивается в виде карбонатов. Общие запасы углерода по 152 месторождениям оценены в 3129 тыс. т.

Для стандартизации и возможности сравнения с другими объектами, депонирующими углерод, запасы углерода так же были оценены на единую площадь (1Га). При средней мощности сапропеля в 1-1,5 м средний бюджет углерода составляет 1525 т/га.

Проведём сравнение углеродного бюджета сапропелевых залежей озёр с бюджетом углерода для торфов юга Западной Сибири. Углеродный бюджет в торфах, как и в сапропеле, преимущественно определяется мощностью отложений. Однако, в отличие от сапропеля, плотность торфа имеет больший диапазон значений (41-157 г/дм^3 для олиготрофных болот) [1]. Средние запасы углерода в торфах болот Западной Сибири составляют 1070-1180 т/га [1, 7], что значительно ниже полученных данных по запасам углерода в сапропелевых залежах исследуемых озёр (1525 т/га). Связано это с меньшей плотностью торфа относительно сапропеля.

Заключение. В исследованных озёрах юга Новосибирской области активно идут процессы депонирования углерода в донные отложения, благодаря низким скоростям деструкции органики в озёрах, происходит долгосрочное захоронение углерода в виде

сапропеля. Общие запасы углерода по 152 месторождениям оценены в 3129 тыс. т. Сравнение с углеродным бюджетом в торфах Западной Сибири показало, что озёра захоранивают углерод эффективнее, за счёт большей мощности и плотности отложений. Общий бюджет углерода в торфах Западной Сибири намного выше, чем в сапропелевых отложениях из-за меньшей площади акватории озёр.

Финансирование. Работа выполнена по государственному заданию ИГМ СО РАН (№ 122041400193-7) при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Список литературы:

1. Головацкая Е. А. Скорость аккумуляции углерода олиготрофными болотами южно-таежной подзоны Западной Сибири. Динамика современных экосистем в голоцене: Материалы Третьей Всероссийской научной конференции (с международным участием. Казань: Издательство" Отечество". 2013. 364 с.
2. Верхояров Г. Н., Марков В. Д., Предтеченский А. В. Инструкция по разведке озёрных месторождений сапропеля. Москва. Трест Геолоторфразведка. 1988. 95 с.
3. Ильина Е. Д., Каблова Н. Г., Ященко А. И., Иванов Г. Н. Методические указания по разведке озёрных месторождений сапропеля. Москва. Трест Геолоторфразведка. 1976. 114 с.
4. Росляков Н. А., Страховенко В.Д., Сысо А. И. Месторождения сапропелевых залежей Новосибирской области. Развитие минерально-сырьевой базы Сибири: от Обручева В.А., Усова М.А., Урванцева Н.Н. До наших дней: Материалы Всероссийского форума с международным участием, посвященного 150-летию академика Обручева В.А., 130-летию академика Усова М.А. и 120-летию профессора Урванцева Н.Н., Томск, 24–27 сентября 2013 года. Национальный исследовательский Томский политехнический университет. Томск. Национальный исследовательский Томский политехнический университет. 2013. С. 276-279.
5. Страховенко В.Д., Росляков Н.А., Сысо А.И., Ермолаева Н.И., Зарубина Е.Ю., Таран О.П., Пузанов А.В. Геохимическая характеристика сапропелей Новосибирской области. Водные ресурсы. 2016. Т. 43. № 3. С. 336–344.
6. Швиденко А. З., Щепащенко Д. Г. Углеродный бюджет лесов России. Сибирский лесной журнал. 2014. № 1. С. 69–92
7. Sheng Y., Smith L.C., MacDonald G.M., et al. A high-resolution GIS-based inventory of the west Siberian peat carbon pool. Global Biogeochemical Cycles. 2004. Т. 18. №. 3. GB3004.

ВЕРТИКАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ^{210}Pb, ^{7}Be И ^{137}Cs В СИСТЕМЕ «МОХ – ЛЕСНАЯ ПОДСТИЛКА» ЮЖНОГО РЕГИОНА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Мезина К.А., Мельгунов М.С.*

Институт геологии и минералогии им В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия
*e-mail: mezinaka@igm.nsc.ru

Аннотация. Был изучен характер вертикального распределения ^{210}Pb, ^{7}Be и ^{137}Cs в системе «мох – лесная подстилка» на территории Алтайского края. Большая часть ^{7}Be зарегистрирована в верхней части мха, поскольку этот изотоп поступает из атмосферы в составе аэрозольных и пылевых частиц. Отмечается тенденция увеличения накопленного запаса ^{137}Cs при движении вниз по телу мха. Это свидетельствует о незначительных современных поступлениях этого радионуклида из атмосферы. Распределение ^{210}Pb по телу мха отличается от распределения ^{137}Cs и ^{7}Be.

Ключевые слова: вертикальное распределение, ^{210}Pb, ^{7}Be, ^{137}Cs

VERTICAL DISTRIBUTION OF ^{210}Pb, ^{7}Be AND ^{137}Cs IN THE «MOSS – FOREST LITTER SYSTEM» IN THE SOUTH REGION OF WESTERN SIBERIA

Mezina K.A., Melgunov M.S.

V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy Siberian Branch Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia, mezinaka@igm.nsc.ru

Abstract. The nature of the vertical distribution of ^{210}Pb, ^{7}Be and ^{137}Cs in the «moss – forest litter system» in the Altai Territory was studied. Most of the ^{7}Be was detected in the upper part of the moss, since this isotope comes from the atmosphere as part of aerosol and dust particles. There is a tendency for the accumulated reserve of ^{137}Cs to increase as it moves down the moss body. This indicates insignificant modern inputs of this radionuclide from the atmosphere. The distribution of ^{210}Pb over the body of moss differs from the distribution of ^{137}Cs and ^{7}Be.

Keywords: vertical distribution, ^{210}Pb, ^{7}Be, ^{137}Cs

Антропогенная деятельность вызвала резкое увеличение запыленности и загрязнения атмосферы вредными веществами. Естественные и искусственные радионуклиды широко применяются для исследования потоков вещества в окружающей среде, в том числе и в атмосфере. В эколого-геохимических исследованиях для характеристики процессов атмосферного переноса вещества используют радиоактивные изотопы-индикаторы такие ^{7}Be, ^{210}Pb и ^{137}Cs [1-5]. Связано это с совместным поступлением этих радионуклидов в составе атмосферных выпадений, высокими значениями их активностей в различных объектах окружающей среды и высокой достоверностью их определения современными аналитическими методами, такими как полупроводниковая гамма-спектрометрия. Мхи и лишайники являются общепринятыми биоиндикаторами загрязнения окружающей среды, используемыми как инструмент при изучении процессов атмосферного переноса вещества. Поскольку они могут предоставить основную информацию об уровнях загрязнения воздуха в настоящее время и в прошлом. Моховый покров является биогеохимическим барьером по пути вертикальной и горизонтальной миграции радионуклидов в лесных биогеоценозах [6].

Целью работы является изучение характера вертикального распределения ^{210}Pb, ^{7}Be и ^{137}Cs по разрезу мох (верхняя, серединная и нижняя части тела) – лесная подстилка на территории Алтайского края.

Определение активностей ^{7}Be, ^{210}Pb и ^{137}Cs в образцах мха и лесной подстилки проводилось методом высокоразрешающей полупроводниковой гамма-спектрометрии по специально разработанной методике [7-8]. Использованная методика позволяла учитывать влияние таких мешающих факторов, как непостоянство плотности измеряемых образцов и геометрии измерения. Нижний предел обнаружения ^{7}Be, ^{210}Pb и ^{137}Cs составлял 0,02 Бк. Длительность измерения единичного образца изменялась от 4 до 24 ч. Длительность времени измерения выбиралась таким образом, чтобы статистическая погрешность определения площадей аналитических фотопиков 46,5 кэВ и 477,6 кэВ не превышала 5%.

Полученные аналитические данные показали существенные различия в характере поведения этих радионуклидов (Рисунок 1). В верхней и серединной частях мха накопленный запас ^{210}Pb в среднем составляет 252 и 250 Бк/м^2 соответственно. В нижней части его запас несколько выше – 779 Бк/м^2. В слое подстилки накопленный запас ^{210}Pb выше, чем в теле мха и в среднем составляет 905 Бк/м^2.

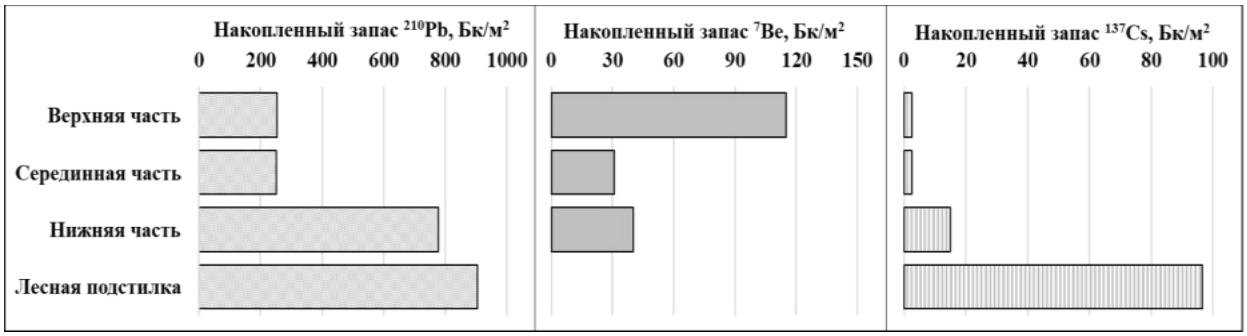

Рисунок 1. Величины средних накопленных запасов ^{7}Be, ^{210}Pb и ^{137}Cs в системе «мох-лесная подстилка» на территории Алтайского края

Для изотопа ^{7}Be наблюдается обратная картина. В верхней части мха накопленный запас ^{7}Be в среднем составляет 115 Бк/м^2, в серединной части – 31 Бк/м^2 и в нижней части мха – 40 Бк/м^2. Этого и следовало ожидать, поскольку ^{7}Be поступает из атмосферы в составе аэрозольных и пылевых частиц и концентрируется в верхней части мха.

Отмечается тенденция увеличения накопленного запаса ^{137}Cs при движении вниз по телу мха. В верхней части мха его запас составляет 2,7 Бк/м^2, в серединной части – 2,5 Бк/м^2, в нижней части – 15 Бк/м^2 и в слое лесной подстилки – 97 Бк/м^2. Такое смещение вниз по разрезу связано с тем, что современное поступление ^{137}Cs из атмосферы невелико. Повышенные же концентрации этого изотопа в подстилке связаны с прошлыми выпадениями в результате ядерных испытаний на полигоне Новая Земля с 1955 по 1963 гг.

Распределение радионуклидов по отдельным компонентам системы «мох (верхняя, серединная и нижняя части) – лесная подстилка» достаточно неравномерное. В соответствии с запасами массы этих компонентов на единицу площади: по 2% ^{137}Cs удерживается в верхней и серединной частях тела мха, затем в порядке увеличения следует нижняя часть мха (13%) и большая часть (83%) данного изотопа находится в слое лесной подстилки. Это свидетельствует о незначительных современных поступлениях этого радионуклида из атмосферы.

В подстилке находятся лишь следовые концентрации ^{7}Be (низкие концентрации близкие к пределу чувствительности используемого аналитического метода) в отличие от

^{137}Cs, который концентрируется в подстилке. В верхней части мха находится 62% от общего количества ^{7}Be, а 17% и 21% в серединной и нижней части соответственно. Можно предположить, что именно такой процент радионуклида переносится из приповерхностных слоев в глубину мха в весенне-осенний период за счет промывки талыми и дождевыми водами.

Распределение ^{210}Pb по телу мха отличается от распределения ^{137}Cs и ^{7}Be: 12% и 11% от общего количества этого изотопа содержится в верхней и серединной частях, а 36% в нижней части мха. В слое лесной подстилки находится 41% от общего количества ^{210}Pb. Несмотря на эти различия, можно говорить, что по истечению 5-6 лет в характере распределения ^{210}Pb в системе «мох – лесная подстилка» наблюдается установление равновесия, определяемого несколькими процессами: поступлением изотопа из атмосферы в составе сухих и мокрых выпадений на поверхность мха; его перераспределением вглубь по телу мха при фильтрации талых и дождевых вод; накоплением в дерновом горизонте и естественной убыли в результате радиоактивного распада.

Стоит отметить, что на характер распределения изучаемых радионуклидов в системе «мох – лесная подстилка» значительное влияние могут оказывать такие факторы, как разнообразие анатомо-морфологического строения, возрастная неоднородность организмов, неравномерность площадного поступления, метеорологические условия (количество и интенсивность атмосферных осадков, направление ветра, условия снегонакопления и др.).

Финансирование: Работа выполнена по государственному заданию ИГМ СО РАН (№ 122041400193-7). Аналитические исследования проведены в «ЦКП Многоэлементных и изотопных исследований СО РАН».

Список литературы:

1. Сапожников Ю. А., Алиев Р. А., Калмыков С. Н. Радиоактивность окружающей среды. Москва. Бином. Лаборатория знаний. 2006. 286 с.
2. Baskaran M., Coleman C. H., Santschi P. H. Atmospheric depositional fluxes of ^{7}Be and ^{210}Pb at Galveston and College Station, Texas. Journal of Geophysical Research: Atmospheres. 1993. V. 98. № D11. P. 20555-20571.
3. Krmar M., Mihailovic D. T., Arsenic I., Radnovic D., Pap I. Beryllium-7 and ^{210}Pb atmospheric deposition measured in moss and dependence on cumulative precipitation. Science of the Total Environment. 2016. V. 541. P. 941-948.
4. Melgunov M., Mezina K., Sherbov B., Vosel Y., Zhurkova I., Belyanin D. Radioactive elements in atmospheric precipitations of the Western Siberia. E3S Web of Conferences. 2019. V. 98. P. 10003.
5. Mezina K., Melgunov M., Belyanin D. ^{7}Be, $^{210}Pb_{atm}$ and ^{137}Cs in snow deposits in the Arctic part of Western Siberia (Yamal-Nenets Autonomous District). Atmosphere. 2020. V. 11. № 8. P. 825.
6. Shcheglov A., Tsvetnova O., Klyashtorin A. Biogeochemical cycles of Chernobyl-born radionuclides in the contaminated forest ecosystems. Long-term dynamics of the migration processes. Journal of Geochemical Exploration. 2014. V. 144. P. 260-266.
7. Gavshin V. M., Melgunov M. S., Sukhorukov F. V., Bobrov V. A., Kalugin I. A., Klerkx J. Disequilibrium between uranium and its progeny in the Lake Issyk-Kul system (Kyrgyzstan) under a combined effect of natural and manmade processes. Journal of Environmental Radioactivity. 2005. V. 83. P. 61-74.
8. Мельгунов М. С., Гавшин В. М., Сухоруков Ф. В., Калугин И. А., Бобров В. А. Аномалии радиоактивности на южном побережье озера Иссык-Куль (Кыргызстан). Химия в интересах устойчивого развития. 2003. Т. 11. № 6. С. 869-880.

ОСОБЕННОСТИ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В РАБОТАХ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКОГО ИЗУЧЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Минибаев М.Р.[1], Абсаликов Р.Р.[1], Давлетбаев А.Я.[1, 2], Кунафин А.Ф.[1]*

[1]ООО «РН-БашНИПИнефть», Уфа, Россия
[2]Уфимский университет науки и технологий, Уфа, Россия
*e-mail: MinibaevMR@bnipi.rosneft.ru

Аннотация. Прогнозирование области растекания закачиваемых объемов воды - важная задача в работах гидрогеологического изучения месторождений. В ходе решения задачи по оценке контуров растекания размещаемой воды были построены цифровые модели пласта и проведено сравнение результатов моделирования с аналитическим методом расчета. Выявлены и представлены преимущества метода трехмерного моделирования, заключающиеся, главным образом, в возможности учета всех геологических неоднородностей пласта и взаимовлияния скважин окружения.

Ключевые слова: размещение попутных вод, область растекания, аналитический расчет, гидродинамическое моделирование.

FEATURES OF HYDRODYNAMIC SIMULATION IN THE WORK OF HYDROGEOLOGICAL STUDY OF FIELDS

Minibaev M.R.[1], Absalikov R.R.[1], Davletbaev A.Ya.[1, 2], Kunafin A.F.[1]*

[1]"RN-BashNIPIneft" LLC, Ufa, Russia, MinibaevMR@bnipi.rosneft.ru
[2]Ufa University of Science and Technology, Ufa, Russia

Abstract. Predicting the area of spreading of injected volumes of water is an important task in the hydrogeological study of deposits. In the course of solving the problem of calculating the spreading of water placement contours, digital models of the reservoir were used and the results were compared with the analytical construction method of calculation. The advantages of the three-dimensional research method were also revealed, consisting mainly in the possibility of taking into account all geological heterogeneities of the formation and the mutual influence of surrounding wells.

Keywords: placement of associated waters, spreading area, analytical calculation, hydrodynamic modeling.

В связи с возрастающей обводненностью нефти на зрелых месторождениях Республики Башкортостан, становятся все более актуальными вопросы размещения попутных вод в пласты горных пород, для решения которых выполняются многочисленные работы по геологическому изучению участков закачки.

При составлении проектов геологического изучения с целью оценки возможности размещения попутных вод в пласты-коллекторы возникает потребность в прогнозировании области растекания закачиваемых объемов воды[1-7]. На практике для расчета радиусов растекания применяется формула поршневого вытеснения, в которую входит множитель, учитывающий вертикальную неоднородность фильтрационных свойств коллектора по разрезу[4, 6].

В качестве альтернативного метода оценки контуров растекания может быть использовано моделирование в трехмерном гидродинамическом симуляторе, основанном на уравнениях баланса массы жидкости.

Объектом исследования был выбран визей-башкирский водоносный комплекс одного из нефтяных месторождений Республики Башкортостан. В 2022 г. был составлен и согласован проект геологического изучения с целью оценки возможности размещения попутных вод в серпуховский водоносный горизонт, в котором были рассчитаны радиусы областей растекания закачиваемой воды на период 20 лет аналитическим методом.

В процессе исследования были созданы цифровые модели объекта размещения, произведен их расчет в гидродинамическом симуляторе для оценки областей растекания и получения представления о динамике воды в пласте. Область растекания закачиваемой воды определяется концентрацией индикатора в пласте, которая изменяется в пределах от 0 до 1 и отражена изменением цвета палитры.

По результатам расчета гидродинамической модели (Рисунок 1) выявлено, что размещаемая вода уже к 13-ому году после начала закачки достигает границ контуров растекания, рассчитанных аналитическим методом на 20-летний срок размещения.

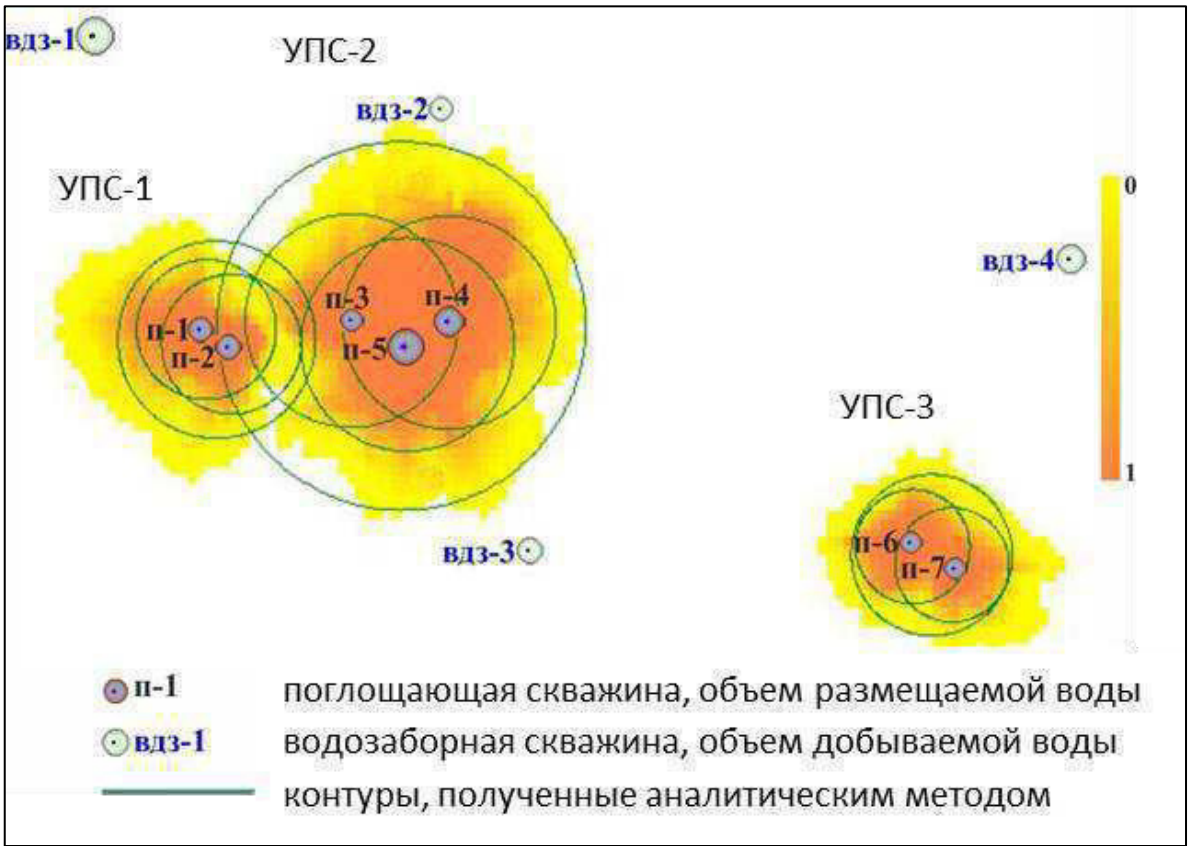

Рисунок 1. Прогнозные контуры растекания.

Отдельно была смоделирована ситуация, когда исключено влияние водозаборных скважин и соседних участков. При отсутствии отбора воды водозаборными скважинами происходит изменение площади контуров растекания. На форму и размер областей растекания оказывают влияние водозаборные скважины, по которым, начиная с 10 года закачки, прогнозируется увеличивающийся дебит ранее размещенной на участках воды.

Таким образом, возможности учета геологических неоднородностей пласта, взаимовлияния скважин и участков при цифровом моделировании позволяют получать детальное представление о динамике распространения воды в пласте.

В заключение, авторами предлагается в задачах оценки контуров растекания при изучении участков недр со сложным геологическим строением использовать

комбинированный метод, сочетающий аналитический расчет и гидродинамическое моделирование. Данный метод рекомендуется применять также при получении и переоформлении лицензий и горных отводов.

Список литературы:

1. Биндеман Н.Н. Оценка эксплуатационных запасов подземных вод. Ленинград. Госгеолтехиздат, 1963. 204 с.
2. Боревский Б.В., Дробноход Н.И., Язвин Л.С. Оценка запасов подземных вод. Киев. Выща школа. 1989. 407 с.
3. Боревский Б.В., Самсонов Б.Г., Язвин Л.С. Методика определения параметров водоносных горизонтов по данным откачек. Москва. Недра, 1978. 304 с.
4. Гольдберг В.М., Скворцов Н.П., Лукьянчикова Л.Г. Подземное захоронение промышленных сточных вод. Москва. Недра, 1994. 282 с.
5. Грабовников В.А. Гидрогеологические исследования для обоснования подземного захоронения промышленных стоков. Москва. Недра. 1993. 335 с.
6. Методические рекомендации по обоснованию выбора участков недр для целей, не связанных с добычей полезных ископаемых. Москва. ФГУ «ГКЗ». 2007. 13 с.
7. Требования к геологическим материалам по обоснованию подземного захоронения жидких отходов. 1-ая редакция. Москва. ГИДЭК. 2003. 20 с.

Th/U ОТНОШЕНИЕ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ МАЛЫХ ОЗЕР РАЗНЫХ ЗОН САПРОПЕЛЕОБРАЗОВАНИЯ (ЮГ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ)

Овдина Е.А., Страховенко В.Д., Малов Г.И., Малов В.И.*

Институт геологии и минералогии им В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия
*e-mail: ovdina@igm.nsc.ru

Аннотация. В работе рассмотрено Th/U отношение в донных отложениях 75 малых озёр юга Западной Сибири из трех зон сапропелеобразования (интенсивной, слабой, азональной). Установлено, что значимых различий в значении Th/U не прослеживается ни внутри одной зоны, ни между ними ввиду высокой степени гомогенизации почвообразующего субстрата. Для большинства озер характерна преимущественно смешанная торий-урановая природа радиоактивности. Урановая природа радиоактивности (Th/U <1) донных отложений наиболее характерна для озер подтайги и связана с сорбцией U органическим веществом. Минимальные значения Th/U зафиксированы в зоне I в подтаёжном ландшафте (0,2), максимальные тоже в зоне I – в лесостепном ландшафте (5,0).

Ключевые слова: донные отложения, малые озера, соотношение Th/U, зоны образования сапропеля

Th/U RATIO IN THE SMALL LAKES BOTTOM SEDIMENTS IN DIFFERENT SAPROPEL FORMATION ZONES (SOUTH OF WESTERN SIBERIA)

Ovdina E.A., Strakhovenko V.D., Malov G.I., Malov V.I.*

V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, Novosibirsk, Russia,
ovdina@igm.nsc.ru

Abstract. The paper considers the Th/U ratio in the sediments of 75 small lakes in the south of Western Siberia from three zones of sapropel formation (intensive, weak, azonal). It was found that there are no significant differences in the Th/U value either within one zone or between them due to the high degree of homogenization of the soil-forming substrate. The majority of lakes are characterized mainly by the mixed thorium-uranium nature of radioactivity. The uranium nature of radioactivity (Th/U <1) of bottom sediments is most characteristic of the lakes of the subtaiga and is associated with the sorption of U by organic matter. The minimum values (0.2) of Th/U are recorded in zone I in the subtaiga landscape, the maximum values (5.0) are also in zone I – in the forest-steppe landscape.

Keywords. bottom sediments; small lakes; Th/U ratio; sapropel formation zones

Малые (до 10 км^2) континентальные озера являются основными водоемами стока, а их донные отложения становятся природными архивами, хранящими историю озера и его водосборного бассейна. Малые озера также функционируют как современные природные лаборатории, на которые влияют как природные, так и антропогенные факторы, при тесном взаимодействии биотических и абиотических факторов.

Донные отложения исследуемых малых озер представляют собой органоминеральные донные отложения (сапропель и минеральный ил), которые используются в различных отраслях промышленности, таких как сельское хозяйство, косметология и др. Изучение геохимии и минералогии сапропелей имеет важное значение для дальнейшей оценки этого сырья [3]. По данным [3] и по результатам более ранних исследований авторов установлено, что зона интенсивного накопления сапропеля (зона I) прослеживается в подтаежных (Васюганская равнина) и лесостепных ландшафтах (Барабинская низменность). На

территории Кулундинской равнины (степной ландшафт и подзона ленточных боров) наиболее распространенным типом донных отложений являются солоноватый сапропель и минеральный ил (зона II). Среднегорье и высокогорье Горного Алтая коррелирует с азональными территориями слабого накопления сапропеля (зона III).

Гипотезой является предположение, что в зонах интенсивного сапропелеобразования должно прослеживаться более низкое значение Th/U отношения ввиду большей доли органического вещества в донном осадке, а в зонах слабого накопления сапропеля более высокие значения Th/U ввиду большей доли терригенного материала пелитовой размерности.

Цель работы – оценка Th/U отношения в донных отложениях малых озер юга Западной Сибири в зависимости от зоны сапропелеобразования.

Всего в данной работе представлены данные по 75 малым озерам. Отбор проб донных отложений проводился в центре озера с лодки с использованием цилиндрического пробоотборника (Ø=82 мм, L=120 см) с вакуумным затвором (НПО Тайфун, Россия). Керн донных отложений опробован интервалами по 5 см. Отбор проб почв с площадей водосбора озер осуществлялся металлическим кольцом (Ø=82 мм, L=50 мм), для каждого почвенного разреза использовалась схема непрерывного кольцевого отбора проб в верхних 30 см, далее - по генетическим горизонтам. Аналитические исследования компонентов озера проводились в ЦКП Многоэлементных и изотопных исследований СО РАН, Новосибирск, Россия. Определение естественных радионуклидов (^{232}Th, ^{238}U, ^{40}K) проводили гамма-спектрометрическим методом на колодезном коаксиальном детекторе из сверхчистого германия (HPGe) с предусилителем и низкофоновым криостатом EGPC 192-P21/SHF 00-30A-CLF-FA («Eurysis Mesures», Франция).

Минимальное значение Th/U отношения (0,2) среди всех рассмотренных озер зафиксировано в зоне I в подтаежных озерах. Для большинства рассмотренных донных отложений малых озер подтайги Th/U отношение <1, что указывает на преимущественное концентрирование урана по сравнению с торием. Наиболее вероятный механизм накопления U – сорбция на органическом веществе. Максимальное значение Th/U отношения (5,0) - также в зоне I, но в лесостепном ландшафте.

На Рисунке 1 представлены графики, отражающий положение донных отложений в зависимости от зоны сапропелеобразования в координатах Th–U, из которого можно сделать вывод о том, что преимущественно преобладают донные отложения со смешанной торий-урановой природой радиоактивности. Это связано с привносом терригенной составляющей в донные отложения, особенно в весенне-летний период таяния, когда эоловая фракция, аккумулированная в осенне-зимний период на поверхности озер, ураганно сносится в него.

Сопоставление усредненных значений в донных отложениях, почвах, лессовидных суглинках, как основному почвообразующему субстрату юга Западной Сибири [2] и органогенных осадочных породах, наиболее близким по составу к сапропелям [1] не показало значимых различий (Рисунок 1). Это свидетельствует о гомогенности состава субстрата водосборных площадей внутри одной зоны сапропелеобразования и между ними.

Для донных отложений малых озер юга Западной Сибири характерно преимущественно смешанная торий-урановая природа радиоактивности. Торий привносится в донные отложения с терригенным сносом, а также со значительным количеством эолового материала в весенне-летний период. Урановая природа радиоактивности (Th/U <1) донных отложений наиболее характерна для озер подтайги.

Четкой связи Th/U отношения в донных отложениях малых озер юга Западной Сибири с зоной сапропелеобразования не прослеживается. «Аномально» низкие и высокие значения отмечаются вне зависимости от зоны сапропелеобразования.

Гипотеза «в зонах интенсивного сапропелеобразования должно прослеживаться более низкое значение Th/U отношения ввиду большей доли органического вещества в донном осадке, а в зонах слабого накопления сапропеля более высокие значения Th/U ввиду большей доли терригенного материала пелитовой размерности» подтверждена лишь отчасти.

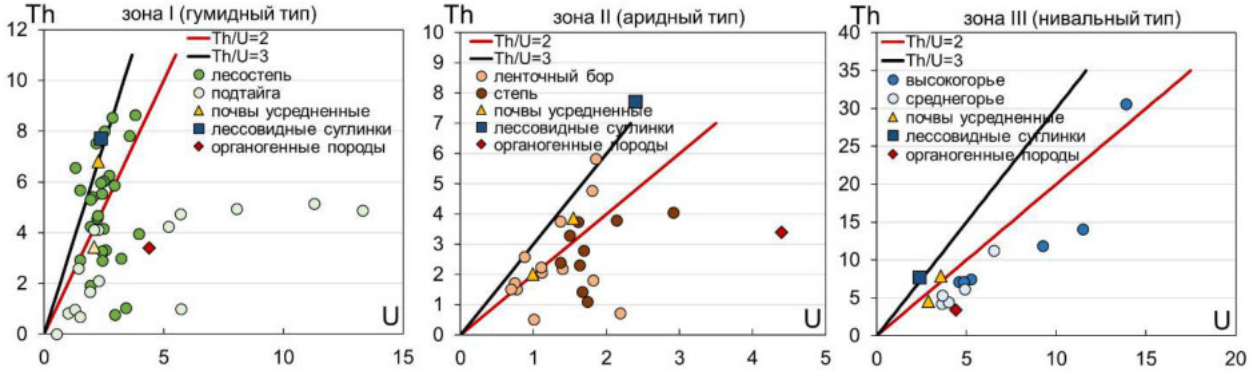

Рисунок 1. Th/U отношение в донных отложениях (сапропелях) малых озер юга Западной Сибири. Зона I – зона интенсивного сапропелеобразования, зона II – зона слабого сапропелеобразования, зона III – азональные территории слабого сапропелеобразования. Значения для усредненных почв относятся к каждой отдельной зоне. Значения для лессовидных суглинков по [2], для органогенных пород по [1]

Финансирование: Работа выполнена по государственному заданию ИГМ СО РАН (№ 122041400193-7) и при поддержке РНФ (грант № 23-27-00111), https://rscf.ru/project/23-27-00111/

Список литературы:

1. Гавшин В.М., Щербов Б.Л., Мельгунов М.С., Страховенко В.Д., Бобров В.А., Цибульчик В.М. ^{137}Cs и ^{210}Pb в озерных отложениях степного Алтая как показатели динамики антропогенных изменений геохимического фона на протяжении XX века. Геология и геофизика. 1999. Т. 40. № 9. С. 1331–1341.
2. Смыслов А.А. Уран и торий в земной коре. Ленинград. Недра. 1974. 231 с.
3. Штин С.М. Озерные сапропели и основы их комплексного освоения. Москва. Изд-во Московского государственного горного университета. 2005. 373 с.

О ПОДХОДАХ К ИЗУЧЕНИЮ ЗОНЫ ВОДОПРОВОДЯЩИХ ТРЕЩИН

Попова В.Е.[*]

ПАО «ГМК «Норильский никель», Норильск, Россия
*e-mail: popovave@nornik.ru

Аннотация. В статье рассмотрены подходы к определению высоты зоны водопроводящих трещин, возможность применения существующих эмпирических расчетов ЗВТ, основанных на опыте добычи угольных месторождений применительно к рудным месторождениям

Ключевые слова: зона водопроводящих трещин, комплекс натурных гидрогеологических наблюдений, рудные месторождения

ON THE METHODS OF INVESTIGATION OF THE ZONE OF WATER SUPPLY CRACKS

Popova V.E.[*]

PJSC «MMC «Norilsk Nickel», Norilsk, Russia
*e-mail: popovave@nornik.ru

Abstract. The article considers approaches to determining the height of the zone of water supply cracks, the possibility of applying existing empirical calculations of the SVT based on the experience of mining coal deposits in relation to ore deposits

Keywords: the zone of water supply cracks, a complex of full-scale hydrogeological observations, ore deposits

Под зоной водопроводящих трещин (далее - ЗВТ) понимается часть подработанной толщи горных пород, в которой при выемке полезного ископаемого образуются трещины расслоения и сплошные нормально-секущие трещины, которые обусловливают увеличение водопроницаемости пород.

Практический интерес к определению высоты зоны водопроводящих трещин над выработанным пространством необходим при решении целого ряда горнотехнических задач. Приоритетной задачей при отработке месторождений является определение безопасной и экономически целесообразной глубины разработки полезного ископаемого под водными объектами, поскольку распространение водопроводящих трещин до водного объекта может повлечь за собой значительное увеличение притока воды в горные выработки, а в отдельных случаях - прорыв воды и затопление рудника [2].

В настоящее время, основным методами получения данных о высоте зоны водопроводящих трещин над выработанным пространством считается обобщение опыта подработки водных объектов и затопленных выработок. Основанные на этом эмпирические зависимости, характеризуют, главным образом, связь между высотой зоны водопроводящих трещин и вынимаемой мощностью угольного пласта. Например, методика расчета ЗВТ с учетом относительного положения центров изгибающихся слоев предложенная В.Н. Гусевым:

$$\mathrm{H_т} = 2\sqrt{\frac{m}{\mathrm{K_г}c^2}}$$

где H_T – высота ЗВТ; m – вынимаемая мощность пласта; $K_Г$ – граничная кривизна; c-относительный центр распределения пород подработанной толщи [1].

Однако, анализ данных на примере рудных месторождений Талнахского рудного узла показал, что к эмпирическим методам опыта подработки следует относиться с большой осторожностью. Если гидрогеологические условия месторождения, где водоносные горизонты в коренных породах имеют анизотропные фильтрационные свойства, а значительные водопритоки могут поступать в горные выработки из вышележащих водоносных горизонтов, по путям природной тектонической трещиноватости, а не трещинам, возникшим вследствие сдвижения горных пород, расчеты могут быть завышены.

Применение методик, основанных на примерах угольных разрезов для рудных месторождений с другими геологическими условиями и технологиями отработки полезного ископаемого, приводит к завышению высоты зоны водопроводящих трещин. В свою очередь, это приводит к завышению безопасной глубины разработки под водными объектами, регламентируемой правилами охраны сооружений и природных объектов, действующих на предприятиях ПАО «ГМК «Норильский никель».

В связи с недостаточностью практического опыта изучения ЗВТ на рудных месторождениях и значительных отличий природно-технических условий угольных месторождений от условий рудных месторождений с 2023 года ПАО «ГМК «Норильский никель» выполняет комплекс исследований, направленный на изучение подземного пространства непосредственно над очистными выработками рудников, другими словами в зоне развития водопроводящих трещин.

Данный комплекс натурных гидрогеологических наблюдений за развитием ЗВТ основан на:

1) наблюдениях за изменением напора подземных вод в слоях пород над выработанным пространством с в гидрогеологических скважинах с поверхности;

2) исследованиях проводимости горных пород над отработанным пространством в различных слоях толщи до и после подработки в подземных горных выработках.

Первичные результаты данных комплекса натурных гидрогеологических наблюдений за развитием ЗВТ показывают, что фактическая высота развития ЗВТ в 2-3 раза меньше, высоты, полученной по методике эмпирических зависимостей, основанных на вынимаемой мощности полезного ископаемого [3].

Финансирование: Работа выполнена при поддержке ПАО «ГМК «Норильский никель».

Список литературы:

1. Дарбинян Т.П., Жерлыгина Е.С., Андреев А.А., Попов А.К. Оценка безопасности полной отработки залежей рудника «Октябрьский» под водоносными горизонтами на основе определения высоты зоны водопроводящих трещин. Санкт-Петербург. Горный журнал. 2024. Т. 2320. №3. С. 25-32.
2. Гусев В.Н. Прогноз безопасных условий отработки условий разработки свиты угольных пластов под водными объектами на основе геомеханики техногенных водопроводящих трещин. Санкт-Петербург. Записки Горного института. 2016. Т. 221. С. 638-643.
3. Методические указания по натурному определению высоты зоны водопроводящих трещин над выработанным пространством в конкретных горногеологических условиях. Ленинград. ВНИМИ. 1973. 33с.

ИССЛЕДОВАНИЕ НАКОПЛЕНИЯ УРАНА В ПРИСУТСТВИИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ

Софронова С.М.

Институт геологии и минералогии имени В. С. Соболева СО РАН, г. Новосибирск, Россия, sonya.sofronova.99@gmail.com

Аннотация. В ходе годового мониторинга грунтовых вод, попадающих на зону влияния хранилища металлических радиоактивных отходов, были получены данные, о концентрации урана, на основе которых в дальнейшем было проведено термодинамическое моделирование. Модель иллюстрировала поведения урана в присутствии металлов Fe и Al. Результаты мониторинга и моделирования показывают, что при контакте с металлическими радиоактивными отходами концентрация урана в грунтовых водах снижается. В работе был проведен лабораторный эксперимент для выявления закономерностей взаимодействия урана с металлическими отходами.

Ключевые слова: металлические радиоактивные отходы, железо, алюминий, уран, гетит, гиббсит

STUDY OF URANIUM ACCUMULATION IN THE PRESENCE OF METALLIC RADIOACTIVE WASTE

Sofronova S.M.

V. S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy Siberian Branch Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia, sonya.sofronova.99@gmail.com.

Abstract. During annual monitoring of groundwater entering the zone of influence of the metal radioactive waste storage facility, data on uranium concentrations were obtained, on the basis of which thermodynamic modeling was subsequently performed. The model illustrated the behavior of uranium in the presence of Fe and Al metals. The results of monitoring and modeling show that contact with metallic radioactive waste decreases uranium concentration in groundwater. In this work, a laboratory experiment was carried out to identify the patterns of interaction of uranium with metallic waste.
Keywords: metallic radioactive waste, iron, aluminum, uranium, goethite, gibbsite

Обращение с твердыми радиоактивными отходами требует соблюдения мер безопасности, направленных на предотвращение радиационного и химического загрязнения. Различные компоненты отходов могут оказывать влияние на распространение радионуклидов, в частности на распространение урана. Целью данной работы является установить закономерности поведения урана в присутствии продуктов окисления железа и алюминия.

Аналитические исследования выполнены в ЦКП Многоэлементных и изотопных исследований СО РАН, г. Новосибирск. Анализ растворов проводился атомно эмиссионным спектрометром с индуктивно-связанной плазмой ИСП-АЭС (IRIS Advantage), погрешность методов не превышает 5%. Спилы пластин исследовались на сканирующем электронном микроскопе MIRA 3 LMU (TESCAN Orsay Holding), оборудованном системой микроанализа INCA Energy 450+ Xmax-80 (Oxford Instruments Nanoanalisys Ltd). Анализ химического состава отходов проводился с использованием рентгено-флуоресцентного метода с использованием синхротронного излучения (РФА-СИ). Термодинамическое моделирование проводились в программном пакете HCh с использованием алгоритма GIBBS и банка данных термодинамической информации UNITHERM [6].

Объектом исследования в данной работе является хранилище твердых радиоактивных отходов, оно представляет из себя систему подземных траншей глубиной до 3 м, площадь, занятая хранилищем составляет ~ 10 000 м^2. Расстояние от подошвы отходов до водоносного горизонта изменяется в пределах 1-1,5 м, в периоды половодья возможно подтопление юго-западной части хранилища. Отходы, размещенные в хранилище, представляют из себя шлак, который образуется в результате термической ликвидации загрязненного ураном оборудования и состоит преимущественно из металлического алюминия, с включениями бронзы, меди, железа и т.п. Металлические отходы составляют более 60% от общей массы радиоактивных отходов в рассматриваемом объекте (Рисунок 1).

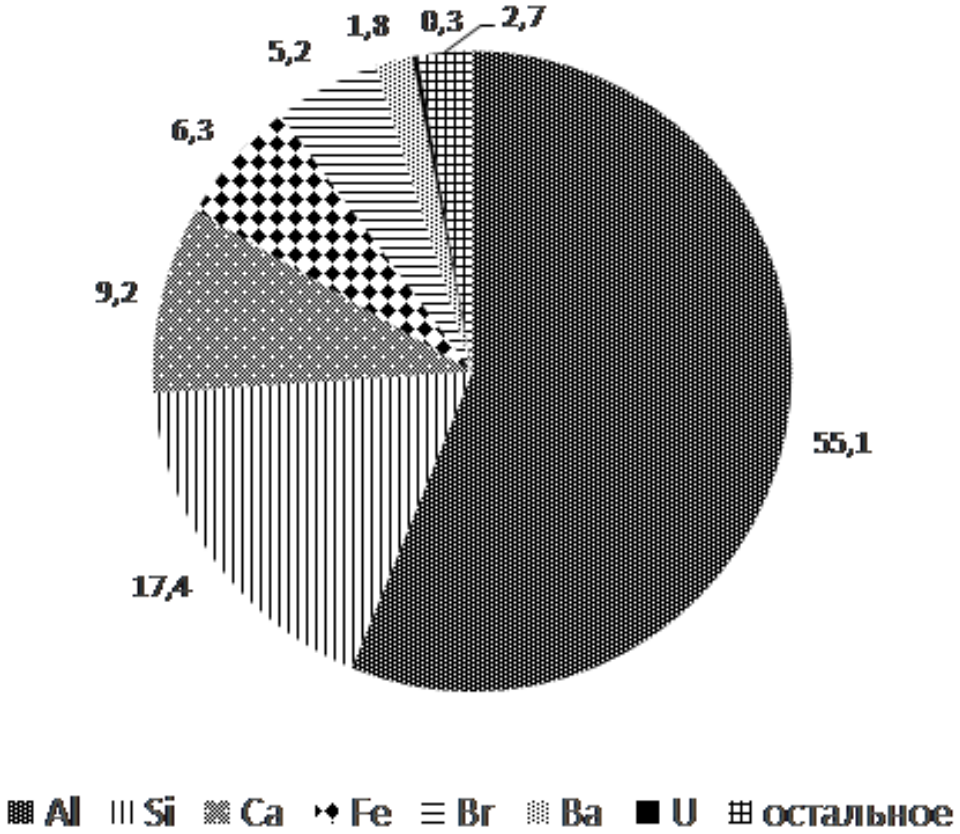

Рисунок 1. Химический состав захораниваемых отходов, %.

Сезонная динамика, полученная по результатам годового мониторинга объекта исследования, отражает изменения концентрации U на территории объекта исследования. Пробы из скважин, расположенных на территории хранилища и в зоне его влияния, характеризуются пониженными концентрациями U, даже по сравнению с фоновыми значениями. Для объяснения выявленной закономерности был поставлен эксперимент по окислению железа и алюминия в почвах в лабораторных условиях и проведены термодинамическое моделирование взаимодействия урансодержащих грунтовых вод с металлическими РАО (радиоактивными отходами) и вмещающими породами.

В принятой модели металлические РАО были приняты как $Fe_{(мет)}$ и $Al_{(мет)}$. В расчете учитывалось минимальное количество металлических РАО. т.к. точное отношение вода-порода неизвестно. Исходная концентрация урана в растворе была принята 3,8 мкг/л, на основе данных о концентрации урана в фоновых грунтовых водах. В присутствии Fe или

Al, Eh меняется с 0,12 до -0,2, и концентрация урана снижается до $6{,}8 \cdot 10^{-6}$ мкг/л урана в растворе.

Металлы Fe(0) и Al(0) широко применяются для очистки сточных и грунтовых вод, в том числе от урана [3]. Fe(II) способствует восстановлению урана до устойчивого в твердой фазе U(IV), а Fe(III), выпадая в слабощелочных грунтовых водах в виде разнообразных оксидов и гидроксидов (гематит, гетит), интенсивно сорбирует U(VI) [2,4,5]. Подобными сорбционными свойствами обладают и гидроксиды алюминия, например, гиббсит ($Al(OH)_3$) [1].

Для определения закономерностей взаимодействия урана с металлами (Fe и Al), был поставлен эксперимент по окислению этих металлов в почвах в лабораторных условиях. В эксперименте использовались три типа грунтов, отличающихся по и кислотности. В грунты вносилась добавка урана из расчета 1 и 5% от сухой массы почв. В грунты помещались пластины Fe и Al на 6 месяцев. В течении эксперимента грунты с пластинами смачивались водой. Пластины вынимались партиями через 2, 4 и 6 месяцев с начала эксперимента.

В процессе нахождения в грунте пластины Fe и Al окисляются. В результате уран накапливается на продуктах окисления металлов. Накопление урана замечено уже после второго месяца эксперимента. Более активно уран накапливается из грунтов с большим содержанием урана. Основным механизмом накопления урана является восстановление U^{6+} до U^{4+}. Термодинамическая модель подтверждает данные мониторинга концентраций U в грунтовых водах в зоне влияния объекта исследования: в присутствии металлических отходов, концентрация U в растворе снижается.

Финансирование: Работа выполнена по государственному заданию ИГМ СО РАН 122041400237-8.

Список литературы:

1. Hattori T., Saito T., Ishida K., Scheinost A. C., Tsuneda T., Nagasaki S., Tanaka S. The structure of monomeric and dimeric uranyl adsorption complexes on gibbsite: A combined DFT and EXAFS study Author links open overlay panel. Geochimica et Cosmochimica Acta. 2009. № 73. P. 5975-5988.
2. Jiang T., Zhang X., Xie C., Wu X., Luo C., Li M., Peng Y. Effective capture of aqueous uranium using a novel magnetic goethite: Properties and mechanism. Journal of Solid State Chemistry. 2021. № 300.
3. Plessl K., Russ A.,Vollprecht, D. Application and development of zero-valent iron (ZVI) for groundwater and wastewater treatment. Int. J. Environ. Sci. Technol. 2023. № 20. P. 6913–692.
4. Sherman D.M., Peacock C.L., Hubbard C.G. Surface complexation of U(VI) on goethite (α-FeOOH). Geochimica et Cosmochimica Acta. 2008. № 72. P. 298-310.
5. Wang Y., Wang J., Li P., Qin H., Liang J., Fan Q. The adsorption of U(VI) on magnetite, ferrihydrite and goethite. Environmental Technology & Innovation. 2021. № 23. P. 2352-1864
6. Шваров Ю. В. Алгоритмизация численного равновесного моделирования динамических геохимических процессов. Геохимия. 1999. № 6. С. 646–652.

ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ БАССЕЙНА ОЗЕРА КУЧУКСКОЕ

Спирин А.О.

Институт геологии и минералогии им В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия,
alexashkas_s@mail.ru

Аннотация. Статья посвящена гидрогеохимическим особенностям бассейна озера Кучукское. Исследование гидрогеохимических особенностей бассейна озера Кучукское было проведено с целью изучения процессов, происходящих в озерных системах бессточных котловин. Рассматриваются типы подземных вод, их химический состав и содержание солей. Сравнивается состав рапы в настоящее время с составом рапы в доиндустриальный период, поднимается вопрос изменения скорости соленакопления озера.

Ключевые слова: соленакопление, Кучуксульфат, мирабилит (Na_2SO_4*$10H_2O$), сульфат натрия, запасы

HYDROGEOCHEMICAL FEATURES OF THE KUCHUK LAKE BASIN

Spirin A.O.

V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, Novosibirsk, Russia,
alexashkas_s@mail.ru

Abstract. The article is devoted to the hydrogeochemical features of the Kuchuk Lake basin. The study of the hydrogeochemical features of the Kuchuk Lake basin was conducted in order to study the processes occurring in the lake systems of drainless basins. The types of groundwater, their chemical composition and salt content are considered. The composition of brine at the present time is compared with the composition of brine in the pre-industrial period, the question of changing the rate of salt accumulation of the lake is raised.

Keywords: salt accumulation, Kuchuksulfate, mirabilite (Na_2SO_4*$10H_2O$), sodium sulfate, mineral reserves

Введение. Изучение гидрогеохимических особенностей бассейна озера Кучукское имеет большое значение для понимания процессов, происходящих в озерных системах бессточных котловин, и может быть полезно для разработки и геолого-геохимического обоснования технологических схем добычи сульфата натрия и сохранения структуры водно-солевого баланса оз. Кучукского.

Целью данного исследования является изучение гидрогеохимических особенностей бассейна озера Кучукское с учетом существующей техногенной нагрузки, связанной с отработкой Кучукского месторождения минеральных солей.

Объект и методы исследования. Озеро Кучукское находится на территории Благовещенского района Алтайского края. Форма-эллиптическая, вытянутая с севера на юг; площадь акватории около 175 км^2, глубина озера 2-3,1 м, площадь зеркала озера непостоянна; длина 18,0 км, ширина 11,5 км. Данное озеро сформировано по механизму эвапоритового барьера в бессточных условиях [3].

В работе использовались данные полевых исследований, включая опробование скважин, рек, каналов и озер. Метод определения массовой концентрации хлорид-аниона описан в ГОСТ 1030 и ИСО 9297, погрешность порядка 10%. Определение карбонат- и гидрокарбонат- анионов проводилось титриметрическим методом (ГОСТ 24902-81),

погрешность порядка 10%. Катионный состав и концентрация серы измерялся методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ICP MS) высокого разрешения (ELEMENT FINNIGAN MAT) с погрешностью измерения 5-7% в зависимости от элемента и концентрации в ЦКП Многоэлементных и изотопных исследований СО РАН.

Результаты. В бассейне оз. Кучукское наблюдается весь спектр типов подземных вод от пресных (поверхностные водотоки) до крепких рассолов (рапа озера). Источником питания Кучукского озера сульфатом являются водоносные горизонты олигоцен-плиоценовых отложений, переток из которых осуществляется через опесчаненные участки - «гидрогеологические окна», воды четвертичных отложений и поверхностные воды.

В анионном составе олигоценовых вод преобладает сульфат-ион 38-48%-экв, среди катионов натрий-ион 47-53%-экв. При общем содержании солей 1,45-2,03 г/дм^3. По кислотно-щелочным свойствам воды нейтральные с pH 7,46-7,65.

Гидрогеохимический фон первых от поверхности водоносных горизонтов (воды четвертичных отложений) составляют пресные и слабосолоноватые щелочные воды гидрокарбонатного и гидрокарбонатно-хлоридного натриевого и натриево-магниевого состава, в составе которых относительно повышенные содержания ионов гидрокарбоната (12,7-19,4%-экв) и кальция (3,1-4,0 %-экв).

Поверхностные воды, вскрытые мониторинговыми скважинами, составляют пресные и слабосолоноватые щелочные воды, гидрокарбонатного и гидрокарбонатно-хлоридного натриевого и натриево-магниевого состава, в составе которых относительно повышенные содержания ионов карбоната (≈32%-экв).

Воды Кучукского озера (рапа 2022-2024) являются крепкими рассолами по составу воды хлоридные натриевые нейтральные до слабощелочных с pH= 7,3-7,7. Минерализация озера зависит от кристаллизации мирабилита и изменяется от 265 до 345 г/дм^3.

Изменение химического состава рапы в течение года (Таблица 1) связано с выпадением мирабилита при отрицательных температурах и его плавление при температурах 16,2 - 17,9 ^{0}С. Эта особенность мирабилита позволила осуществлять добычу сульфата натрия без существенной трансформации гидрологического и гидрогеохимического режима озера. Промышленная эксплуатация месторождения была начата в 1960 г. геотехнологическим способом из рапы озера.

Таблица 1. Состав вод Кучукского озера

Типы вод	Формула Курлова	
Олигоценовые воды	$M1{,}8\frac{SO_4 42 Cl 35 HCO_3 23}{\mathrm{Na}49 Ca 27 Mg 23} pH 7{,}6$	
Четвертичные воды	$\mathrm{M}1{,}7\frac{Cl 37 HCO_3 22 SO_4 21 CO_3 20}{\mathrm{Na}66\mathrm{Mg}22} pH 8{,}0$	
Поверхностные воды	$\mathrm{M}1{,}5\frac{CO_3 32 HCO_3 25 SO_4 24\ Cl 18}{\mathrm{Na}51\mathrm{Mg}31\mathrm{Ca}17} pH 8{,}2$	
Рапа 2022-2024 (зима, лето)	*Январь* $\mathrm{M}256\frac{Cl 97}{\mathrm{Na}73\ \mathrm{Mg}26} pH 7{,}5$	*Август* $\mathrm{M}335\frac{Cl 83 SO_4 17}{\mathrm{Na}77\ \mathrm{Mg}23} pH 7{,}5$
Рапа 1931 (лето)	$\mathrm{M}335\frac{Cl 82 SO_4 18}{\mathrm{Na}78\ \mathrm{Mg}22} pH 7{,}6$	

При сравнении состава рапы Кучукского озера (августовский отбор) в настоящее время и в доиндустриальный период можно заметить, что составы основных катионов и

анионов совпадают, таким образом можно сделать вывод, что отработка месторождения не привела к существенному изменению гидрохимии объекта эксплуатации, а извлекаемый из рапы сульфат натрия компенсируется вследствие растворения мирабилита стеклеца и покровных отложений.

Запасы солей в рапе Кучукского озера заметно изменяются в зависимости от обводненности года (Рисунок 1). Сильнее всего зависимость наблюдается у NaCl, тем не менее количество растворенных солей также коррелируются с объемом воды в озере.

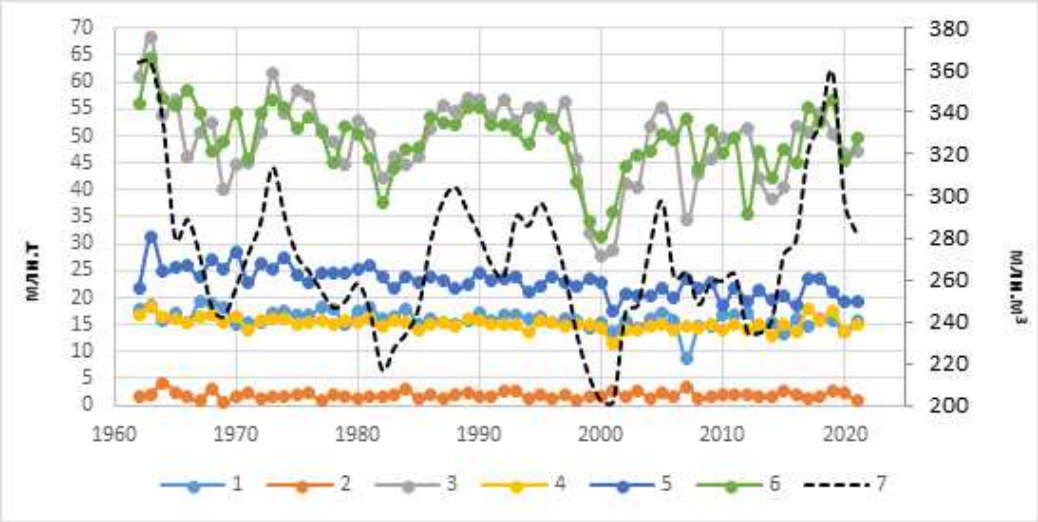

Рисунок 1. Динамика изменения запасов основных солей в рапе Кучукского озера в летний и зимний период и объем рапы Кучукского озера за 1960 – 2022.
Условные обозначения*: 1 - $MgCl_2$ (январь); 2 - Na_2SO_4 (январь); 3 - NaCl (январь); 4 - $MgCl_2$ (август); 5 - Na_2SO_4 (август); 6 - NaCl (август); 7 - Средний объем рапы.*

Формирование рельефа по существующим представлениям произошло на рубеже голоцена, таким образом возраст рассматриваемых котловин оценивается в 10-14 тыс. лет [3]. По литературным данным период обмеления с одновременным засолением Кучукского озера привели к накоплению мирабилита в период с 5,5 тыс. лет по текущее время, а основной объём солей накоплен в интервале между 4,3 и 1,6 тыс. лет [2, 3]. По нашим данным современное соленакопление Кучукского озера оценивается в 90 тыс.тон с явным преобладанием сульфатов и хлоритов натрия. Если принять, что в прошлые эпохи уровень поступления солей проходит равномерно, то накопленный запас солей в Кучукском озере сформировался за 6,7 тыс. лет., что заметно превышает приведенные ранее оценки, на основании этого можно сделать вывод, что скорость соленакопления в новейшее время уменьшилась.

Финансирование. Работа выполнена по договору с АО «Кучуксульфат» № 1132 от 7.12.2023.

Список литературы:

1. Ресурсы пресных и маломинерализованных вод южной части Западно-Сибирского артезианского бассейна. Москва. Недра. 1991. 262 с.

2. Krivonogov S.K., Zhdanova A.N., Solotchin P.A., Kazansky A.Y., Chegis V.V., Liu Z, Song M., Zhilich S.V., Rudaya N.A., Cao X., Palagushkina O.V., Nazarova L.B., Syrykh L.S. The Holocene environmental changes revealed from the sediments of the Yarkov sub-basin of Lake Chany, southwestern Siberia. Geoscience Frontiers. 2023. Vol. 14. №. 2. 101518.

3. Rudaya N., Krivonogov S., Słowinski M., Cao,X., Zhilich S. Postglacial history of the Steppe Altai: Climate, fire and plant diversity. Quaternary Science Review. 2020. Vol. 249. 106616.

СОСТАВ ВОД РОДНИКОВ РЕКРЕАЦИОННЫХ ЗОН г.МОСКВЫ

Тменова М.В., Яблонская Д.А., Липатникова О.А., Лубкова Т.Н., Филатова О.Р.*

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия
*e-mail: tmenova.milana@gmail.com

Аннотация. Для родников рекреационных зон г. Москвы определены показатели состава воды (ХПК, pH, электропроводность), содержание макрокомпонентов (Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{+}, K^{+}, HCO_3^{-}, Cl^{-}, SO_4^{2-}, NO_3^{-}) и микроэлементов (Co, Ni, Cu, Zn, Pb, Sr, Ba, Mn). Сопоставление полученных данных с предельно допустимыми концентрациями химических веществ для питьевых вод показало, что в отдельных родниках сверхнормативными являются величины жесткости, ХПК и содержание марганца. Результаты расчета форм переноса микроэлементов (Visual MINTEQ) свидетельствуют о преобладании свободных ионов (кроме Pb и Cu), присутствие других форм переноса определяется макросоставом и содержанием органического вещества в воде.

Ключевые слова: воды родников, парковые зоны Москвы, макрокомпонентный состав вод, формы переноса микроэлементов, термодинамическое моделирование

COMPOSITION OF SPRINGS WATERS OF MOSCOW RECREATIONAL AREAS

Tmenova M.V., Yablonskaya D.A., Lipatnikova O.A., Lubkova T.N., Filatova O.R.

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia
tmenova.milana@gmail.com

Abstract. There are results of determination parameters of spring water's composition of Moscow recreational areas (COD, pH, electrical conductivity), the content of main ions (Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{+}, K^{+}, HCO_3^{-}, Cl^{-}, SO_4^{2-}, NO_3^{-}) and trace elements (Co, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb, Sr, Ba, Mn). Comparison obtained values with Maximum Permissible Concentrations in drinking water showed that the hardness, COD and Mn in some springs water has exceeded MPC. Modeling of trace element species in water by the Visual MINTEQ revealed that the predominant type of transfer of most elements is free ions (besides Pb and Cu). The reason of other forms of transfer are main ions and content of organic matter in water.

Keywords: spring waters, park areas of Moscow, macrocomponent composition of waters, migration forms of trace elements, thermodynamic modeling

Родники – один из социокультурных элементов рекреационных зон мегаполисов – широко востребованы у населения в качестве источника питьевой воды, считается, что некоторые из них обладают целебными свойствами. Однако площадь питания водоносных горизонтов родников выходит далеко за пределы охраняемых рекреационных зон, что может служить причиной загрязнения вод отходами жизнедеятельности города: компонентами противогололедных реагентов, поверхностного стока и коммуникационных утечек. В связи с этим особую актуальность и практическую значимость приобретают количественные оценки состава родниковой воды в сопоставлении с предельно допустимыми концентрациями (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования, а также определение форм переноса микроэлементов в водах, так как разные соединения одного и того же элемента могут быть охарактеризованы различной токсичностью для объектов биосферы [2].

Объектами исследования являлись московские родники парковых зон правобережья Москвы-реки: природно-исторических парков «Царицыно», «Москворецкий» и

«Битцевский лес», парка «Фили», Суворовского парка, парка 50-летия Октября, природных заказников «Долина реки Сетунь», «Воробьевы горы», «Теплый стан» и Тропаревского лесопарка. Был изучен микро- и макросостав вод 32 родников.

В геологическом строении правобережья реки Москвы представлены отложения каменноугольного, юрского, мелового и четвертичного возрастов. Первые состоят из трещиноватых известняков. Выше по разрезу распространяются отложения юрского возраста, представленные оксфордскими и волжскими глинами верхней юры. На волжских отложениях залегают пески нижнего мела. Четвертичные осадки представлены в основном аллювиальными, моренными, флювиогляциальными и покровными образованиями. Территория заказника «Воробьёвы горы» отличается многочисленными проявлениями оползневых процессов, которые развиваются по оксфордским глинам и представляют собой тела на уступе коренного склона Воробьевых гор из переотложенных юрских, меловых и средне-четвертичных песчано-глинистых осадков [5].

Согласно литературным данным [3], родники на территории города Москвы представляют собой участки разгрузки четвертичных и мезозойских (меловых и частично юрских) водоносных горизонтов. В гидрогеологическом отношении московские родники относятся к зоне активного водообмена, в которой происходит формирование родникового стока [5].

Опробование родников проводилось зимой 2024 года. Содержания ионов Ca^{2+}, Mg^{2+}, NO_3^-, SO_4^{2-}, Cl^-, K^+, Na^+ были определены с помощью системы капиллярного электрофореза Капель-205, HCO_3^- - методом объемного титрования, значения pH - методом потенциометрии, величина ХПК - методом фотометрии [1], содержания микроэлементов получены методом ИСП-МС с использованием оборудования для высокочувствительного элементного анализа состава природных объектов SUPEC 7000, Focused Photonics Inc (приобретен по Программе развития МГУ). Оценка качества состава родниковой воды проводилась в сопоставлении с предельно допустимыми концентрациями (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования [4]. Моделирование миграционных форм микроэлементов проводилось в программе Visual MINTEQ 3.1.

Воды исследуемых родников слабокислые – нейтральные (pH 6,3-7,6), что не превышает нормативного диапазона для питьевой воды (6,0-9,0). По минерализации воды родников были разделены на ультрапресные (0,18 г/л), пресные (0,29 -0,48 г/л), с относительно повышенной минерализацией (0,56-0,99 г/л) и солоноватые (1,01-1,24 г/л) согласно классификации А. М. Овчинникова. Общая жесткость воды родников в диапазоне 3,6 – 16,7 мг-экв/л. Вода в 14 из исследованных родников по жесткости не соответствует ПДК (10 мг-экв/л для питьевой воды). Величина ХПК в водах родников не превышает значения ПДК (15 мгО/л) за исключением трех родников на территории природного заказника «Долина реки Сетунь».

По преобладающим катионам и анионам макросостава (>25 экв%) родниковые воды были поделены на 7 групп: хлоридно-гидрокарбонатные кальциевые (13 родников), гидрокарбонатные кальциевые (9 родников), сульфатно-гидрокарбонатные кальциевые (3 родника), гидрокарбонатные магниево-кальциевые (3 родника), хлоридные натриево-кальциевые (2 родника), гидрокарбонатно-хлоридные кальциевые (1 родник) и сульфатно-хлоридные кальциевые (1 родник). Несмотря на значительное присутствие хлорид- и сульфат-ионов в воде, их концентрации не превышают ПДК. Также в пределах ПДК остается содержание нитрат-иона.

Содержания микроэлементов в водах варьируют в широких пределах. Наименьшее различие концентраций (в 3–10 раз) характерно для содержаний (мкг/л) Ti (0,36-2,53), Pb (0,04-0,29), Cu (0,59-1,52), Zn (2,26-9,90), Rb (0,29-2,79), Sr (134-614), Cd (0,01-0,08), Cr (1,48-5,84), Ni (2,52-15,5). Различия в 10–30 раз установлены для Fe (50-616), Co (0,09-2,44), As (0,17- 3,84), Mo (0,03-0,76), Ba (5,05- 104), V (0,36- 4,05); более, чем в 30 раз – для Mn (0,13-486), Al (3,17-124,7) и U (0,02-13,7). Результаты определения содержания микроэлементов в водах исследованных родников показали их соответствие ПДК за исключением концентрации марганца в пробах воды, отобранных в природно-историческом парке «Царицыно» и парка 50-летия Октября, которая в 1,6, 1,4 и 4,8 раз выше нормативного значения соответственно.

Основной формой переноса стронция и бария является свободная форма (>90 %), остальная доля приходится на сульфатные формы. Марганец, кобальт, цинк и никель также в основном мигрируют в свободной форме, однако с увеличением содержания ионов HCO_3^- и SO_4^{2-} в воде возрастает роль соответствующих форм переноса. Так, для никеля в родниках с преимущественно гидрокарбонатным составом воды соответствующие миграционные формы составляют около 25%, в остальных – менее 20%.

Концентрация свободных ионов свинца в водах всех родников довольно низкая, до 20%, основными формами переноса свинца являются органические (до 20%) и карбонатные комплексы (до 80%). От 9 до 25 % меди присутствует в свободной форме, оставшаяся доля приходится на карбонатные (от 63 до 88%) и органические комплексы (от 1 до 9 %).

Финансирование: Работа выполнена в рамках госбюджетной темы «Развитие комплексных методов физической, прогнозно-поисковой и экологической геохимии» (контракт № 5-3-2021, номер ЦИТИС: 121061600048-7).

Список литературы:

1. ГОСТ 31859-2012. Вода. Метод определения химического потребления кислорода: межгосударственный стандарт. Москва. Стандартинформ. 2014.11 с.
2. Крайнов С.Р., Швец В.М. Геохимия подземных вод хозяйственно-питьевого назначения. Москва. Недра. 1987. 237 с.
3. Позднякова И.А., Кожевникова И.А., Костикова И.А., Томс Л.С. Оценка условий взаимосвязи водоносных горизонтов на основе крупномасштабного картирования геологического строения и гидрогеологических условий г. Москвы. Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2012. № 6. С.527–539.
4. Санитарные правила и нормы СанПин 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» https://www.rospotrebnadzor.ru/files/news/GN_sreda%20_obitaniya_compressed.pdf. Дата обращения: 29.04.2024
5. Швец В.М., Лисенков А.Б., Попов Е.В. Родники Москвы. Москва. Научный мир. 2002. 159 с.

ВОПРОСЫ РАЦИОНАЛЬНОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВЫХ РЕСУРСОВ НА БАЙКАЛЬСКОЙ ПРИРОДНОЙ ТЕРРИТОРИИ

Хомоксонова Н.П., Шаралдаева В.Д.*

Восточно-Сибирский государственный университет управления и технологий, Улан-Удэ, Россия
*e-mail: kubelius350@gmail.com

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы рационального использования минерально-сырьевых ресурсов в условиях современного устойчивого развития, возможные пути утилизации отходов горнодобывающей отрасли. А также особенности добычи полезных ископаемых на Байкальской природной территории.

Ключевые слова: природопользование, Байкальская природная территория, минерально-сырьевые ресурсы.

ISSUES OF RATIONAL ENVIRONMENTAL MANAGEMENT DURING THE EXPLOITATION OF MINERAL RESOURCES IN THE BAIKAL NATURAL TERRITORY

*Homoksonova N.P. *, Sharaldaeva V.D.*

East Siberian State University of Management and Technology,
Ulan-Ude, Russia, kubelius350@gmail.com

Abstract. The article discusses the issues of rational use of mineral resources in the conditions of modern sustainable development, possible ways of recycling waste from the mining industry. And also the features of mining in the Baikal natural territory.

Keywords: environmental management, Baikal natural territory, mineral resources.

Природные ресурсы, являются частью совокупности природных условий, использующиеся в процессе общественного развития, для удовлетворения потребностей современного общества. Вся история человечества представляет собой непрерывный процесс превращения вещества природы в предметы потребления и средства производственного и непроизводственного характера. Этот процесс именуется – природопользованием [2]. Современное развитие производства характеризуется тем, что ресурсные блага конечны и ограничены, и даже те ресурсы, что сейчас считают неограниченными, с развитием технологий могут истощиться. И самым важным в настоящее время является бережное, рациональное использование природных ресурсов.

В настоящее время устойчивое социально-экономическое развитие территории немыслимо без учета экологических факторов, предполагающего всестороннюю оценку любого действия человека на среду его жизнедеятельности и биосферу в целом.

Целью работы является – анализ литературных источников и фондовых материалов для изучения вопроса рационального природопользования при эксплуатации минерально-сырьевых ресурсов на Байкальской природной территории. Объектом исследования является Байкальская природная территория в границах Республики Бурятия.

На территории Бурятии за 50 лет активной деятельности геологами разведано более 700 месторождений различных полезных ископаемых, из них более 600 учтены

государственным балансом России и территориальным балансом Республики Бурятия. В перечне стратегических видов минерального сырья находятся:

324 - золота;

13 - урана;

7 - вольфрама;

4 - цинка;

3 - молибдена и свинца;

1- олова и алюминия.

Республика Бурятия располагает крупной предварительно оцененной сырьевой базой урана. Балансовые запасы 12 месторождений плавикового шпата способны обеспечить нужды всех металлургических предприятий Сибири и Дальнего Востока в кусковом флюорите. Балансовых запасов 10 месторождений бурого и 4 месторождений каменного угля хватит на сотни лет для обеспечения потребностей топливно-энергетического комплекса Бурятии. На территории республики выявлены также 2 месторождения асбеста, 17 - нефритовых, 8 – облицовочных камней, 40 – строительных камней, по 1 - апатита, барита, графита, кварцита, кварцевых песчаников, перлита, фосфорита и цеолитов. Степень геологической изученности недр республики позволяет прогнозировать обнаружение здесь новых перспективных месторождений различных полезных ископаемых, в том числе и новых генетических типов [5].

Одной из самых важных проблем для минерально-сырьевой отрасли на Байкальской природной территории является, то что в соответствии с федеральным законом № 94-ФЗ «Об охране озера Байкал» [5], добыча полезных ископаемых входит в «Перечень видов деятельности, запрещенных в центральной экологической зоне Байкальской природной территории» (утв. Постановлением Правительства РФ от 31.12.2020 № 2399):

- Разведка и разработка новых месторождений полезных ископаемых, ранее не затронутых эксплуатационными работами, за исключением разведки и разработки новых месторождений полезных ископаемых для целей питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения, добычи минеральных и термальных вод.

- Добыча сырой нефти и природного газа, радиоактивных и металлических руд.

- Добыча полезных ископаемых на озере Байкал, в его водоохранной зоне, в руслах нерестовых рек и их водоохранных зонах, кроме добычи подземных вод для целей питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения, минеральных и термальных вод [7].

В отличие от других типов природопользования, развитие минерально-сырьевого природопользования, имеет свои особенности, главными из которых являются:

1. Постоянный рост потребления минеральных ресурсов сопровождается увеличением объемов извлекаемой горной массы и снижением качественных характеристик минерального сырья.

2. Необходимое условие развития минерально-сырьевого природопользования - постоянное воспроизводство минерально-сырьевой базы.

3. При добыче минеральных ресурсов потребляется большое количество ресурсов, прежде всего, природных.

4. Используются ресурсные циклы – энергоресурсов и энергии, металлоресурсов и металлов, неметаллического ископаемого сырья.

5. Наиболее масштабный, сложный и продолжительный по воздействию на природные компоненты и ландшафт в целом тип природопользования [4].

Отходы являются самой большой проблемой добывающей промышленности. Одним из способов утилизации и уменьшения объемов накопленных отходов является их использование в качестве сырья для стройиндустрии. Около 40 млрд. т отходов горнодобывающей отрасли потенциально пригодны для производства строительных материалов (не менее 30 % вскрышных пород и хвостов обогащения, практически все металлургические и топливные шлаки) и в дорожном строительстве. Большая часть вскрышных пород железорудных месторождений пригодна для производства щебня, цемента, керамических стеновых материалов [3]. Кроме того, эти вскрышные породы можно перерабатывать и получать необходимый ресурс или его сплавы. С помощью чего мы можем начать сберегать наши минеральные ресурсы и не разрабатывать новые месторождения.

К примеру, отходы Джидинского вольфрамо-молибденового комбината можно как перерабатывать, так и утилизировать. Так как благодаря современным технологиям имеется реальная возможность получать новую высококачественную продукцию из хвостов обогатительного комбината.

Нетоксичные техногенные пески можно использовать в качестве заполнителей при получении бетонов [1].

Финансирование: Работа выполнена при поддержке Восточно-Сибирского государственного университета управления и технологий.

Список литературы:

1. Дмитриева Н.Г. Отходы горнопромышленного производства (на примере Джидинского вольфрамо-молибденового комбината). Успехи современного естествознания. 2020. № 11. С. 57-61.
2. Иметхенов А.Б., Куликов А.И., Атутов А.А. Экология, охрана природы и природопользования. Улан-Удэ. ВСГТУ. 2001. 416 с.
3. Кныш В.А., Ларичкин Ф.Д., Невская М.А., и др. Рациональное использование вторичных минеральных ресурсов в условиях экологизации и внедрения наилучших доступных технологий. Апатиты. Кольский научный центр. 2019. 248 с.
4. Элипханов М.У., Оказова З.П., Власова О.И. Рациональное природопользование. Грозный. Алеф. 2020. 249 с.
5. Справка о состоянии и перспективах использования минерально-сырьевой базы республики Бурятия. a68f437248904625cccb2a2748550f37.pdf. Дата обращения 16.06.2024
6. Федеральный закон от 1 мая 1999 г. № 94-ФЗ «Об охране озера Байкал» https://base.garant.ru/2157025/. Дата обращения 17.06.2024
7. Постановление Правительства РФ от 31 декабря 2020 г. № 2399 «Об утверждении перечня видов деятельности, запрещенных в центральной экологической зоне Байкальской природной территории» https://base.garant.ru/400167820/#block_1000. Дата обращения 17.06.2024

МХИ И ЛИШАЙНИКИ КАК БИОИНДИКАТОРЫ В ГЕОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

Чжан Я., Кропачева М.Ю.*

Новосибирск, Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН,
*e-mail: chzanya@igm.nsc.ru

Аннотация. Наблюдения за соотношением концентраций элементов в разные годы и в разных частях биоиндикаторов (мхи и лишайники) показали, что во всех частях мхов характер изменения концентраций всех элементов был сходным, для лишайников такой тенденции не наблюдалось. За исключением очень немногих элементов, для элементов в нижней части гриба концентрации имели тенденцию к выравниванию с течением времени. Таким образом, можно сделать вывод, что эти два биоиндикатора могут использоваться для разных задач геохимического мониторинга.

Ключевые слова: мох, лишайник, биоиндикатор

MOSSES AND LICHENS AS BIOINDICATORS IN GEOCHEMICAL STUDIES

Zhang Y., Kropacheva M.Yu.

V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, Novosibirsk, Russia
*e-mail: chzanya@igm.nsc.ru

Abstract. Observations of the ratio of element concentrations in different years and in different parts of bioindicators (mosses and lichens) showed that in all parts of mosses the character of change in concentrations of all elements was similar, for lichens such a trend was not observed. Except for very few elements, for elements in the lower part of the fungus the concentrations tended to level off over time. Thus, it can be concluded that these two bioindicators can be used for different geochemical monitoring tasks.

Keywords: moss, lichen, bioindicator

Биоиндикация в геохимии представляет собой метод, использующий организмы в качестве индикаторов для оценки качества окружающей среды и выявления изменений в геохимических процессах. Биоиндикации широко используются в сфере мониторинга загрязнений, оценки состояния почвы, изучения геохимических процессов, мониторинга изменений климата и оценки качества воды. Мониторинг окружающей среды с помощью биоиндикации позволяет зарегистрировать загрязнение или количественно его оценить.

Мхи и лишайники — две важнейшие группы организмов. С 1970-х годов мхи и лишайники используются в качестве индикаторов загрязнения окружающей среды, особенно воздуха [2]. Мхи и лишайники не имеют корней, в отличие от высших растений, поэтому основным источником питательных веществ для них являются атмосферные осадки. Поскольку у этих групп организмов нет защитной кутикулы, они могут поглощать ионы из воздуха, дождевой воды или снега. Скорость роста мхов и лишайников медленная, поэтому они могут очень эффективно накапливать загрязняющие вещества [1].

Хотя и мхи, и лишайники являются хорошими биоиндикаторами для мониторинга загрязнения воздуха, они имеют разную полезность для решения различных геохимических задач. Из-за различных структурных характеристик или местоположения (эпифитные и неэпифитные) мхи лучше подходят для мониторинга быстрых изменений в окружающей среде, в то время как лишайники - для мониторинга долгосрочных изменений в окружающей среде [3]. Мы отбирали пробы мхов и лишайников в ленточном бору в 6,5 км

к северу от с. Панкрушиха (Алтайский край) в 2021 и 2022 году. В лабораторных условиях при комнатной температуре пробы мха и лишайника были разделены на три части: верх, середина, низ. Концентрации элементов измерялись методом ИСП-АЭС.

Результаты показали, что изменение во времени валовых концентраций элементов в различных частях биоиндикаторов имеет разный характер для мхов и лишайников. Так, во всех частях мха характер изменения концентраций для всех элементов аналогичен, т. е. если в один год концентрация элементов в верхних частях мхов больше по сравнению с другим годом, то и в средней и нижней части она будет также отличаться. Единственное отличие – во сколько раз. Причем, чем ниже часть, тем разница значительнее (Рисунок 1а). Для лишайника эта тенденция не прослеживается. За редким исключением для всех элементов в нижней части таллома концентрации со временем выравниваются, и соотношение концентраций элементов разных годов стремится к 1. Для некоторых элементов значительные изменения концентраций в разные года наблюдаются только в верхней или только в средней части таллома (Рисунок 1б).

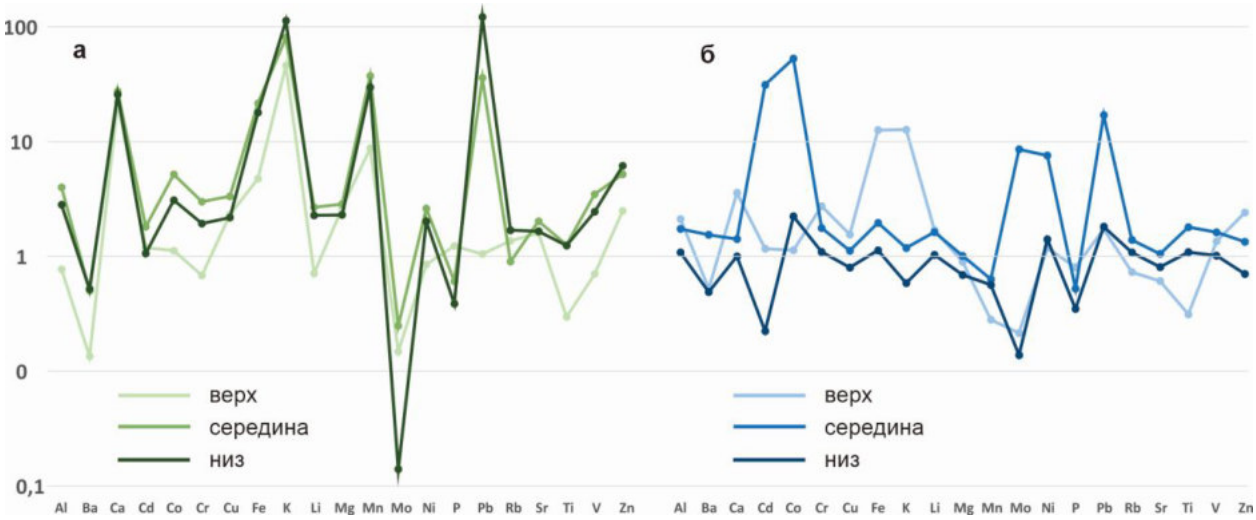

Рисунок 1. Отношение валовых концентраций элементов в 2021 году с таковыми в 2022 году: а) мох; б) лишайник

Такая разница в распределении концентраций связана с различной морфологией биоиндикаторов. Моховая подушка в нижней своей части значительно менее плотная, чем таллом лишайника. Более или менее схожие концентрации элементов для этих двух биоиндикаторов наблюдаются только в их верхних частях.

Кроме того, сравнивая величину изменений концентрации мхов и лишайников, можно обнаружить, что концентрация элементов у мхов меняется сильнее, особенно вверху и внизу, что говорит о том, что мхи более чувствительны к изменениям окружающей среды, в то время как концентрация элементов у лишайников меняется меньше, что говорит об их большей стабильности в различных условиях окружающей среды.

Таким образом, мы подтвердили, что мхи больше подходят для мониторинга быстрых изменений в окружающей среде, в то время как лишайники — для мониторинга долгосрочных изменений в окружающей среде. Поэтому более эффективным является сочетание мхов и лишайников.

Хотя двухлетних наблюдений недостаточно для твердых выводов, но предварительно можно утверждать, что мхи и лишайники могут использоваться для различных задач мониторинга. Любая часть мха отображает атмосферные выпадения и их изменения во

времени. У лишайника же атмосферные выпадения и их изменения отображает только верхняя часть, в то время как нижняя часть показывает геохимический фон для этого биообъекта.

Финансирование: Работа выполнена по государственному заданию ИГМ СО РАН (№122041400193–7).

Список литературы:

1. Bargagli R., Brown D.H., Nelli L. Metal biomonitoring with mosses: Procedures for correcting for soil contamination. Environ. Pollut. 1995. V. 89. № 2. P. 169–175.
2. Giordano S. et al. Bags with oven-dried moss for the active monitoring of airborne trace elements in urban areas. Environ. Pollut. Elsevier, 2009. V. 157. № 10. P. 2798–2805.
3. Jafarova M. et al. Comparison of Lichens and Mosses as Biomonitors of Airborne Microplastics. Atmosphere (Basel). 2023. V. 14. № 6.

Секция Геология и геохимия нефти и газа

ЛИТОЛОГО-ФАЦИАЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕРРИГЕННЫХ ПОРОД-КОЛЛЕКТОРОВ ПАРФЁНОВСКОГО ГОРИЗОНТА КОВЫКТИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Зайкин Д.А.[*]

РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, Москва, Россия
*e-mail: ipodzaykin@gmail.com

Аннотация. В работе рассмотрены литолого-фациальные особенности и минеральный состав вендских терригенных отложений Ковыктинского газоконденсатного месторождения (ГКМ). Кроме того, установлено влияние вторичных процессов, а также литолого-фациального строения на фильтрационно-ёмкостные свойства пород парфёновского горизонта.

Ключевые слова: Парфёновский горизонт, коллектор, песчаники, литологический состав, коллекторские свойства

LITHOLOGICAL AND FACIES FEATURES OF TERRIGENOUS RESERVOIR ROCK OF PARFENOV HORIZON OF KOVYKTA FIELD

Zaykin D.A.

National University of Oil and Gas «Gubkin University», Moscow, Russia,
ipodzaykin@gmail.com

Abstract. The paper discusses the lithological-facies features and mineral composition of Vendian terrigenous deposits of Kovykta gas condensate field. In addition, the influence of secondary processes, as well as the lithofacies structure on the filtration and capacity characteristics of rocks of the parfenov horizon has been established.

Keywords: Parfenov horizon, reservoir, sandstone, lithological composition, reservoir properties

Запасы Ковыктинского газоконденсатного месторождения (ГКМ) на данный момент является основой ресурсной базы, обеспечивающей работу газотранспортной системы «Сила Сибири». Они составляют 1,7-1,9 трлн м^3 газа и более 65 млн т газового конденсата, что позволяет дать месторождению звание самого крупного газового месторождения в Восточной Сибири [1]. Объектом исследования являются терригенные отложения парфёновского горизонта, к которым приурочены основные запасы газа месторождения. Эти отложения отличаются высокой степенью литолого-петрофизической неоднородности, обусловленной дифференциацией условий осадконакопления, а также интенсивностью и направленностью вторичных процессов. Основной целью работы являются исследования литологического состава и анализ развития постседиментационных процессов в породах парфёновского горизонта Ковыктинской зоны газонакопления.

Ковыктинское месторождение расположено в восточной части Иркутской области, в 370 км к северу от Иркутска, в пределах Казачинско-Ленского и Жигаловского районов. Его общая площадь превышает 7500 м^2. В геоморфологическом плане месторождение относится к Среднесибирскому плоскогорью и расположено в пределах Приленской возвышенности. Согласно классификации по А.А. Бакирову Ковыктинское газоконденсатное месторождение входит в состав Ангаро-Ленской нефтегазоносной

области (НГО) Лено-Тунгусской нефтегазоносной провинции [2]. Основные запасы газа Ангаро-Ленской НГО содержатся в пределах парфёновского продуктивного горизонта вендского терригенного нефтегазоносного комплекса. В составе горизонта выделяются две пачки П1 и П2, разделённые аргиллитовым пропластком, при этом наиболее привлекательной по фильтрационно-ескостным свойствам является последняя.

Литологическая характеристика изучалась по образцам керна, шлифам, фотографиям растрового электронного микроскопа и данным рентгеноструктурного анализа. В результате в разрезе изучаемой скважины шлифами охарактеризованы оба пласта парфёновского горизонта и выделено 10 литотипов. Отложения пласта П2 характеризуются полимиктовым составом и низкой степенью сортировки обломочного материала, а также преобладанием в составе полуугловатых разностей. Эти породы отличаются значительным объёмом пустотного пространства, нередко достигающим 8-15%. Отложения пласта П1 характеризуются олигомиктовым составом, лучшей степенью сортировки обломочного материала и интенсивной уплотненностью пород. Вверх по разрезу состав отложений меняется на смешанные и карбонатные породы.

В пласте П2 наиболее распространённым минералом является кварц. Его содержание достигает 90%. При этом полевые шпаты составляют от 4,1 до 12,7%. Карбонатные минералы отмечаются часто и представлены кальцитом и доломитом. Они развиты преимущественно в центральной и подошвенной части пласта. Глинистые минералы отмечаются в каждом образце. Их содержание варьирует от 4,7 до 20,4%. Глинистые минералы представлены хлоритом, иллитом и смешанно-слойными образованиями.

В пласте П1 также широко распространён кварц, с содержанием от 77 до 91,5%. Полевые шпаты распространены на всём интервале, их количество достигает 8,9%, а содержание возрастает в подошвенной и кровельной частях пласта. Карбонатные минералы развиты слабо и отмечаются в единичных образцах. Они представлены кальцитом и доломитом. Глинистая компонента обнаружена в каждом образце. Её содержание доходит до 18,2%, увеличиваясь в подошвенной и кровельной частях пласта. Глинистые минералы представлены хлоритом, иллитом и смешанно-слойными образованиями.

Пустотное пространство пород-коллекторов парфёновского горизонта отличается высокой степенью неоднородности, которая определяется дифференциацией условий осадконакопления и сложным характером проявления вторичных процессов. Породы пласта П1 не отличаются высокими значениями порового пространства. Это связано с лучшей степенью сортировки, а также с широким развитием в цементе глинистых минералов и регенерационного кварца. Иная ситуация наблюдается в плохосортированных песчаниках пласта П2. В них поровое пространство занимает до 18% объёма образца.

Породы парфёновского горизонта имеют довольно сильную проработку вторичными процессами. Преобразование происходило под действием высоких температур и давлений, а также на породы оказывали влияние различные флюиды. Постседиментационные изменения представлены множеством процессов, распространение которых не является закономерным. Из них кристаллобластез распространён наиболее широко. Он является показателем изменения породы на стадии метагенеза. Среди микротекстур преобладает рекристаллизационно-гранулярная. Полоски Бёма распространены повсеместно и встречаются на всём интервале. В породе отмечается развитие зон гравитационного уплотнения. В образцах встречены конформные и инкорпорационные контакты на границах зёрен. Процессы, которые имеют место на стадиях диагенеза, представлены кальцитизацией и сульфатизацией. Карбонатизация распространяется с разной степенью

интенсивности, при этом отмечается корродирование зёрен кальцитовым цементом. Сульфатизация имеет меньшую степень распространённости. В породе встречается оруденение, а именно пиритизация. Регенерация зёрен распространена довольно широко и прослеживается на всём интервале. Регенерационный цемент распространён достаточно равномерно, в результате зёрна кварца фрагментарно регенерировались, с образованием аутигенных каемок и кристаллов.

Ковыктинское ГКМ находится на востоке Ангаро-Ленской нефтегазоносной области. Газоконденсатную залежь содержат пласты песчаников в низах терригенного венда, в том числе парфёновский горизонт, разделённый на два пласта П1 и П2.

Неоднородность распределения фильтрационно-ёмкостных свойств по разрезу определяются дифференциацией условий осадконакопления, а также интенсивностью и направленность вторичных процессов.

Терригенные породы парфёновского горизонта представлены преимущественно песчаниками разной степени зернистости. Отложения характеризуются широким диапазоном текстур. В обломочной части преобладают зерна с низкой и средней степенью окатанности, плохо и средне отсортированные. Широко распространены конформные и инкорпорационные контакты между зернами. Цементирующая часть представлена глинистыми, карбонатными и сульфатными минералами. В составе глинистых минералов преобладает хлорит, также отмечается иллит и смешаннослойные минералы. По минеральному составу обломочная часть песчаников двух пластов горизонта несколько различна. В нижнем пласте в обломочной части увеличивается содержание полевых шпатов и обломков пород, при этом снижается количество кварца. Для верхнего пласта характерна обратная тенденция.

В целом, в разрезе парфёновского горизонта фрагментарно проявляются такие вторичные процессы аутигенного минералообразования как карбонатизация, сульфатизация, окварцевание и пиритизация. Характерной особенностью многих разрезов является изменение морфологии зёрен вплоть до их дезинтеграции, а также образования зон бластеза.

Пустотное пространство пород-коллекторов парфёновского горизонта отличается высокой степенью неоднородности, которая определяется дифференциацией условий осадконакопления и сложным характером проявления вторичных процессов.

Список литературы:

1. Коржубаев В.Г. Ковыктинское газоконденсатное месторождение: проблемы и перспективы освоения. Москва. Регион: экономика и социология. 2007. 113–121 с.
2. Конторович А.Э., Гребенюк В.В., Запивалов Н.П. Нефтегазоносные бассейны и регионы Сибири (Иркутский бассейн). Новосибирск. Научно-издательский центр ОИГГМ СО РАН. 1995. 60 с.

СЕЙСМОГЕОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ И ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ АНТИКЛИНАЛЬНЫХ ЛОВУШЕК МЕЛОВЫХ ЗАЛЕЖЕЙ В ЮЖНО-КАРСКОЙ НЕФТЕГАЗОНОСНОЙ ОБЛАСТИ (НГО)

Ибрагимова С.М.

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, Новосибирск, Россия, e-mail: gusevasm@ipgg.sbras.ru

Аннотация. Данная работа посвящена комплексной интерпретации геолого-геофизических материалов шельфа Карского моря с привлечением данных по континентальной окраине Западной Сибири. В рамках исследования был проведен структурно-тектонический анализ, осуществлено построение современных сейсмогеологических моделей осадочных комплексов и выделены нефтегазоперпективные зоны и объекты в Южно-Карской НГО.

Ключевые слова: Карское море, структурно-тектонический анализ, сейсмостратиграфия, сейсмогеологическая характеристика

SEISMOGEOLOGICAL MODEL AND STAGES OF DEVELOPMENT OF ANTICLINE TRAPS OF CRETACEOUS DEPOSITS IN THE SOUTH KARA OIL AND GAS BEARING REGION

Ibragimova S.M.

A.A. Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, Novosibirsk, Russia, gusevasm@ipgg.sbras.ru

Abstract. This work is devoted to the complex interpretation of geological and geophysical materials of the Kara Sea shelf using data on the continental margin of Western Siberia. As part of the study, a structural and tectonic analysis was carried out, modern seismogeological models of sedimentary complexes were built, and oil and gas-protective zones and objects in the South Kara oil and gas bearing region were identified.

Keywords: Kara Sea, structural and tectonic analysis, seismostratigraphy, seismogeological characteristics

Территория исследований включает южную часть акватории Карского моря, которая в тектоническом плане представляет собой северное окончание Западно-Сибирского осадочного бассейна, и северные части п-вов Ямал и Гыданский, расположенные на континентальной окраине Западной Сибири. Как и на большей части Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции геологический разрез представлен домезозойским основанием и мезозойско-кайнозойским осадочным чехлом.

Объектом исследований являются мезозойско-кайнозойские отложения южной части шельфа Карского моря.

Цель работы: осуществить построение сейсмогеологических моделей и восстановить историю тектонического развития Южно-Карской НГО Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции (НГП).

В тектоническом отношение южная часть Карского моря приурочена к надпорядковой отрицательной структуре Южно-Карской мегасинеклизе. Эта крупная депрессия на юге граничит с Ямало-Гыданской мегаседловиной, с запада, севера и востока окружена промежуточными структурами - Пайхойско-Новоземельской и Предтаймырской мегамоноклизами, которые по периферии соприкасаются со складчатыми структурами

обрамления Западно-Сибирской плиты [1]. Южно-Карская мегасинеклиза осложнена одноименной синеклизой и Предпороговой мегавпадиной, которые отделены вытянутой в северо-западном направлении Северной мегаседловиной.

Согласно схеме нефтегазогеологического районирования [2], исследуемая территория охватывает Южно-Карскую НГО и северные части Ямальской и Гыданской НГО.

Фактическим материалом послужили сейсмические профили МОГТ 2D протяженностью 23940 км и данные глубокого бурения по 1040. В рамках работы был создан сейсмогеологический проект в интерпретационном пакете W-seis, в котором была выполнена корреляция основных реперных горизонтов юры и мела.

В Западной Сибири традиционно выделяют следующие реперные отражающие сейсмические горизонты: Ф – кровля фундамента, А – подошва терригенного триаса (кровля домезозойского осадочного комплекса), Т – кровля терригенного триаса, Б – кровля баженовской (гольчихинской) свиты, М – кровля нейтинской (кошайской) пачки, Г – подошва кузнецовской свиты, С – кровля ганькинской свиты. Эти отражающие горизонты характеризуются высоким энергетическим уровнем и надежно выделяются, и трассируются по временным сейсмическим разрезам [4]. Реперные отражающие горизонты контролируют регионально-развитые в Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции сейсмогеологические мегакомплексы: палеозойский, триасовый, юрский, берриас-нижнеаптский (неокомский), апт-альб-сеноманский, турон-маастрихтский и кайнозойский.

Анализ волновых полей на сейсмических временных разрезах, пересекающих Карское море и п-ва Ямал и Гыдан позволяют отметить, что все сейсмические реперы и сейсмогеологические комплексы, выделяемые на континенте, продолжаются в Южно-Карскую региональную депрессию.

Для восстановления истории тектонического развития используют анализ изменения толщин осадочных комплексов по площади, предложенный Н.С. Шатским в 1924г. В триас-юрский и в берриас-нижнеаптский этап на территории исследования происходили схожие тектонические процессы. На территории Южно-Карской НГО наибольшие толщины мегакомплекса были сформированы в центральной и северо-восточной частях исследуемой территории в районе Южно-Карской мегасинеклизы и Предпороговой впадины, наименьшие - на бортах осадочного бассейна и в районе Северной седловины.

На этих этапах развития наибольшую тенденцию к относительному росту испытывали северные районы исследуемой территории, в переделах которых находятся Университетская структура и Рогозинский мегавыступ; и с наименьшей интенсивностью развивался Нурминский мегавал, в пределах которого на этом этапе развития формировалась погружающаяся в восточном направлении моноклиналь.

В альб-сеноманское время происходило интенсивное прогибание центральной части Южно-Карской региональной депрессии, в значительной мере предопределившее формирование Южно-Карской мегасинеклизы в структурных планах кровли юры и неокома. В это время активно формировались поднятия на Русановской и Ленинградской площадях тенденцию к росту испытывали расположенные вблизи арх-га Новая Земля Университетская, Власьевская и другие поднятия и не формировались структуры Нурминского мегавала.

В постсеноманское время произошло изменение тектонических движений. В это время продолжает формироваться Южно-Карская мегасинеклиза и тенденцию к интенсивному прогибанию начинает испытывать северная часть Антипаютинско-Тадебеяхинской мегасинеклизы. На этом фоне погружения этих депрессий тенденцию к

относительному росту испытывает Ямало-Гыданская мегаседловина, Нурминский мегавал и осложняющие их положительные структуры III-IV порядков - Тамбейского, Южно-Тамбейского, Бованенковского, Харасавейского и др. поднятий.

В целом анализ геолого-геофизических материалов позволил выделить в Южно-Карской НГО 4 типа структур, характеризующихся различной историей тектонического развития.

1 тип – структуры, приуроченные к эрозионно-тектоническим выступам фундамента, которые развивались в течение всей мезозой-кайнозойской истории развития. В Южно-Карской НГО к таким структурам относятся Викуловское, Власьевсоке и Университетское поднятия, расположенные на севере Южно-Карской региональной депрессиии, вблизи арх-га Новая Земля.

2 тип - структуры, приуроченные к тектоническим выступам, которые не развивались в юре и неокоме, но испытывали активный рост в постсеноманское время. Такие структуры в Южно-Карской НГО приурочены к Русановско-Ленинградскому мегавыступу. В современном структурном плане кровле юры и неокома структуры 2 типа находятся на моноклинали, которая региональное погружается в южном направление, к наиболее погруженной части Южно-Карской региональной депрессии.

3 тип - структуры, приуроченные к монолитным блокам фундамента, которые не получили развитие в постсеноманское время и выделяются только в структурном плане кровли юры, в ряде случаев неокома. Поднятия такого типа находятся на северо-западе Южно-Карской НГО в пределах Рогозинского и Северо-Таймырского мегавыступов.

4 тип - безкорневые структуры, которые отсутствуют в структурном плане юры, и интенсивно формировались в конце позднего мела и кайнозое.

По результатам структурно-тектонического анализа на исследуемой территории выделено 86 поднятия. Все эти структуры являются потенциальными нефтегазоперпективными объектами.

Финансирование. Работа выполнена в рамках проекта НИР №FWZZ-2022-0009.

Список литературы:

1. Карта тектонического строения юрского структурного яруса Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции. Масштаб 1:2500000. 2000.
2. Карта нефтегазогеологического районирования Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции. Масштаб 1:2500000. 2006.
3. Конторович В.А., Аюнова Д.В., Губин И.А., Калинин А.Ю., Калинина Л.М., Конторович А.Э., Малышев Н.А., Скворцов М.Б., Соловьев М.В., Сурикова Е.С. История тектонического развития арктических территорий и акваторий Западно-Сибирской нефтегазоносной области. Геология и геофизика. 2017. Т. 58. № 3-4. С. 423—444.

ЛИТОЛОГО-ФАЦИАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ ОЛИГОЦЕНОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ТЕРСКО-КУМСКОЙ ПАЛЕОВПАДИНЫ (ЦЕНТРАЛЬНОЕ И ВОСТОЧНОЕ ПРЕДКАВКАЗЬЕ)

Каримова Д.Р., Пороскун В.И., Березий А.Е.*

ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский геологический нефтяной институт»,
Москва, Россия
*e-mail: karimova.dr@mail.ru

Аннотация. В настоящей работе сделана попытка целенаправленно рассмотреть особенности геологического строения и нефтегазоносности олигоценовых отложений сопредельной зоны Ставропольского свода и Терско-Кумской палеовпадины глубоководного шельфа Центрального и Восточного Предкавказья, отличавшихся контрастностью геодинамических и гидрохимических условий седиментации, катагенетической преобразованности пород и органического вещества (ОВ), а также аномально проявленной нефтегазоносностью. Эти факты позволяют рассматривать данные отложения как перспективные.

Ключевые слова. Предкавказье, хадумская свита, Терско-Кумская палеовпадина

LITHOLOGIC-FACIAL PECULIARITIES AND PROSPECTS OF OIL AND GAS BEARING CAPACITY OF OLIGOCENE SEDIMENTS OF THE TERSKO-KUMSK PALEOVALLEY (CENTRAL AND EASTERN PRE-CAUCASUS)

Karimova D.R., Poroskun V.I., Bereziy A.E.*

FGBU "All-Russian Research Geological Petroleum Institute", Moscow, Russia
*e-mail: karimova.dr@mail.ru

Abstract. In the present work an attempt is made to purposefully consider the peculiarities of geological structure and oil and gas content of Oligocene sediments of the adjacent zone of the Stavropol arch and the Tersko-Kuma paleofolder of the deep-water shelf of the Central and Eastern Pre-Caucasus, characterized by contrasting geodynamic and hydrochemical conditions of sedimentation, catagenetic transformation of rocks and organic matter (OM), as well as anomalously manifested oil and gas content. These facts allow us to consider these sediments as promising.

Keywords. Pre-Caucasus, Khadum Formation, Tersko-Kumskaya paleo-fall

Решение проблемы вовлечения нефтегазоносного комплекса олигоценовых отложений в промышленное освоение для поддержания и развития сырьевой базы нефтедобычи в Предкавказье в настоящее время сдерживается недостаточной изученностью его литолого-фациальных особенностей и нефтегазоносности и низкой эффективностью действовавших в последние десятилетия проектов с участием российских и зарубежных компаний по поискам, разведке и разработке месторождений углеводородов. Эффективность дальнейшего изучения и промышленного освоения нефтегазоносности хадумских отложений показана исследованиями, проведенными в последние годы в ФГБУ «ВНИГНИ» [6].

Олигоценовые отложения хадумской и баталпашинской свит (далее хадумские отложения) размещаются в нижней части разреза майкопской серии олигоцен-раннемиоценового возраста, сложенной двумя комплексами: нижнемайкопская толща хадумских кремнисто-карбонатно-глинистых и глинисто-карбонатных углеродистых

отложений покровного типа и средне-верхнемайкопская - молласового типа. Отложения представлены комплексом глинистых пород, принадлежат различным тектоническим этажам, имеют особенности в фильтрационно-емкостных свойствах пород, гидродинамическом режиме и нефтегазоносности.

Средне-верхнемайкопские отложения формировались в условиях позднеальпийской тектоно-магматической активизации при скоростях седиментации 10-15 см/1000 лет и мощностях до 1,5-2 км. Тогда как скорости накопления хадумских отложений не превышали 1-1,5 см/1000 лет при их средней мощности около 60 м. Фактором, определяющим контрастность структуры литолого-фациальных особенностей олигоценовых отложений, стала высокая тектоническая активность зоны Ставропольского свода. В палеовпадинах Терско-Кумского осадочного бассейна отмечался рост интенсивности нисходящих движений, включая быстрое осаждение отложений авандельты. Также, в пределах конседиментационных поднятий происходило гидрогенное накопление глинистых непродуктивных осадков, повлиявшее на развитие и миграцию Азово-Ставропольской дельтовой платформы, изменчивость седиментации Терско-Кумского осадочного палеобассейна, генерацию и миграцию флюидов, формирование и сохранность зон нефтегазонакопления в неструктурных ловушках.

Наиболее изученные зоны нефтегазонакопления находятся в Ставропольском крае, в которых продуктивные интервалы с крупными нефтепритоками связаны с клиноформенными структурами повышенной мощности (до 40-50 м), сложенными алевритовыми и пелит-алевритовыми породами сложного состава, что подтверждено данными бурения. В этих зонах открыто два месторождения - Прасковейское и Чепаковское. В пределах Прасковейского месторождения промышленно нефтеносными являются отложения хадумской свиты палеогенового возраста (пласт Pg3hd), в котором выделено три залежи нефти. Нефтеносность связана с «нестандартными» коллекторами: глинистыми и глинисто-карбонатными листоватыми, плитчатыми и трещинными, которые отличаются очень низкими фильтрационно-емкостными свойствами.

В верхнемеловых отложениях Чепаковского месторождения выделяются два продуктивных пласта, отделенных пачкой уплотненных не трещиноватых известняков. Коллектора трещинно-кавернового типа. Залежи нефти контролируются антиклинальным поднятием, осложненным тектоническими нарушениями, отличающиеся насыщением пластов нефтью и свободной водой по всей высоте залежи. В формировании коллекторов важна вторичная пористость, матрица практически непроницаема и не содержит эффективных пор. Емкостные свойства коллектора обусловлены вторичными порами и кавернами, а фильтрационные - трещиноватостью.

В западной структурно-фациальной зоне Терско-Кумской впадины имеются предпосылки выявления новых залежей нефти в неструктурных ловушках. Это связано, при ее размерах – около 70 тыс. км^2, возраставшей интенсивностью сноса, начиная с раннего олигоцена, со стороны дельтовых платформ палео-Дона и палео-Волги и речных систем поднятий Большого Кавказа.

При выполнении количественной оценки прогнозных ресурсов нефти в Терско-Кумской палеовпадине [2] учитывались участки распространения сингенетичной «матричной» нефти в непрерывных пластах вместе с зонами накопления подвижных углеводородов в традиционных коллекторах зон выклинивания и литологического замещения. Промышленная нефтегазоносность хадумских отложений локализована в Предкавказье в трещинных, трещинно-поровых коллекторах пластовых резервуаров [3,4],

и в гранулярных поровых коллекторах неструктурных ловушек. Такие условия характерны для описанных присклоновых частей депрессионных зон, тяготеющих к восточному краю Азово-Ставропольской дельтовой платформы. Фации авандельт, их подводных течений, включая продольные валы и эрозионные врезы, конуса выноса, оползни, глыбовые свалы в разрезах олигоценовых отложений в зонах нефтегазонакопления ассоциируют с горизонтами слоистых нефтепроизводящих пород, ограниченных региональными флюидоупорами палеоцен-эоценовых и олигоцен-миоценовых отложений. Углеродистые породы насыщены органическим веществом гумусово-сапропелевого типа, содержание которого от 1-2 до 6-8%, а генерационный потенциал от 2-4 до 8-10 мг УВ/гр [5]. Породы относятся к числу нефтематеринских пород с хорошим генерационным потенциалом. Продуктивные интервалы в хадумских отложениях отличаются изменчивостью литологического состава из-за различий в размерах, сортированности и упорядоченности органического материала, формирования аутигенных минералов и невысокой глинистости.

Геофизические исследования [1] показывают, что нефтенасыщенные интервалы пород обладают повышенным временем пробега акустической волны и пониженным значением плотности пород, аномальными концентрациями органического вещества и урана, и изменчивостью гамма-активности. Коллекторами являются кремнисто-карбонатно-глинистые и глинисто-карбонатные битуминозные породы. Образование аномальных разрезов связано с фациями Азово-Ставропольской дельтовой платформы и углеродистой формацией раннеолигоценовых отложений, находящихся возле подвижной зоны восточного борта Ставропольского свода. Прогнозируется возможное выявление новых залежей нефти и газа в регионе, включая центральную часть и южный борт Восточно-Ставропольской впадины, сопоставимых с уже известными месторождениями.

Финансирование: Работа выполнена при поддержке ФГБУ «ВНИГНИ».

Список литературы

1. Бигун П.В. Геохимические и петрофизические условия нефтеносности доманикоидных толщ Предкавказья. Нетрадиционные источники углеводородного сырья и проблемы его освоения. Тезисы докладов. Санкт-Петербург: ВНИГРИ. 1992. С. 125- 126.

2. Керимов В.Ю., Мустаев Р.Н., Дмитриевский С.С., Яндарбиев Н.Ш. Районирование хадумской и баталпашинской свит в Центральном и Восточном Предкавказье по геохимическим критериям. Труды РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина. 2016. № 4. С. 14-25.

3. Королев С.Н. Модель глинистых коллекторов нефти в отложениях нижнего майкопа Воробьевского нефтяного месторождения. Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2008. № 6. С. 41-46.

4. Лебедько Г.И. Перспективы нефтегазоносности Северо-Кавказского региона. Геология нефти и газа. 2010. №1. С. 16-22.

5. Фортунатова Н.К., Березий А.Е., Зорин А.Б. Литолого-фациальные особенности и перспективы нефтегазоносности хадумских отложений Северо-Кавказской нефтегазоносной провинции. ВНИГНИ-65. 2018. С. 387-399.

ПРОГНОЗ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ ЛОКАЛЬНЫХ СТРУКТУР В ЖИВЕТСКИХ ОТЛОЖЕНИЯХ СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ХАРЬЯГИНСКОГО ВАЛА

Ожгибесов Е.С.[*]

Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия
*e-mail: ozhgibesov2015@yandex.ru

Аннотация. В работе проведен прогноз нефтегазоносности локальных структур в живетских отложениях на территории северной части Харьягинского вала с использованием вероятностно-статистических методов. Для построения вероятностных моделей использованы следующие показатели: локальная составляющая ОГ III_2zv, время регистрации отраженной волны ОГ III_2zv и толщина живетских отложений. С целью учета влияния на нефтегазоносность каждого показателя рассчитан комплексный критерий Ркомп. По результатам моделирования наиболее перспективными являются центральное и восточное поднятия Антоновской структуры.

Ключевые слова: прогноз нефтегазоносности, локальные структуры, критерии нефтегазоносности, вероятностная модель

PREDICTION OF OIL AND GAS POTENTIAL OF LOCAL STRUCTURES IN GIVETIAN SEDIMENTS OF THE NORTHERN PART OF THE KHARYAGA WALL

Ozhgibesov E.S.

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia,
*e-mail: ozhgibesov2015@yandex.ru

Abstract. In this work, the forecast of oil and gas bearing capacity of local structures in givetian sediments on the territory of the northern part of the Kharyaga Shaft using probabilistic-statistical methods was carried out. The following parameters were used to build probabilistic models: local component of OH III2zv, time of registration of the reflected wave of OH III2zv and thickness of zhizhskiy sediments. In order to take into account the influence of each indicator on oil and gas content, the complex criterion Pcomp was calculated. According to the modeling results, the central and eastern uplifts of the Antonovskaya structure are the most promising.

Keywords: forecast of oil and gas content, local structures, oil and gas content criteria, probabilistic model

Ранжирование локальных подготовленных структур по перспективам их нефтегазоносности является важным этапом при проектировании геолого-разведочных работ. Для корректного прогноза необходимо установить информативные геолого-геофизические показатели, а затем оценить их комплексное влияние на нефтегазоносность той или иной структуры. Для решения обозначенного вопроса как нельзя лучше подходят вероятностно-статистических методы. Применение данных методов при прогнозировании нефтегазоносности представлено в статьях [1, 2]. Целью работы является разработка комплексной вероятностно-статистической модели прогноза нефтегазоносности и ее применение для ранжирования подготовленных структур по степени их перспективности.

Исследуемая территория включает Восточно-Сарутаюскую, Нирмалинско-Антоновскую, Западно-Ханчаргинскую и Северо-Ханчаргинскую площади, которые в тектоническом отношении приурочены к северной периклинали Харьягинского вала. В пределах исследуемого участка открыты три нефтяных месторождения (Восточно-Сарутаюское, Ольгинское и Нирмалинское), а также подготовлены 8 структур. Открытые

залежи нефти расположены в среднедевонско-нижнефранском терригенном нефтегазоносном комплексе (пласты D_3džr, D_2zv, D_2kd). Основная часть запасов приурочена к живетским отложениям, поэтому именно по этим отложениям будет проводится прогноз нефтегазоносности.

Для оценки перспектив нефтегазоносности проанализированы следующие параметры: локальная составляющая ОГ III_2zv (кровля живетских отложений) – Loc, м; время регистрации отраженной волны ОГ III2zv – T, мс; толщина живетских отложений – H, м. Обучающая выборка сформирована на основе цифровых карт перечисленных параметров. Значения параметров отбирались на узлах сетки 100x100 м. К классу «нефтяные» отнесены значения, отобранные в пределах контуров нефтеносности, к классу «пустые» - значения, отобранные на прилегающей к месторождениям территории за пределами их контуров нефтеносности. Информативность критериев проверена путем сравнения средних значений классов с помощью t-критерия Стьюдента. Установлено, что по всем параметрам средние значения статистически различаются.

Для более глубокого статистического анализа показателей исследованы их распределения. Оптимальное число интервалов для построения гистограмм определено с помощью формулы Стерджесса (1):

$$n = 1 + 3{,}322 \cdot \lg N \qquad (1)$$

где N – количество наблюдений.

В каждом интервале определены частости (2):

$$P(X_j|W_k) = \frac{N_k}{N_q}, \qquad (2)$$

где $P(X_j|W_k)$ – частность в k-м интервале для группы Wq (q=1 – соответствует нефтяным зонам, а q=2 – пустым зонам); N_k – число случаев содержания параметра X_j в k-ом интервале; Nq – объем выборки для разных классов.

Распределение частостей в исследуемых классах по показателю Loc приведено в Таблице 1. Видно, что нефтяные зоны приурочены к более высоким значениям локальной составляющей, а пустые – к более низким. По остальным показателям также посчитаны распределения частостей в пределах нефтяных и пустых зон.

Таблица 1. Распределение частостей Loc

Класс	Интервал варьирования Loc, м												
	-40,9…-33,9	-33,9…-26,8	-26,8…-19,8	-19,8…-12,7	-12,7…-5,7	-5,7…1,3	1,3…8,4	8,4…15,4	15,4…22,4	22,4…29,5	29,5…36,5	36,5…43,6	43,6…50,6
Пустые	0,062	0,076	0,124	0,188	0,204	0,184	0,106	0,032	0,018	0,006	0,000	0,000	0,000
Нефтяные	0,000	0,000	0,001	0,005	0,009	0,025	0,072	0,155	0,202	0,160	0,191	0,083	0,095

По вычисленным частостям установлены условные интервальные вероятности по формуле (3).

$$P(W_q|X_j)_k = \frac{P(X_j|W_1)_k}{P(X_j|W_1)_k + P(X_j|W_2)_k}, \qquad (3)$$

где $P(W_q|X_j)_k$ – условная интервальная вероятность принадлежности переменной X_j в k-м интервале к классу W_q.

Далее по полученным условным вероятностям построены линейные вероятностные модели нефтегазоносности. Более детальная информация о построении и применении индивидуальных вероятностных моделей при прогнозировании нефтегазоносности

приведена в работе [3]. Ниже приведены индивидуальные вероятностные модели по каждому параметру (4-6):

$$P(Loc) = 0{,}4464 + 0{,}0107 \cdot Loc \quad (4)$$

$$P(T) = 18{,}1244 - 0{,}00707 \cdot T \quad (5)$$

$$P(H) = 0{,}9481 - 0{,}0054 \cdot H \quad (6)$$

При прогнозировании нефтегазоносности необходимо комплексно учитывать все рассматриваемые показатели. Для этого рассчитан комплексный критерий по формуле (7):

$$\mathrm{P}_{\text{комп}} = \frac{\prod_{j=1}^{m} P\,(W_{\text{н}}|X_j)}{\prod_{j=1}^{m} P\,(W_{\text{н}}|X_j) + \prod_{j=1}^{m}(1 - P\,(W_{\text{н}}|X_j))} \quad (7)$$

По результатам моделирования построена карта изовероятностей комплексного критерия Ркомп (Рисунок 1). На карте также приведены средние значения комплексной вероятности, вычисленные в пределах контуров структур.

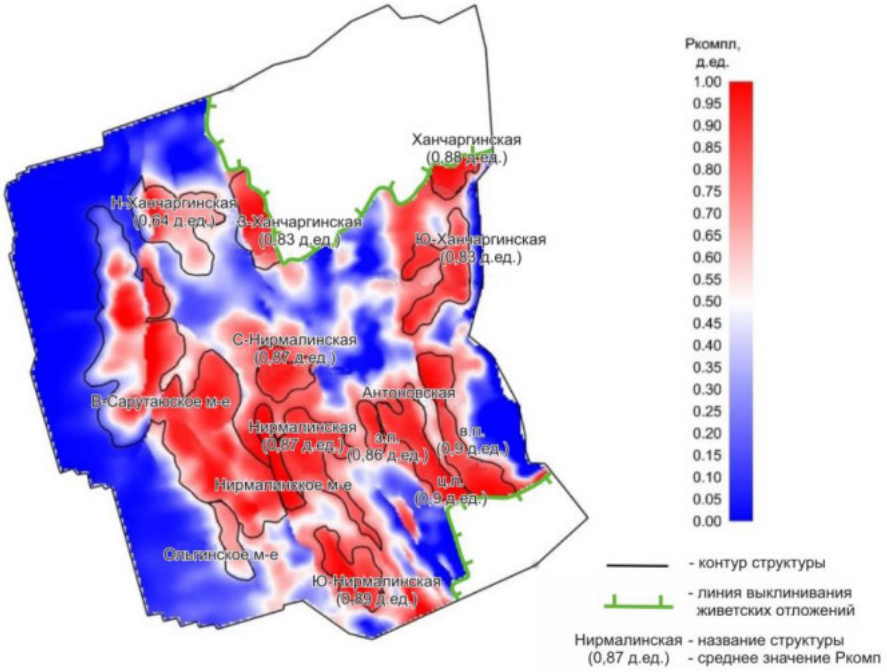

Рисунок 1. Карта изовероятностей Ркомп

По карте видно, что все структуры на исследуемой площади работ характеризуются комплексной вероятностью выше 0,5 д.ед. Значения изменяются от 0,64 д.ед. до 0,9 д.ед. Наиболее перспективными с точки зрения нефтегазоносности являются центральное и восточное поднятия Антоновской структуры.

Финансирование: Исследования выполнены при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект № FSNM-2023-0005).

Список литературы:

1. Кошкин К.А. Разработка вероятностно-статистических моделей для оценки перспектив нефтегазоносности пластов Тл2-б и Бб Пожвинского участка. Недропользование. 2018. Т. 17. №1. С. 4-16.
2. Галкин В.И., Соснин Н.Е. Разработка геолого-математических моделей для прогноза нефтегазоносности сложнопостроенных структур в девонских терригенных отложениях. Нефтяное хозяйство. 2013. № 4. С. 28-31.
3. Галкин В.И., Растегаев А.В., Галкин С.В. Вероятностно-статистическая оценка нефтегазоносности локальных структур. УрО РАН. Екатеринбург. 2001. 277с.

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ И НЕФТЕГАЗОНОСНОСТЬ ЮЖНОГО БОРТА ВИЛЮЙСКОЙ ГЕМИСИНЕКЛИЗЫ

Попова М.А.

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, Новосибирск, Россия
*e-mail: m.popova3@g.nsu.ru

Аннотация. Вилюйская гемисинеклиза является одним из основных объектов внимания для исследования территории на нефтегазоносность. Её южный борт активно изучается и разрабатывается. На этой территории были вскрыты архейские породы фундамента, а также палеозойские и мезозойские отложения осадочного чехла. Наиболее перспективными на наличие углеводородов являются отложения мезозойского возраста. Основными предпосылками, указывающими на вероятную нефтегазоносность, являются наличие относительно выдержанных глинистых пачек, выступающих в роли флюидоупоров, наличие глинисто-углистых отложений, богатых органических веществом, способных выступать в роли нефтегазоматеринских, а также наличие в разрезе толщ песчаного состава, выступающих в роли коллекторов.

Ключевые слова: Вилюйская гемисинеклиза, нефтегазоносность

GEOLOGICAL STRUCTURE AND OIL AND GAS POTENTIAL OF THE SOUTHERN SIDE OF THE VILYUISKY HEMISYNECLISE

Popova M.A.

A.A. Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, Novosibirsk, Russia,
*e-mail: m.popova3@g.nsu.ru

Abstract. The Vilyui hemisyneclise is one of the main objects of attention for studying the territory for oil and gas potential. Its southern side is being actively studied and developed. In this territory, Archean basement rocks, as well as Paleozoic and Mesozoic sediments of the sedimentary cover, were exposed. The most promising deposits for the presence of hydrocarbons are Mesozoic deposits. The main prerequisites indicating probable oil and gas potential are the presence of relatively mature clayey units that act as fluid seals, the presence of clayey-carbonaceous deposits rich in organic matter that can act as oil and gas sources, as well as the presence of sandy strata in the section that act as reservoirs.

Keywords: Vilyui hemisyneclise, oil and gas potential

Республика Якутия является одним из наиболее богатых на газ субъектов Дальнего Востока. Для реализации газового потенциала и увеличения осуществляемой добычи газа в регионе проводится активное геолого-геофизическое изучение, и как следствие, наращивание разведанных источников углеводородов территории. Одним из основных геологических объектов для исследования на нефтегазоносность является Вилюйская гемисинеклиза, в частности, её южный борт. Перспективы нефтегазоносности преимущественно связаны с верхнепалеозойскими и мезозойскими отложениями. Так Хайлакское газоконденсатное месторождение стало первым открытым на южном борте с запасами более 30 млрд.м [8].

Цель: изучить геологическое строение и оценить перспективы нефтегазоносности осадочного чехла южного борта Вилюйской гемисинеклизы.

Задачи работы:

1. Изучение стратиграфии осадочного чехла территории,

2. Комплексный анализ геолого-геофизической информации для оценки перспектив нефтегазоносности.

В административном плане южный борт Вилюйской гемисинеклизы относится к Вилюйским и Верхневилюйским улусам Республики Саха (Якутия).

Согласно нефтегазогеологическому районированию Сибирской платформы территория исследования приурочена к Лено-Вилюйской нефтегазоносной провинции [5]. Территория приурочена в тектоническом плане к Бес-Кюельской моноклинали, с севера граничит с южной частью Тагнарынской впадиной, с юга- с Алданской антеклизой (Рисунок 1).

В пределах территории было пробурено 11 скважин, вскрывших архейские, палеозойские и мезозойские отложения. Наиболее перспективными на углеводороды являются мезозойские отложения: верхнепермские и нижнетриасовые. Они представлены следующими свитами тарагайской (P_2), неджелинской (T_1), таганджинской (T_1) и мономской (T_1) [2,3,4].

В качестве флюидоупоров выступают глинистые отложения мономской и неджелинской свит нижнего триаса, а также сунтарская свита нижней юры. Глинисто-углистые отложения перми, обогащенные террагенным органическим веществом, выступают в роли нефтегазопроизводящих для верхнепалеозой-мезозойских толщ [6,7].

Таким образом, в разрезе верхнепалеозойских и мезозойских отложений Вилюйской гемисинеклизы выделяются следующие основные нефтегазоносные комплексы:

1.верхнепермский (тарагайский коллектор и неджелинский флюидоупор),

2.нижнетриасовый (таганджинский коллектор и мономский флюидоупор)

3.нижнеюрский (кызылсырский коллектор и сунтарский флюидоупор).

Песчаные пласты, индексируемые сверху вниз по разрезу, а также отдельные пласты-линзы флюид упоров содержат залежи газоконденсата и газа [1].

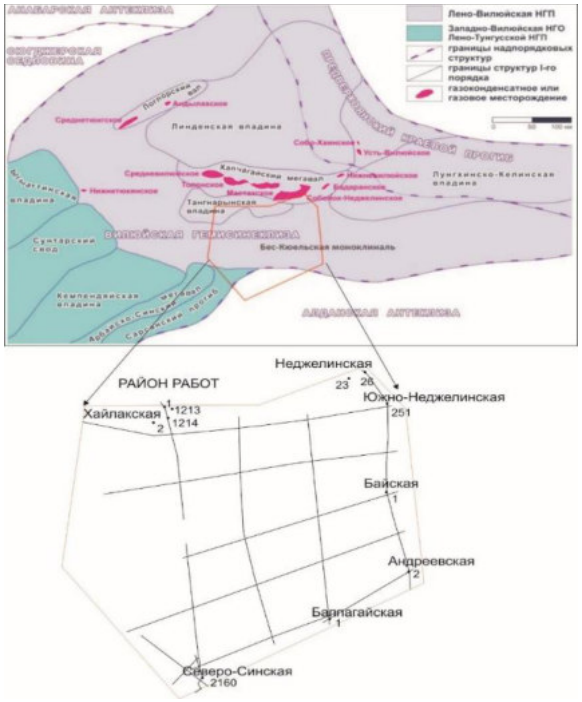

Рисунок 1. Схема структурно-тектонического районирования Вилюйской гемисинеклизы (по материалам АО «Якутскгеофизика). Район работ с сейсмическими профилями и скважинами глубокого бурения.

В пределах территории было пробурено 11 скважин, вскрывших архейские, палеозойские и мезозойские отложения. Наиболее перспективными на углеводороды являются мезозойские отложения: верхнепермские и нижнетриасовые. Они представлены следующими свитами тарагайской (P_2), неджелинской (T_1), таганджинской (T_1) и мономской (T_1) [2,3,4].

В качестве флюидоупоров выступают глинистые отложения мономской и неджелинской свит нижнего триаса, а также сунтарская свита нижней юры. Глинисто-углистые отложения перми, обогащенные террагенным органическим веществом, выступают в роли нефтегазопроизводящих для верхнепалеозой-мезозойских толщ [6,7].

Таким образом, в разрезе верхнепалеозойских и мезозойских отложений Вилюйской гемисинеклизы выделяются следующие основные нефтегазоносные комплексы:

1.верхнепермский (тарагайский коллектор и неджелинский флюидоупор),

2.нижнетриасовый (таганджинский коллектор и мономский флюидоупор)

3.нижнеюрский (кызылсырский коллектор и сунтарский флюидоупор).

Песчаные пласты, индексируемые сверху вниз по разрезу, а также отдельные пласты-линзы флюид упоров содержат залежи газоконденсата и газа [1].

Финансирование: Работа выполнена в рамках проекта фундаментальных научных исследований № FWZZ-2022-0008.

Список литературы:

1. Граусман В.В., Матвеев В.Д. О строении таганджинской свиты в разрезе триаса центральной части Лено-Вилюйской нефтегазоносной области (НГО). Стратиграфия нефтегазоносных отложений Якутии. Якутск. ЯФ СО АН СССР. 1980. С. 46–51.
2. Граусман В.В., Матвеев В.Д., Мейен С.В. Стратиграфия пермских отложений Вилюйской синеклизы. Известия академии наук СССР. Серия геологическая. 1982. № 11.С. 57–67.
3. Граусман В.В., Мейен С.В. Стратиграфия верхнепалеозойских отложений Вилюйской синеклизы. Известия академии наук СССР. Серия геологическая. 1987. № 10. С. 53–60.
4. Конторович, А.Э., Бурштейн Л.М., Вальчак В.И., Губин И.А., Гордеева А.О., Кузнецова Е.Н., Конторович В.А., Моисеев С.А., Скузоватов М.Ю., Фомин А.М. Нефтегазогеологическое районирование Сибирской платформы (уточненная версия). Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Новосибирск. СГУГиТ. 2017. Т. 1. С. 57-64
5. Конторович А.Э. Полякова И.Д., Колганова М.М., Соболева Е.И. Превращения органического вещества в мезо– и апокатагенезе. Советская геология. 1988. № 7. С. 26-36.
6. Конторович А.Э., Сурков В.С., Трофимук А.А. Геология нефти и газа Сибирской платформы. Москва. Недра. 1981. 552 с.
7. Полякова И.Д. Преобразование органического вещества угленосных отложений Вилюйской синеклизы на больших глубинах. Геохимия нефтегазоносных отложений Сибири. Новосибирск. СНИИГГиМС. 1991. С. 48-57.
8. Якутия. инфо https://yakutia.info/. Дата обращения 26.06.2024

ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА НЕФТЕЙ МОНОМСКОЙ СВИТЫ (ВИЛЮЙСКАЯ СИНЕКЛИЗА)

Резникова М.С.[1,2*]

[1]Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия
[2]Всероссийский научно-исследовательский геологический нефтяной институт, Новосибирский филиал, Новосибирск, Россия
*e-mail: m.reznikova@g.nsu.ru

Аннотация. В результате геохимических исследований нефтей Хапчагайского мегавала установлено, что нефти из коллекторов юрского возраста формировались из органического вещества юрской толщи, относящегося к сапропелитам. Генезис верхнепермских и нижнетриасовых конденсатов и нефтей связан с угленосными толщами верхней перми. Анализ нефтей полученных при испытании мономской свиты Логлорского вала показал, что в них физико-химические параметры близки к нефтям Хапчагайского мегавала, а от нефтей юры они отличаются высокой парафинистостью.

Ключевые слова: мономская свита, Хапчагайский мегавал, Логлорский вал, нефтепроизводящие свиты.

GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF OIL OF THE MONOMA FORMATION (VILYUISKY SYNECLISE)

Reznikova M.S.[1,2*]

[1]Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia, m.reznikova@g.nsu.ru
[2]All-Russian Research Geological Petroleum Institute, Novosibirsk Branch, Novosibirsk, Russia

Abstract. As a result of geochemical studies of the oils of the Khapchagai megawall, it was found that oils from reservoirs of Jurassic age were formed from organic matter of the Jurassic strata belonging to sapropelites. The genesis of Upper Permian and Lower Triassic condensates and oils is associated with the coal-bearing strata of the Upper Permian. The analysis of the oils obtained during the testing of the Monomsky formation of the Loglorsky shaft showed that their physico-chemical parameters are close to the oils of the Khapchagai megawall, and they differ from the Jurassic oils in high paraffinity.

Keywords: monomsky formation, hapchagai megawall, longlorsky shaft, oil-producing formations

Введение. Мономская свита (нижний триас) представлена глинистыми породами, чередующимися в отдельных разрезах с алевролитами и песчаниками. История изучения происхождения этих углеводородов и их геохимических особенностей берет свое начало с получения первых притоков нефти, полученных первоначально на Хапчагайском мегавале и позднее на Логлорском вале (Рисунок 1).

История изучения геохимических характеристик нефтей мономской свиты. Горшенин Ю.Д. [1] отмечал, что для нижнетриасовых отложений Вилюйской синеклизы характерно преобладание эпигенетического битума, что свидетельствует об интенсивности процессов миграции углеводородов.

Результаты анализа условий накопления (прибрежно-морские) и распределение органического вещества и его преобразования в битумоиды позволило Олли И.А. [2] высказать предположение, что нижнетриасовые отложения являются нефтематеринскими.

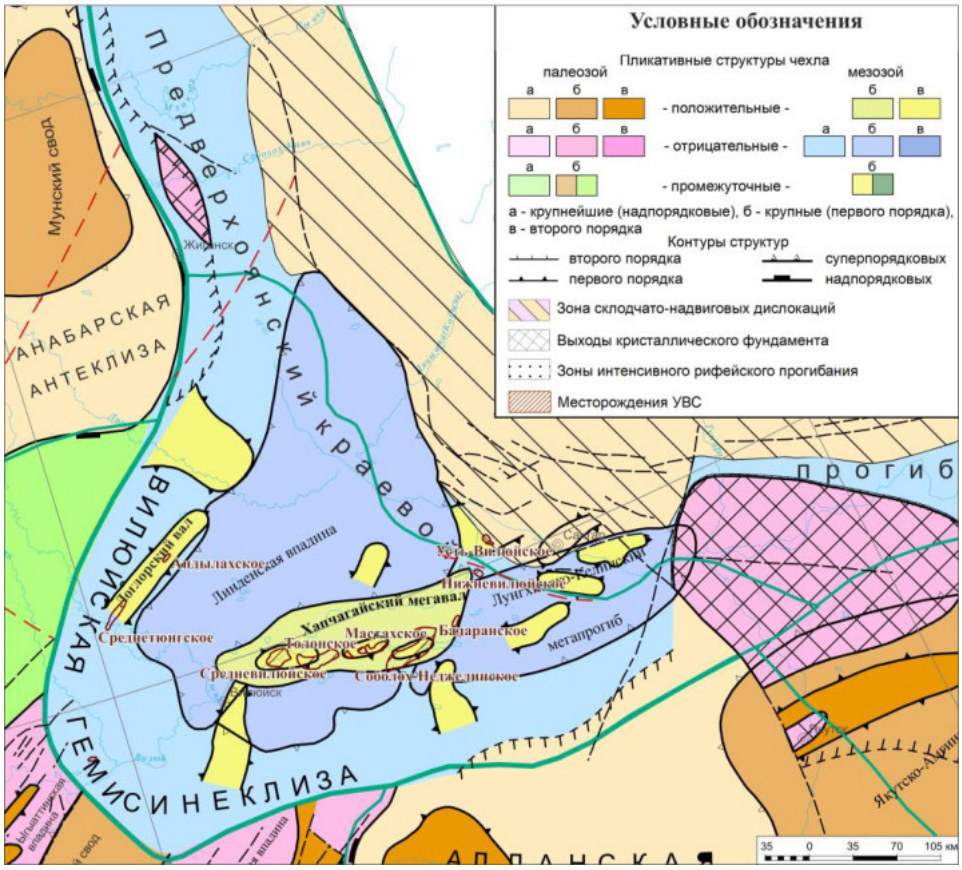

Рисунок 1. Фрагмент тектонической карты нефтегазоносных провинций Сибирской платформы [3]

При этом И.А. Олли писала, что в низах триаса есть надежные глинистые покрышки, которые могут служить препятствием для миграции нефти и газа с глубины — из палеозойских отложений.

Наиболее детальное исследование было опубликовано в 1967 году [4], в котором проанализированы геохимические особенности и различия углеводородов, полученных на Хапчагайском мегавале из отложений мономского возраста и пород юры. В связи с повышенной ароматичностью юрских нефтей по сравнению с триасовыми авторы сделали вывод о том, что нефтепроизводящими для них были, как это отмечала и И.А. Олли [5], верхнелейасовые аргиллиты. В связи с тем, что, органическое вещество юрской толщи относится к сапропелитам либо гумито-сапропелитам при метаморфизме его до стадии ($МК_1$ [1]) генерируются цикличные нефти. Низкое содержание в них асфальтово-смолистых веществ и серы предопределяется процессами первичной миграции. В работе показано, что генезис верхнепермских и нижнетриасовых конденсатов и нефтей связан с нефтепроизводящими толщами, содержащими гумусовое или сапропелево-гумусовое органическое вещество. Парафинистые нефти генетически связаны с отложениями, в которых органическое вещество достигает высших подстадий газовой и жирной стадий углефикации ($МК_{2-3}$). Источником сходных по составу конденсатов и нефтей в нижнетриасовых и верхнепермских отложениях были угленосные толщи верхней перми, обогащенные органическим гумитовым веществом.

В последующей работе А.Н. Изосимовой [6] были продолжены и подтверждены предыдущие исследования. В ней показано, что наибольшим нефтематеринским потенциалом обладают верхнепермские и нижнеюрские отложения.

Использованные материалы. Опубликованные физико-химические данные нефтей, дела скважин месторождений Хапчагайского мегавала и Средне-Тюнгского месторождения.

Результаты исследования. Сопоставление анализов нефтей мономской свиты полученных на Хапчагайском мегавале и Логлорского вале (Таблица 1) свидетельствует о том, что у всех физико-химические параметры изменяются в близких пределах. Единственное четкое отличие – это содержание твердых парафинов – у всех триасовых нефтей их содержание резко увеличено (13,9-15,17%) по сравнению с нижнеюрскими (0,2-0,37%).

Таблица 1. Фрагмент физико-химической характеристики нефтей

Скважина/ Местор.-е	Пласт	Интервал, м	Плотность, ρ_4^{20}	Сера, %	Содержание, %		Фракционный состав,%		Начало кипения, °С	Парафины на нефть, %
					Асфальтены	Смолы силикагелевые	До 200°С	До 300°С		
Хапчагайский мегавал										
Мастахская 1	J1-I	1763-1792	0,8736	0,08	0,05	1,75	30,3	57	70	0,2
Мастахская 53-Э	J1-I	1782-1803	0,9244	0,06	0,5	5,13	0,6	30,9	152	0,37
Толонская 4	T1-II	2632-2654	0,853	0,08	0,12	1,78	21,9	58,8	65	13,9
Логлорский вал										
Среднетюнгское м-е	T1-II		0,8666	0,065	0,6	10,05	8	14	102	15,17

Вывод. В отложениях мономской свиты Логлорского вала встречены нефти, происхождение которых связано с отложениями верхней перми.

Список литературы:

1. Горшенин Ю.Д., Филимонов И.Л., Шабалин В.П. Перспективы Восточной части Вилюйской синеклизы и Центральной части Предверхоянского прогиба на нефть и газ. Геологическое строение и нефтегазоносность Восточной части Сибирской платформы и прилегающих районов. 1968. С. 285-291.
2. Олли И.А. Распределение органического вещества в мезозойских отложениях Центральных частей Вилюйской синеклизы и Предверхоянского прогиба. Геологическое строение и нефтегазоносность Восточной части Сибирской платформы и прилегающих районов. 1968. С. 278-285.
3. Тектоническая карта нефтегазоносных провинций Сибирского Федерального округа и Республики Саха (Якутия). Масштаб 1:2 500 000. 2017 г.
4. Казаринов В.В., Конторович А.Э., Мачинская Р.Е. и др. Геохимическая характеристика нефтей и газов Хапчагайского поднятия Вилюйской синеклизы. Материалы по геологии и нефтегазоносности Восточной Сибири. 1967. Вып. 63. С. 149-167.
5. Олли И.А. Мезозойский этап нефтегазообразования Вилюйской синеклизы и Приверхоянского прогиба: Автореф.дисс. … к.г.-м.н. / И.А. Олли. Новосибирск: ИГГ СО АН СССР. 1965.
6. Изосимова А.Н. Нефтепроизводящие отложения Вилюйской синеклизы и Предверхоянского прогиба. Литология и геохимия осадочных толщ Якутии. 1975. С. 130-148.

ОТ РЕСУРСОВ К ЗАПАСАМ: КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К МОДЕЛИРОВАНИЮ ВУЛКАНОГЕННО-ОСАДОЧНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ НА ПРИМЕРЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

*Тимиртдинов А. Ю.**

ООО «ТННЦ», Тюмень, Россия
*e-mail: AYTimirtdinov@tnnc.rosneft.ru

Аннотация. В работе представлены результаты работ по построению геологической модели и модели сети трещин вулканогенно-осадочного коллектора доюрского комплекса месторождения на юге Западной Сибири. Рассмотрены вопросы концепции формирования промежуточного структурного этажа. На изучаемом объекте определены типы тектонических нарушений и их предполагаемая проводимость. Выделены интервалы трещиноватости, которые рассматривались автором как главные каналы фильтрации. Обоснованы состав и строение вулканогенно-осадочного коллектора доюрского комплекса, а также рассмотрены типы пустотного пространства.

Ключевые слова. Геологическое моделирование, трещиноватость, доюрский комплекс, нетрадиционный коллектор, кислые эффузивные

FROM RESOURCES TO RESERVES: AN INTEGRATED APPROACH TO MODELING VOLCANOGENIC SEDIMENTARY RESERVOIRS ON THE EXAMPLE OF A FIELD IN WESTERN SIBERIA

Timirtdinov A. Yu.

«TNNC» LLC, Tyumen, Russia,
*e-mail: AYTimirtdinov@tnnc.rosneft.ru

Abstract. The paper presents the results of a geomodeling and a discrete fracture modeling in the volcanogenic-sedimentary reservoir of the pre-Jurassic formation of the field in the south of Western Siberia. The issues of the concept of the formation of an intermediate structural floor are considered. The types of tectonic deformation and their conductivity were determined. Cleavage intervals, which were considered by the authors as the main filtration channels, are highlighted. The composition and structure of the volcanogenic-sedimentary reservoir of the Pre-Jurassic complex are substantiated, as well as the types of porosity are considered.

Keywords. Geological modeling, discrete fracture model, pre-Jurassic formation, unconventional reservoir, silica-rich volcanic rocks

Первые месторождения углеводородов в доюрском комплексе (ДЮК) в Западно-Сибирском нефтегазоносном бассейне были открыты с 1953 по 1963 годы в гранитах, гнейсах и коре выветривания сланцев в Березовском и Шаимском районах Тюменской области, однако в последующие годы основное внимание ученых было направлено на юрские и нижнемеловые отложения, как наиболее перспективные [2].

Исследуемое месторождение открыто в 2013 году в Уватском районе на юге Тюменской области. Более половины запасов месторождения сосредоточены в доюрском комплексе.

Предполагается, что промежуточный структурный этаж исследуемого месторождения сформировался в ранне-среднетриасовое время в период активной вулканической деятельности [5]. В этот период образовалась мощная толща эффузивных пород. Она представлена переслаиванием риолитов и трахириолитов, также кислых вулкано-кластических разностей.

Литологическое расчленение разреза ДЮК выполнено по четырем скважинам, в которых по керну выделены пять литотипов: туф, трахириолит, риолит, гранофир и кремнистые разности. Используя данные ГИС, выполнено литологическое расчленение всего интервала, вскрытого бурением, в том числе в интервалах, не охваченных отбором керна. Наибольшими значениями пористости до 12% обладают риолиты и трахириолиты. Их доля в разрезе составляет 66%.

На микроуровне коллектор представляет собой сильноизмененные породы, с преимущественным преобладанием кварца и глинистых разностей. В породах доминирует закрытая пористость; по данным исследований шлифов определяются межагрегатные, изолированные и редко сообщающиеся поры. Отмечено присутствие трещин и каверн, по которым развита вторичная минерализация.

По данным исследований керна породы обладают низкими значениями проницаемости: 0,01 – 10 мД. Построена зависимость коэффициента проницаемости (Кпр) от коэффициента пористости (Кп) по керну. Низкая корреляционная связь (коэффициент корреляции составил r = 0,66) может косвенно говорить о наличии трещинной и каверновой пористости.

Коэффициент нефтенасыщенности (Кн) и его стандартное отклонение были оценены по данным с месторождений-аналогов с залежами в кислых эффузивах (Даниловское, Северо-Даниловское, Рогожниковское), так как на данном этапе не представлялось возможным изготовить стандартные образцы керна для профильных исследований.

Совместные залежи ДЮК и юрских пластов могут находиться в зонах примыкания базальных пластов к выступам фундамента. Залежь в ДЮК имеет блоковое строение со своими предполагаемыми уровнями водонефтяных контактов (ВНК). В роли покрышки могут выступать как локальные непроницаемые зоны в ДЮК, так и глинистые юрские флюидоупоры, что косвенно подтверждается схожими по абсолютным отметкам уровнями ВНК.

Источником нефтей на данном месторождении является баженовская свита, при этом триасовые глинисто-кремнисто-карбонатные породы нефтематеринской толщи на данной территории не обладают существенным генерационным потенциалом [4].

На сегодняшний день построение трехмерной геологической модели является важным этапом при освоении месторождений углеводородов.

Структурный каркас геологической модели ограничен отражающими сейсмическими горизонтам А и Т1-2. При построении было учтено более 150 разломов для корректного разделения залежи на блоки и построения трендов. Для моделирования куба коллектора использован объемный сейсмический атрибут «куб вероятности коллектора». Ранги вариограмм задавались отдельно для каждого литотипа. Пористость распространялась с учетом выделенных литотипов. Куб проницаемости построен с использованием регрессионной зависимости от пористости. Модель нефтенасыщенности построена с учетом статистической оценки и с использованием объемных трендов пористости, высоты над ВНК (водонефтяной контакт), расстояния от разломов и концепции формирования залежи.

Важным фактором при оценке перспектив добычи углеводородов из объектов в фундаменте является наличие трещиновато-кавернозных зон в породах-коллекторах. Трещиноватость в интервале ДЮК была определена независимо по трем разным методам исследований: на керне и в шлифах, по данным АКШ и микроимиджеров, а также при проведении гидроразрыва пласта.

По результатам выделения трещин на керне, определены три генетических типа: отрыва, скалывания и слоистости. Используя данные интерпретации микроимиджа в скважине, были определены 3 преимущественных направления систем проводящих трещин и их параметров, приуроченных к системам на керне. Рассчитаны элементы залегания и интенсивность трещиноватости по разрезу.

AVAz-инверсия сейсмических данных является одним из наиболее часто используемых методов прогнозирования трещиноватости коллекторов углеводородов [1]. Для прогноза трещин в межскважинном пространстве использовались сейсмические атрибуты, полученные по результатам работ, выполненных в 2021 г. в Тюменском Нефтяном Научном Центре. Распространение каждой из трех систем трещин контролировалось атрибутом «азимут плоскости анизотропии AZi». Зависимость интенсивности трещин по керну от атрибута «анизотропный градиент BANi» использовалась для оценки интенсивности трещин в межскважинном пространстве.

Модель сети трещин создавалась с использованием гибридного подхода – это одновременный расчет дискретной сети трещин (DFN) и неявной модели трещин (IFM). В ходе работы получены три модели IFN, отражающие свойства ранее определенных типов трещин. В модели DFN реализованы только крупные трещины, приуроченные к дизъюнктивным нарушениям [3].

Результаты моделирования позволили оценить перспективу разработки данного доюрского комплекса месторождения, а модель трещиноватости объекта позволила выделить наиболее перспективные зоны для первоочередного бурения ДЮК.

В ходе работы была создана концептуальная модель формирования отложений ДЮК на месторождении, выделены литотипы, определены их ФЕС, а также построены трехмерная геологическая модель и модель трещиноватости с использованием объемных сейсмических трендов.

Сегодня количество накопленных данных о доюрском комплексе позволяет вплотную приблизиться к началу промышленной разработки данного актива. Для того, чтобы приступить к освоению таких объектов, необходимо применять комплексный подход в геологическом моделировании и в особенности при моделировании трещиноватости, как главного параметра для успешного получения притоков и коллекторов доюрского комплекса.

Список литературы:

1. Василенко Н. К. и др. Азимутальный анализ поглощения продольных волн в трещиноватой среде, покрывающей целевой объект, по данным полно-азимутальной сейсмической съемки. Геофизические технологии. 2023. №. 2. С. 29-46.
2. Клещев К. А., Шеин В. С., Перспективы нефтегазоносности фундамента Западной Сибири. Москва. ВНИГНИ. 2004. Т. 2. 214 с.
3. Козяев А.А., Щуковский Р.М., Закревский К.Е. Моделирование трещиноватости. Практикум по DFN в Petrel 2016-2019. Москва. МАИ. 2019. 96 с.
4. Сидоров Д.А., Сокольникова А.А., Рязанова Т.А. Оценка потенциала генерации углеводородов в доюрских образованиях на западе каймысовской нефтегазоносной области. Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2021. № 1. С. 1-14.
5. Сидоров, Д.А. Тектонические особенности верхнедемьянского мегантиклинория в свете новых геолого-геофизических данных, Корреляция Алтаид и Уралид: глубинное строение литосферы, стратиграфия, магматизм, метаморфизм, геодинамика и металлогения. Материалы IV межд. науч. Конференции. Новосибирск: СО РАН. 2018. С. 136-138.

ОЦЕНКА ЗОНАЛЬНОЙ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ БАШКИРСКОГО СВОДА ПО СТРУКТУРНЫМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ

*Чалова П.О.**

Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия
*e-mail: chalovapolina@yandex.ru

Аннотация. В работе на примере северной части Башкирского свода продемонстрирована возможность зонального прогноза нефтегазоносности по структурным характеристикам. Для построения схемы прогноза нефтегазоносности на первом этапе по исследуемым характеристикам построены индивидуальные вероятностные модели нефтегазоносности. Все модели являются статистически значимыми. Далее по индивидуальным моделям разработан обобщающий вероятностный показатель зонального прогноза нефтегазоносности для территории Башкирского свода. Установлено, схема изменения комплексной вероятности не противоречит региональным особенностям территории исследования. Модель может быть использована, как критерий, учитывающий процессы аккумуляции на территории Башкирского свода.

Ключевые слова: зональный прогноз нефтегазоносности, критерии нефтегазоносности, вероятностная модель

THE ZONAL OIL AND GAS PREDICTION OF THE NORTHERN PART OF THE BASKIRSKY ARCH BASED ON STRUCTURAL CHARACTERISTICS

Chalova P.O.

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia,
*e-mail: chalovapolina@yandex.ru

Abstract. The study shows the possibility of zonal prediction of oil and gas content based on structural characteristics on the example of the northern part of the Bashkirsky arch. In order to build a scheme of oil and gas content prediction at the first stage, individual probabilistic models of oil and gas content were built according to the studied characteristics. All models are statistically significant. Further, a generalizing probabilistic model of zonal prediction of oil and gas content for the territory of the Bashkirsky arch was developed based on individual models. It was found that the scheme of complex probability changes does not contradict the regional characteristics of the study area. The model can be used as a criterion that considers the accumulation processes in the Bashkirian arch.

Keywords: zonal prediction of oil and gas content, oil and gas content criteria, probabilistic model

Башкирский свод (БС) в пределах Пермского края на сегодняшний день является высоко изученной территорией. Степень изученности глубоким бурением местами достигает 285,3 м/км^2 (6,5 км^2/скв.), сейсморазведкой (до 2,8 км/км^2) и структурным бурением (до 277,8 м/км^2). Это позволяет использовать накопленные данные для определения потенциала нефтегазоносности структур. Перспективным является прогноз нефтегазоносности по всевозможным геологическим критериям. Однако, накопленные данные по различным исследованиям являются разномасштабными. Многоуровневое вероятностно-статистическое моделирование позволяет решить задачу комплексирования данных и использовать результаты моделирования при прогнозе нефтегазоносности на различных уровнях (локальный/зональный/региональный).

В рамках данной работы продемонстрирована возможность зонального прогноза нефтегазоносности по структурным характеристикам с помощью вероятностно-статистических методов.

Для количественного описания аккумулятивных способностей территории использованы данные по абсолютным отметкам отражающих горизонтов (ОГ) и мощностей между ними, полученных с помощью региональных карт. В целях расчета комплексного критерия зональной нефтегазоносности на первом этапе построены индивидуальные модели вероятности нефтегазоносности по каждому структурному показателю. Алгоритм построения индивидуальных вероятностных моделей представлен в работах [1, 2]. Статистические характеристики структурных показателей по классам в (класс 1) и за (класс 0) пределами разрабатываемых месторождений, а также прогнозные модели представлены в Таблице 1. Оценка информативности построенных вероятностных моделей выполнена путем сравнения средних значений вероятностей для классов 0 и 1 по t и p критериям.

Таблица 1. Индивидуальные вероятностные модели по структурным показателям для территории БС

Структурный показатель	**Верхняя строка-диапазон изменения показателя и станд. откл.; Нижняя строка – диапазон изменения вероятности и станд. откл.**		**Критерии t/p**	**Верхняя строка-диапазон изменения показателя для обоих классов; средняя строка – уравнение вероятности принадлежности к классу 1; нижняя строка-диапазон изменения значений вероятностей**
	Класс 1	**Класс 0**		
ОГ $I^п$, м	-886,83±46,711 0,515±0,088	-895,554±50.913 0,498±0,096	-3,537 0.000	0,515 – 0,088 Р(ОГ Iп)=2,2 + 0,0019*ОГ Iп 0,292-0,710
ОГ $II^к$, м	1265,109±46,505 0,538± 0,144	-1280,125±51,238 0,491±0,158	-6,08 0,000	0,538 – 0,144 Р(ОГ IIк)=4,46+0,0031*ОГ IIк 0,160-0,943
ОГ $II^п$, м	1324,139±53,529 0,543±0,128	-1342,746±56,679 0,498±0,136	-6,661 0,000	0,543 – 0,128 Р(ОГ IIп)=3,721+0,0024*ОГ IIп 0,197-0,860
ОГ III, м	1939,977±63,119 0,502±0,031	-1949,627±69,031 0,497±0,034	-2,889 0,003	0,502 – 0,031 Р(ОГ III)=1,472+0,0005*ОГ III 0,444-0,578
ОГ $I^п$-ОГ $I^к$, м	378,283±30,103 0,507±0,078	384,570±35,377 0,491±0,091	-3,821 0,000	0,507 – 0,078 Р(ОГ Iп-ОГ IIк)=1,491-0,0026 *ОГ Iп-ОГ IIк 0,280-0,684
ОГ $II^к$-ОГ $II^п$, м	59,029±15,894 0,523±0,206	62,621±8,643 0,476±0,112	-5,201 0,000	0,523 – 0,206 Р(ОГ IIк-ОГ IIп)=1,291-0,013*ОГ IIк-ОГ IIп 0,006-0,999
ОГ $II^п$- ОГ III, м	615,837±37,274 0,515±0,085	606,880±46,659 0,494±0,107	-4,264 0,000	0,515 – 0,085 Р(ОГ IIп- ОГ III)=-0,901+0,0023 *ОГ IIп - ОГ III 0,269-0,703

Из Таблицы 1 видно, наибольшее различие классов 0 и 1 достигается при использовании индивидуальной модели по ОГ $II^п$. Что связано с наиболее четко выраженными положительными структурами по данному ОГ. Вышележащие отражающие горизонты, как правило сглажены, так как являются структурами облекания построек возраста D_3-C_1t. Модель по ОГ3 обладает наименьшим качеством, но при этом так же является статистически значимой ($p < 5\%$), однако ее прогнозная способность гораздо ниже из-за слабой дифференциации структурных планов и отсутствия ярко выраженных замкнутых синклинальных и антиклинальных структур.

Для комплексного учета всего множества структурных показателей, используя индивидуальные линейные вероятностные модели, по формуле комплексной вероятности [3] вычислен обобщающий показатель $P^{К}_{СТРУКТ}$. Схема изменения комплексной вероятности зонального прогноза нефтегазоносности по структурным характеристикам на территории БС представлена на Рисунке 1.

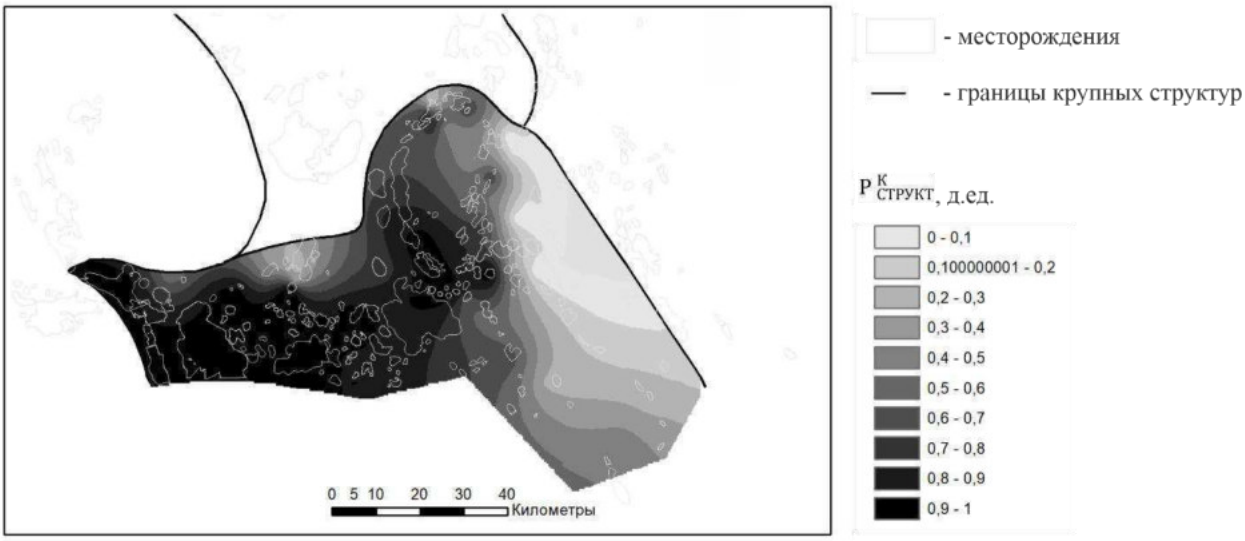

Рисунок 1. Схема изменения значений $P^{К}_{СТРУКТ}$ по северной части Башкирского свода

На схеме четко выделяются области повышенных (>0,7 д.ед) вероятностей нефтегазоносности, зоны дублируют наиболее приподнятые структуры второго порядка, а именно: Куединский и Москудьинский валы, Дубовогорскую структурную террасу, Татышлинский выступ, Капканская зона поднятий, Чернушинская валообразная зона, Таныпский палеоатолл. Схема не противоречит региональным особенностям БС, так как нефтегазоносноть тяготеет к сводовым частям крупных положительных тектонических структур.

Таким образом, доказана возможность использования данной модели зонального прогноза нефтегазоносности по структурным характеристикам. Критерий $P^{К}_{СТРУКТ}$ целесообразно применять, как параметр, учитывающий процессы аккумуляции на территории Башкирского свода.

Финансирование: Исследования выполнены при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект № FSNM-2023-0005).

Список литературы:

1. Вотинов А. С., Галкин В.И. Возможности применения вероятностных моделей при оценке потенциальной битумизации коллекторов для северной группы месторождений Пермского. Проблемы разработки месторождений углеводородных и рудных полезных ископаемых. 2022. Т. 1. С. 24-29.
2. Галкин В. И., Козлова И.А. Разработка вероятностно-статистических регионально-зональных моделей прогноза нефтегазоносности по данным геохимических исследований верхнедевонских карбонатных отложений. Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2016. № 6. С. 40-45.
3. Галкин В. И., Кошкин К.А., Мелкишев О.А. Обоснование зональной нефтегазоносности территории Висимской моноклинали по геохимическим критериям. Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. 2018. Т. 18. № 1. С. 4-15.

ПРОБЛЕМАТИКА «МАСШТАБНОГО ЭФФЕКТА» С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ МЕХАНИЗМОВ ФОРМИРОВАНИЯ КОЛЛЕКТОРОВ НА ПРИМЕРЕ ПЛАСТА Б$_1$ ПРЕОБРАЖЕНСКОГО ЛИЦЕНЗИОННОГО УЧАСТКА

Чертин В.В., Асадуллина Ю.Е., Чертина К.Н.*

ООО «Тюменский Нефтяной Научный центр» г. Тюмень, Россия
*e-mail: vvchertin@tnnc.rosneft.ru

Аннотация. В данной работе представлены результаты изучения генетических типов пустот и их размерных характеристик в карбонатных породах коллекторах пласта Б$_1$ осинского горизонта Преображенского лицензионного участка. Произведен сравнительный анализ связей размеров генетических типов пустот с фильтрационно-емкостными свойствами (ФЕС), определёнными в полноразмерном керне (ПРК) и стандартных образцах. Выявлено влияние масштабного эффекта на показатели пористости карбонатных пород в основных литогенетических типах пласта.

Ключевые слова: масштабный эффект, генезис пустот, карбонатные отложения

PROBLEMS OF THE «SCALE EFFECT» FROM THE POINT OF VIEW OF RESERVOIR FORMATION MECHANISMS USING THE EXAMPLE OF FORMATION B$_1$ OF THE PREOBRAZHENSKY LICENSE AREA

Chertin V.V., Asadullina Y.E., Chertina K.N.*

LLC «Tyumen Oil Research Center» Tyumen, Russia
*e-mail: vvchertin@tnnc.rosneft.ru

Abstract. This paper presents the results of studying the genetic types of voids and their size characteristics in carbonate rocks, reservoirs of the B1 formation of the Osinsky horizon of the Preobrazhensky license area. A comparative analysis of the relationship between the size of genetic types of voids and filtration and capacitance properties (FCP) determined in full-size core (FSC) and standard samples was carried out. The influence of the scale effect on the porosity of carbonate rocks in the main lithogenetic types of formation was revealed.

Key words: scale effect, void genesis, carbonate deposits. Filtration capacitive properties core

Объектом исследования послужили карбонатные отложения пласта Б$_1$ осинского горизонта усольской свиты кембрийской системы 9 скважин Преображенского лицензионного участка. Породы, в разрезе исследуемых скважин, представлены преимущественно доломитами и известняками с органогенной (микробиальной и губковой) структурой, доломитами с несохранившейся первичной структурой и породами с зернистыми структурами (грейнстоун, пакстоун). Встречены единичные образцы с брекчиевой структурой.

Проанализированы данные 52 полноразмерных и стандартных образцов в комплексе с петрографическим описанием шлифов для установления влияния масштабных эффектов на ФЕС. С использованием поляризационного микроскопа произведено детальное микроописание генезиса пустот (генетическая классификация пустот Choquette et Pray, 1970 г. [2]) с разделением их по размерам (классификация размерных классов пор Максимовича и Быкова 1969 г. [1]).

Выявлено, что преобладающими генетическим типом пустот (Рисунок 1) по всем изученным образцам являются молды (39%), реже встречены межкристаллические (24%) и

ваговые (16%) пустоты. Так же отмечаются пустоты карстового типа (8%), межзерновые поры (5%), редко отмечались трещины, межскелетные и внутрискелетные пустоты.

Соотношение размера пустот и их генезиса также имеет прямую связь. Молды представлены преимущественно микропорами, чем больше размер пустоты, тем реже она встречается в данном генетическом типе. Ваги и карстовые пустоты ведут себя противоположным образом, тут заметно преобладают каверны, крупные поры и практически отсутствуют микропоры. Межкристаллические пустоты не имеют ярко выраженного преобладания по размеру, однако микропоры встречаются крайне редко.

Сравнительный анализ показаний пористости стандартного и ПРК образца для разных генетических типов пустот выявил, что в молдовых, карстовых и межкристаллических пустотах расхождение составляет 3-5%. Следовательно, в ПРК образцах зачастую значение $К_п$ выше, чем в стандартном образце. Это объясняется способом образования пустот, участием процессов выщелачивания и перекристаллизации. С вагами ситуация обстоит иначе, кривые показателей пористости практически идеально ложатся друг на друга, расхождения в графике минимальны.

На основе собранной информации все образцы были разделены на три литотипа: органогенные породы, зернистые и кристаллические. В целях выявления масштабных эффектов по каждому литотипу строилась зависимость коэффициента пористости (данные ФЕС) стандартного и полноразмерного образца.

В результате выявлена следующая закономерность. В кристаллических и органогенных породах образцы полноразмерного керна стабильно выдают показатель пористости на 2-3% выше, чем стандартный. Это объясняется неоднородностью развития органогенных пород, неравномерным распределением пористых и плотных участков. Кристаллические породы зачастую сохраняют реликтовые очертания первичной неоднородной структуры, что также влияет на закономерности распределения пустот. Соответственно, чем больше площадь образца, тем информативнее показатель пористости по данным ФЕС. В породах с зернистыми структурами колебания линий пористости показывают отсутствие заметной разницы в использовании стандартного или ПРК образца. Не отмечается эффективность применения полноразмерного керна в анализе ФЕС.

Построенные корреляции показали, что размерность пустот не является единственным фактором проблематики «масштабного эффекта», отмечено значительное влияние литотипа пород и генотипа пустот на показатель пористости образца. С учетом рассмотренных факторов выявлено занижение значения $К_п$ в стандартном образце, в сравнении с ПРК в среднем на 3-5%. Данная информация может представлять интерес для подсчета запасов, и позволит скорректировать интервалы с заниженными значениями пустотного пространства при использовании в работе образцов стандартного размера.

Понимание природы пустотного пространства позволит выбрать правильные методы оценки коллекторских свойств, уточнить запасы и понять неоднородности пласта в более крупных масштабах.

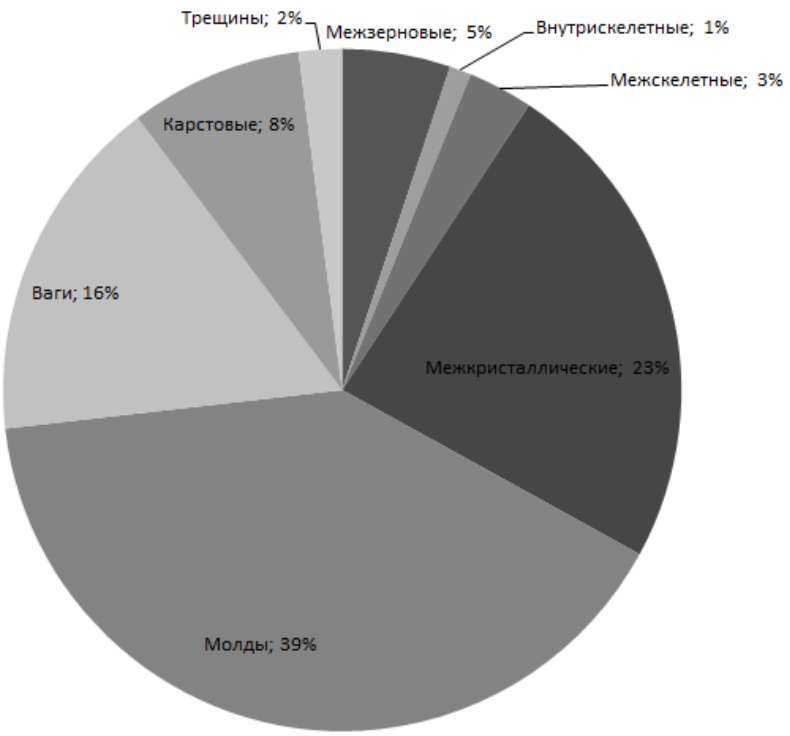

Рисунок 1. Процентное соотношение основных генетических типов пустот.

Финансирование: Работа выполнена при поддержке ООО «Тюменский нефтяной научный центр».

Список литературы:

1. Максимович Г.А., Быков В.Н. Классификация карбонатных коллекторов. Геология и разработка нефтяных месторождений. 1969. №. 4. С. 103-123.
2. Choquette P.W., Pray L.C. Geologic nomenclature and classification of porosity in sedimentary carbonates. AAPG Bulletin. 1970. V. 54. P. 207-250.

Секция Геофизические методы исследования

ВРЕМЕННЫЕ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИЕ СЕТИ НА ВУЛКАНАХ КАМЧАТКИ: СИСТЕМАТИЗАЦИЯ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ И МЕТАДАННЫХ

Абраменков С.С.[1,2], Яковлев А.В.[3], Бережнев Я.М.[1,2,4], Кулаков И.Ю.[2,4]*

[1]Новосибирский Государственный Университет, Новосибирск, Россия
[2]Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, Новосибирск, Россия
[3]Институт Альфреда Вегенера, Бремерхафен, Германия
[4]Сколковский институт науки и технологий, Москва, Россия
* e-mail: abramenkovss@ipgg.sbras.ru

Аннотация. Проведена ретроспективная верификация метаданных 8 временных сейсмологических сетей, установленных на активных вулканах Камчатки в период с 2012 по 2020 гг. Информация о 204 временных станциях (локация, инструментальный отклик и прочее) была реорганизована в современный формат StationXML. Создана стройная система архивации исходных волновых форм, опирающаяся на систему контроля версий Git, и унифицированный подход к работе с данными в сетевом хранилище на основе комбинации библиотек языка программирования Python.

Ключевые слова: Камчатка, Курилы, вулканическая активность, инструментальная сейсмология

TEMPORARY SEISMOLOGICAL NETWORKS ON KAMCHATKA VOLCANOES: INITIAL DATA AND METADATA SYSTEMATIZATION

Abramenkov S.S.[1,2], Jakovlev A.V.[3], Berezhnev Y.M.[1,2,4], Koulakov I.Y.[2,4]

[1]Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia, abramenkovss@ipgg.sbras.ru
[2]A.A. Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, Novosibirsk, Russia
[3]Alfred-Wegener-Institut, Bremerhaven, Germany
[4]Skolkovo Institute of Science and Technology (Skoltech), Moscow, Russia

Abstract. We performed retrospective verification of the metadata of 8 temporary seismological networks installed on active volcanoes of Kamchatka in the period from 2012 to 2020. Locations, instrumental responses, and other info for 204 temporary stations were reorganized into modern StationXML format. We designed a system for archiving raw waveforms based on the Git version control system and developed a unified approach for working with the network storage data using combination of Python frameworks.

Keywords: Kamchatka, Kurils, volcanic activity, instrumental seismology

Более десяти лет назад было положено начало серии экспедиций по развертыванию временных сейсмологических сетей на активных вулканах Камчатки. Суммарный объем данных даже в «сыром» виде (исходные форматы записи различных регистраторов) уже достиг порядка первых терабайтов. Однако, с техническо-методической точки зрения, организация этой информации ранее выполнялась индивидуально для каждого полевого эксперимента.

В рамках первой «пилотной» экспедиции в сентябре ***2012*** г. на *Авачинской группе вулканов* была установлена сеть из **11** станций. Ключевым результатом стала скоростная модель магматической системы, полученная методом шумовой томографии [10]. В августе ***2013*** г. сеть из **21** станции была установлена на *вулкан Горелый*. Выбранный временной период совпал со стадией активной дегазации – вероятной причиной локализации в вулканической постройке множества длиннопериодных землетрясений [1]. К августу ***2014***

г. фокус исследований сместился к северу полуострова – сеть из **24** станций была установлена в районе *Толбачинского трещинного извержения 2012–2013 гг.*, чтобы зарегистрировать «треск» опустошенной магматической камеры. Август ***2015*** г. был отмечен самой масштабной экспедицией – международной коллаборацией «Klyuchevskoy Investigation - Seismic Structure of an Extraordinary Volcanic System» *(KISS)*: *Ключевская группа вулканов* была покрыта региональной сетью с **77** автономными станциями. На данный момент это единственный пример с присвоенным кодом сейсмологической сети (**X9 2015-2016**), зарегистрированный в International Federation of Digital Seismograph Network (FDSN). Закономерно, что, будучи наиболее систематически организованным набором данных [14], выложенным в открытый доступ, этот эксперимент имеет наибольшее количество результатов с публикациями в лучших международных изданиях [5, 6, 7, 11].

В ***2017*** г. сеть из **10** станций была установлена на *вулкане Безымянный* – выбранный момент оказался крайне удачным – сетью был зарегистрирован процесс подготовки весьма короткого, но интенсивного извержения *20 декабря 2017*, выбросившего пепловый столб высотой порядка 15 км. Помимо локальной пассивной сейсмической томографии [12], были проведен анализ изменения сейсмических скоростей [2] и деформаций вулканической постройки [13]. Если в предыдущем случае сеть была установлена до извержения, то в ***2018*** г. фокус внимания сместился к югу Камчатки – **10** станций были установлены на *вулкане Камбальный* спустя год после его извержения *24 марта 2017*, в котором пепловое облако распространилось на дистанцию 900 км к югу от вулкана. И хотя сеть подверглась наиболее агрессивному вмешательству дикой природы (9 станций были досрочно демонтированы медведями), полученные результаты внесли существенный вклад в понимание структуры вулкана и процесса его релаксации после извержения [9]. В августе ***2018*** г. была установлена ещё одна сеть из **18** станций – снова на «домашней» *Авачинской группе вулканов*, данные с которой оказались полезны ответами на некоторые методические вопросы сейсмической томографии [8]. Наконец, в августе **2019** г. был проведена вторая по масштабности экспедиция по установке региональной сети на *Центральной Камчатке*, в состав которой вошло **33** временных станции. Результатом стали модели скоростных распределений двумя уже отработанными методами сейсмической томографии [3, 4].

Заключение. Следует отметить, что в приведенной выше выжимке ключевых результатов, за исключением проекта KISS, авторам приходилось тратить существенное количество сил и времени на рутинные технические моменты, вызванные той самой «индивидуальностью» конкретного набора данных. В рамках же данной работы нами проведена ретроспективная верификация и реорганизация метаданных, создана стройная система работы с исходными данными. Такое структурирование результатов многолетих самоотверженных экспедиций является необходимым условием для достижения более глубокого понимания изучаемых процессов, например путем вдумчивого привлечения машинного обучения, как это уже делают наши зарубежные коллеги [15]. В отличие от глобальной тектонической сейсмологии с обширными каталогами событий и открытым доступом к волновым формам, сейсмология вулканическая обычно ограничена конкретной магматической системой. В этом моменте проявляется уникальность данных – возможность объединения информации о сейсмичности различных вулканов в общем контексте.

Финансирование: Текущая работа по систематизации метаданных выполнена в рамках проектов: FWZZ-2022-0017 и FSUS-2022-0019. Экспедиции были поддержаны следующими проектами РНФ:

20-17-00075, 22-27-00374, 22-27-00215, 14-17-00430, 14-47-00002; РФФИ: 20-15-50094 (Экспансия), 19-05-00204-а, 18-55-52003 МНТ, 16-05-00477; а также мега-грантом № 075-15-2021-628.

Список литературы:

1. Abramenkov S., Shapiro N.M., Koulakov I., Abkadyrov I. Clustering of long-period earthquakes beneath Gorely volcano (Kamchatka) during a degassing episode in 2013. Geosciences (Switzerland). 2020. V. 10. №. 6. P. 230. https://doi.org/10.3390/geosciences10060230
2. Berezhnev Y., Belovezhets N., Shapiro N., Koulakov I. Temporal changes of seismic velocities below Bezymianny volcano prior to its explosive eruption on 20.12.2017. Journal of Volcanology and Geothermal Research. 2023. V. 433. P. 107735. https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2022.107735
3. Bushenkova N., Koulakov I., Bergal-Kuvikas O., Shapiro N., Gordeev E.I., Chebrov D.V., Abkadyrov I., Jakovlev A., Stupina T., Novgorodova A., Droznina S., Huang H.-H. Connections between arc volcanoes in Central Kamchatka and the subducting slab inferred from local earthquake seismic tomography. Journal of Volcanology and Geothermal Research. 2023. V. 435. P. 107768. https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2023.107768
4. Egorushkin I., Koulakov I., Jakovlev A., Huang H.-H., Gordeev E.I., Abkadyrov I., Chebrov D. Crustal structure beneath Central Kamchatka inferred from ambient noise tomography. Journal of Volcanology and Geothermal Research. 2024. V. 449. P. 108070. https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2024.108070
5. Galina N.A., Shapiro N.M. Source mechanisms of deep long period earthquakes beneath the Klyuchevskoy volcanic group (Kamchatka, Russia) inferred from S-to-P amplitude ratios. Journal of Volcanology and Geothermal Research. 2024. V. 448. P. 108049. https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2024.108049
6. Green R.G., Sens-Schönfelder C., Shapiro N., Koulakov I., Tilmann F., Dreiling J., Luehr B., Jakovlev A., Abkadyrov I., Droznin D., Gordeev E. Magmatic and Sedimentary Structure beneath the Klyuchevskoy Volcanic Group, Kamchatka, From Ambient Noise Tomography. Journal of Geophysical Research: Solid Earth. 2020. V. 125. №. 3. P. e2019JB018900. https://doi.org/10.1029/2019JB018900
7. Journeau C., Shapiro N.M., Seydoux L., Soubestre J., Koulakov I.Y., Jakovlev A.V., Abkadyrov I., Gordeev E.I., Chebrov D.V., Droznin D.V., Sens-Schönfelder C., Luehr B.G., Tong F., Farge G., Jaupart C. Seismic tremor reveals active trans-crustal magmatic system beneath Kamchatka volcanoes. Science Advances. 2022. V. 8. №. 5. P. eabj1571. https://doi.org/10.1126/sciadv.abj1571
8. Kitsura E., Koulakov I., Girona T., Jakovlev A., Abkadyrov I., Bushenkova N., Chebrov D., Izbekov P., Qaysi S.I., Alajmi M.S. Seismic structure beneath the Avacha and Koryaksky volcanoes in Kamchatka based on the data of permanent and temporary networks. Journal of Volcanology and Geothermal Research. 2023. V. 443. P. 107937. https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2023.107937
9. Komzeleva V., Koulakov I., Rychagov S.N., Gordeev E.I., Abkadyrov I., Stupina T., Novgorodova A. Sources of the eruption of Kambalny volcano (Southern Kamchatka) in March 2017 inferred from local earthquake tomography. Journal of Volcanology and Geothermal Research. 2021. V. 420. P. 107392. https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2021.107392
10. Koulakov I., Jaxybulatov K., Shapiro N.M., Abkadyrov I., Deev E.V., Jakovlev A.V., Kuznetsov P., Gordeev E.I., Chebrov V.N. Asymmetric caldera-related structures in the area of the Avacha group of volcanoes in Kamchatka as revealed by ambient noise tomography and deep seismic sounding. Journal of Volcanology and Geothermal Research. 2014. V. 285. P. 36-46. https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2014.08.012
11. Koulakov I., Shapiro N.M., Sens-Schönfelder C, Luehr B.G., Gordeev E.I., Jakovlev A., Abkadyrov I., Chebrov D.V., Bushenkova N., Droznina S.Y., Senyukov S.L., Novgorodova A., Stupina T. Mantle and Crustal Sources of Magmatic Activity of Klyuchevskoy and Surrounding Volcanoes in Kamchatka Inferred From Earthquake Tomography. Journal of Geophysical Research: Solid Earth. 2020. V. 125. №. 10. P. e2020JB020097. https://doi.org/10.1029/2020JB020097
12. Koulakov I., Plechov P., Mania R., Walter T.R., Smirnov S.Z., Abkadyrov I., Jakovlev A., Davydova V., Senyukov S., Bushenkova N., Novgorodova A., Stupina T., Droznina S.Y. Anatomy of the Bezymianny volcano merely before an explosive eruption on 20.12.2017. Scientific Reports. 2021. V. 11. P. 1758. https://doi.org/10.1038/s41598-021-81498-9
13. Mania R., Cesca S., Walter T.R., Koulakov I., Senyukov S.L. Inflating Shallow Plumbing System of Bezymianny Volcano, Kamchatka, Studied by InSAR and Seismicity Data Prior to the 20 December 2017 Eruption. Frontiers in Earth Science. 2021. V. 9. P. 765668. https://doi.org/10.3389/feart.2021.765668
14. Shapiro N. M., Sens-Schönfelder C., Lühr B.G., Weber M., Abkadyrov I., Gordeev E. I., Koulakov I., Jakovlev A., Kugaenko Y. A., Saltykov V. A. Klyuchevskoy volcanic group experiment (KISS). 2015. GFZ Data Services: Seismic Network. http://doi.org/10.14470/K47560642124
15. Steinmann R., Seydoux L., Journeau C., Shapiro N.M., Campillo M. Machine learning analysis of seismograms reveals a continuous plumbing system evolution beneath the Klyuchevskoy volcano in Kamchatka, Russia. Journal of Geophysical Research: Solid Earth. 2024. V. 129. №. 3. P. e2023JB027167. https://doi.org/10.1029/2023JB027167

ПРИМЕР ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОЛУВОЗДУШНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ЗОНДИРОВАНИЯ СТАНОВЛЕНИЕМ ПОЛЯ НА ХИАГДИНСКОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ

Башкеев А.С., Паршин А.В.*

Сибирская школа геонаук, Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия
*e-mail: abashkeev@geo.istu.edu

Аннотация. В работе представлены результаты применения полувоздушной (semi-airborne) съемки методом переходных процессов (МПП) с использованием беспилотного летательного аппарата (БПЛА) на объекте палеодолинного типа на примере Хиагдинского уранового месторождения. Объекты подобного типа хороши в качестве эталонных объектов, т.к. характеризуются низкими удельными электрическими сопротивлениями на фоне вмещающих пород. В работе представлен геоэлектрический разрез сопротивлений, выполненный в рамках одномерных моделей, по одному из профилей.

Ключевые слова: зондирование становлением поля, метод переходных процессов, палеодолина, БПЛА

AN EXAMPLE OF USE SEMI-AIRBORNE TIME-DOMAIN ELECTROMAGNETIC SOUNDING TECHNOLOGY AT THE HIAGDA FIELD

Bashkeev A.S., Parshin A.V.*
Siberian School of Geoscience, Irkutsk National Research Technical University, Novosibirsk, Russia
*e-mail: abashkeev@geo.istu.edu

Abstract. The paper presents the result of using semi-airborne transient electromagnetic survey using an unmanned aerial vehicle (UAV) at a palleovalley-type object using the example of the Hiagda uranium deposit. This type objects are good as reference objects, because characterized by low electrical resistivities compared to the surrounding rocks. The paper presents a geoelectrical resistivity section (1D inversion), along one of the profile lines.

Keywords: time-domain electromagnetic sounding, transient electromagnetic method, paleovalley, UAV

Использование беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в качестве носителей уже плотно вошли геологоразведочную отрасль. Использование БПЛА позволяет выполнять магнитную и гамма-съемку с намного большей скоростью и эффективностью в сравнении с традиционными пешеходными методами [5, 7]. В последние года бурно развивающимся направлением стала электроразведка с использованием БПЛА [1, 2, 4, 6, 8, 9], но работы представлены в основном в частотной области.

Технология БПЛА-МПП – это электроразведочная технология, использующая измерения вертикальной магнитной компоненты во времени ($\partial B_z/\partial t$) с помощью рамки, буксируемого беспилотным летательным аппаратом, поле которого возбуждается заземленной горизонтальной электрической линией. В качестве приемника используется индуктивный датчик ПДИ-50 [11], эквивалентный по площади одновитковой квадратной рамке со сторонами 50 м. Описание аппаратуры, используемой нами в рамках данной технологии представлено в статьях [2, 6]. Данная технология была использована в опытно-методических работах на урановом месторождении Хиагда.

Хиагдинское месторождение относится к экзогенному генетическому классу, инфильтрационному палерусловому типу [10]. Урановое оруденение приурочено к палеодолинным структурам, врезанным в кристаллический фундамент. Оно тяготеет к базальным частям разреза миоценовых отложений, образует линейно-ориентированные залежи, протяженностью 800–5900 м при ширине 20–300 м и залегает на глубинах 60-240 м от поверхности. Иногда оруденение встречается в коре выветривания по границам кристаллического фундамента. В работе [12] подробно описано формирование уранового оруденения данного типа, а также указано усредненное содержание урана – 0,05 %. Рудовмещающие породы характеризуются повышенным содержанием сульфидов железа.

Опытно-методические работы проводились в 2021 году. На данном участке имеются данные по буровым работам, поэтому положение интересующей нас палеодолины и продуктивность руд известно. Длина линии АВ составляла 2,8 км, сила тока в линии АВ – 1.5 А. В линию АВ подавалась последовательность разнополярных прямоугольных импульсов с паузой (РПИ-2) с длительностью 10 мс импульс, 10 мс – пауза. За секунду измерялось 50 кривых зондирований становлением поля (ЗС). Скорость полета БПЛА составляла 8 м/с. Высота датчика над дневной поверхностью ~40 м. Кривые зондирования становлением поля осреднялись с шагом 25 м.

Предварительно была решена прямая задача и выяснено, что при силе тока 1,5 А поляризационные эффекты технологией БПЛА-МПП не регистрируются, т.к. амплитуды сигналов вызванной поляризации (ВП) ниже уровня шумов. Для уверенной регистрации эффектов ВП необходимо было увеличить силу тока на два порядка, что для заземленной линии практически невыполнимо.

Решение обратной задачи в рамках одномерных моделей проводилось в программе одномерной инверсии Mars1D. Обратные задачи рассчитывались на каждой точке зондирования. В качестве начальной модели использовалась априорная информация и данные по буровым работам. Минимизация функционала невязки проводилась с помощью алгоритма Брента (другое название PRincipe AXIS (PRAXIS)), основанном на методе адаптивного координатного спуска [3]. В качестве функции невязки использовалась функция Root Mean Square Relative Error (RMSRE). Невязки в среднем составляли 4–7 % (Рисунок 1а). По разрезу (Рисунок 1б) видно, что эффузивная толща базальтов имеет УЭС на уровне 700-1500 Ом·м и не расчленяется на отдельные слои (прослои туфов, межфракционных осадков и линз многолетнемерзлых пород), которые известны по данным бурения. Палеодолина выделяется проводящей областью со средними УЭС около 40-60 Ом·м на глубине 120-130 м, что не противоречит априорной информации. Границы проводящей области по профилю хорошо совпадают с положением палеодолины справа по разрезу, но слева простирается дальше, упираясь в предполагаемую разломную зону.

Инверсия данных БПЛА-МПП в рамках одномерных моделей с имеющимися в распоряжении программными средствами и даже с известной геологической обстановкой занимает довольно длительное время в сравнении с получением данных. За один летный рабочий день бригада из трех человек получает более 1300 точек ЗС, поэтому требуются более производительные методы интерпретации. Например, метод Sτ (плавающей плоскости) [2], позволяющий довольно быстро получать трансформанты кривых ЗС.

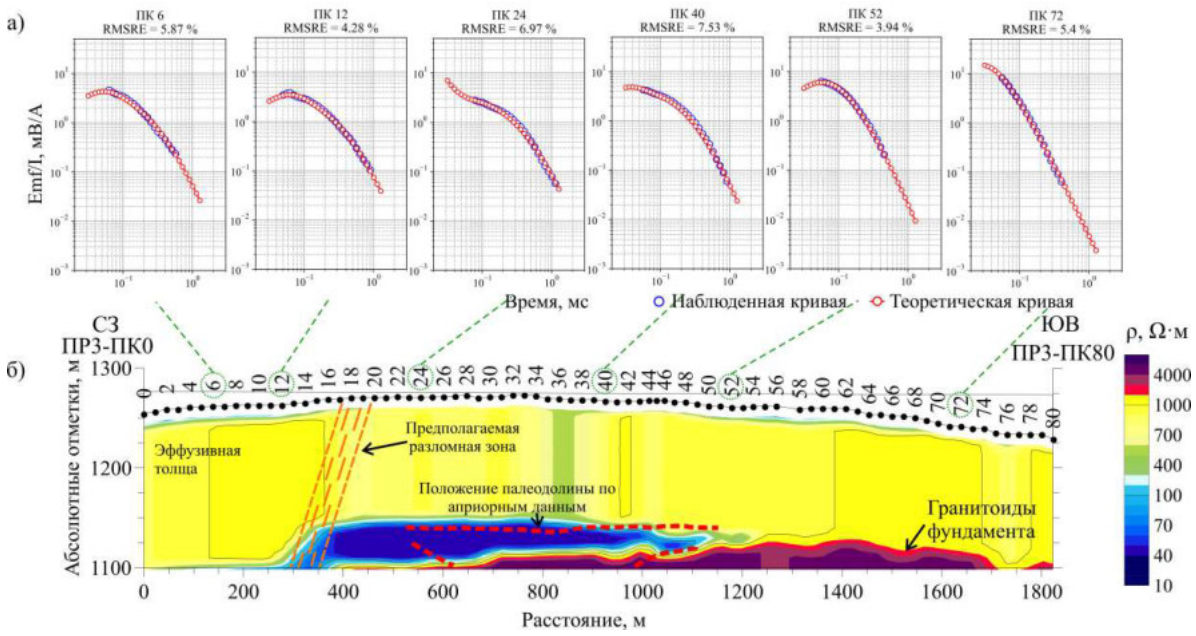

Рисунок 1. Результаты одномерной инверсии данных БПЛА-МПП. а) Наблюденные и теоретические кривые с рассчитанной невязкой (RMSRE); б) разрез удельного электрического сопротивления

Список литературы:

1. Becken M., Nittinger C.G., Smirnova M., Steuer A., Martin T., Petersen H., et al. DESMEX: A novel system development for semi-airborne electromagnetic exploration. Geophysics. 2020. Vol. 85. № 6. P. 253–267.
2. Davidenko Y, Hallbauer-Zadorozhnaya V, Bashkeev A, Parshin A. Semi-Airborne UAV-TEM System Data Inversion with S-Plane Method—Case Study over Lake Baikal. Remote Sensing. 2023. Vol. 15 № 22. 5310.
3. Gegenfurtner K.R. PRAXIS: Brent's algorithm for function minimization. Behavior Research Methods, Instruments, & Computers. 1992. Vol. 24. P. 560–564.
4. Kotowski P.O, Becken M., Thiede A., Schmidt V., Schmalzl J., Ueding S., et al. Evaluation of a Semi-Airborne Electromagnetic Survey Based on a Multicopter Aircraft System. Geosciences. 2022. Vol. 12. № 1. 26.
5. Parshin A, Morozov V, Snegirev N, Valkova E, Shikalenko F. Advantages of Gamma-Radiometric and Spectrometric Low-Altitude Geophysical Surveys by Unmanned Aerial Systems with Small Scintillation Detectors. Applied Sciences. 2021. V. 11. № 5. 2247.
6. Parshin A., Bashkeev A., Davidenko Y., Persova M., Iakovlev S., Bukhalov S., et al. Lightweight Unmanned Aerial System for Time-Domain Electromagnetic Prospecting—The Next Stage in Applied UAV-Geophysics. Applied Sciences. 2021. Vol. 11. № 5. 2060.
7. Parshin A.V., Morozov V.A., Blinov A.V., Kosterev A.N., Budyak A.E. Low-altitude geophysical magnetic prospecting based on multirotor UAV as a promising replacement for traditional ground survey. Geo-spatial Information Science. 2018. Vol. 21. №1. P. 67-74.
8. Smit J.P., Stettler E.H., Price A.B.W., Schaefer M.O., Schodlok M.C. Zhang R. Use of drones in acquiring B-feld total-feld electromagnetic data for mineral exploration. Mineral Economics. 2022. Vol. 35. P. 455-465.
9. Vilhelmsen T.B., Døssing A. Drone-towed controlled-source electromagnetic (CSEM) system for near-surface geophysical prospecting: on instrument noise, temperature drift, transmission frequency, and survey set-up. Geoscientific Instrumentation, Methods and Data Systems. 2022. Vol. 11. № 2. P. 435–450.
10. Коноплев А.Д., Коротков В.В., Костиков А.Т., Машковцев Г.А., Мигута А.К., Печенкин И.Г., Столяров А.С., Халдей А.Е., Халезов А.Б., Шумилин М.В., Щеточкин В.Н. Геолого-промышленные типы урановых месторождений стран СНГ. Москва. ВИМС. 2008. 72 с.
11. Захаркин А.К. Компактная приемная петля для импульсной электроразведки. Российский геофизический журнал. 1998. № 9–10. С. 95–99.
12. Тарханова Г.А., Прохоров Д.А. Генетические особенности формирования уранового оруденения "витимского" типа. Разведка и охрана недр. 2017. № 11. С. 47–59.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДАННЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ЗОНДИРОВАНИЙ ДЛЯ ВЫДЕЛЕНИЯ ЗОН МЕДНО-МОЛИБДЕНОВОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИЗМЕРЕНИЙ В ЮЖНОМ КАЗАХСТАНЕ

*Белова А.Ю.**, *Трофимов И.В.*, *Бирюков П.Г.*

ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет», Иркутск, Россия
*e-mail: abelova@geo.istu.edu

Аннотация. В работе представлены результаты последовательного решения обратной задачи в рамках одномерных и трехмерных поляризующихся моделей. Выполнена интерпретация полученных результатов с целью обнаружения и картирования на глубине до 400 м зон медно-молибденовой минерализации. Электромагнитная съёмка выполнена методом электромагнитного зондирования и вызванной поляризации (ЭМЗ-ВП) на одном из участков в Южном Казахстане.

Ключевые слова: электромагнитные зондирования, вызванная поляризация, медно-молибденовое рудопроявление

NUMERICAL MODELLING OF ELECTROMAGNETIC SOUNDING DATA TO IDENTIFY ZONES OF COPPER-MOLYBDENUM MINERALISATION BASED ON SURVEY RESULTS IN SOUTHERN KAZAKHSTAN

Belova A.Y., Trofimov I.V., Biryukov P.G.

Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia, abelova@geo.istu.edu

Abstract. The paper presents the results of sequential solution of the inverse problem within the framework of one-dimensional and three-dimensional polarization models. Interpretation of the obtained results was performed in order to detect and map zones of copper-molybdenum mineralization at a depth of up to 400 m. The electromagnetic survey was carried out by the method of electromagnetic sounding and induced polarization (EMS-IP) at one of the sites in South Kazakhstan.

Keywords: electromagnetic soundings, induced polarization, copper-molybdenum ore occurrence

В ходе исследования был проанализирован участок, расположенный в Южном Казахстане. На изучаемой территории в пределах расчлененной гряды наблюдаются активные гидротермально-метасоматические процессы в плутонических интрузивных образованиях раннего и среднекаменноугольного возраста, относящиеся к области развития вулканогенно-осадочных отложений, сложенных преимущественно гранодиоритами, гранитами и гранит-порфирами, туфопесчаниками, туфолавами.

По результатам анализа фондовых материалов известно, что ранее на исследуемом участке проводились детальные поисковые работы на обнаружение медно-молибденового рудопроявления, однако, из-за недостаточной геофизической изученности района не удалось дать точную оценку. Проблема заключалась в низкой чувствительности доступной аппаратуры и высокой погрешности измерений, что затруднило количественную интерпретацию данных. По мнению специалистов, участок до сих пор считается перспективным на обнаружение сплошной и вкрапленной медно-молибденовой минерализации на глубине до 400 м и более, из чего следует применение более тщательного

и эффективного геофизического изучения для подтверждения достоверности найденных ранее аномалий и поиска новых.

Таким образом, была поставлена следующая цель: выделить и подтвердить достоверность ранее найденных аномалий вызванной поляризации (ВП), предположительно, связанных со скрытыми на глубине рудоносными образованиями, содержащими сульфидную минерализацию, методом электромагнитного зондирования и вызванной поляризации (ЭМЗ-ВП) [1].

В процессе выполнения работ по обнаружению и картированию скрытых сульфидных оруденений в пределах одного из медно-молибденового рудопроявления, расположенного на территории Южного Казахстана, были собраны данные по разведочным скважинам, во многих, из которых отмечены интервалы сульфидизации, а также проанализированы результаты предшествующих поисковых геолого-геофизических работ.

При разведке медно-молибденовых месторождений или рудопроявлений чаще всего используются электроразведочные методы в модификации ВП, например, ВЭЗ-ВП, СГ-ВП. В рамках данного исследования выполнялась электромагнитная съёмка метод ЭМЗ-ВП для детальных площадных работ. Всего на 13 профилях с шагом 50 м было записано 444 точки зондирования, общим объемом 22.2 погонных километра. Данный метод был выбран из-за сочетания классических методов на постоянном токе, измеряющих кажущиеся электрические параметры, так и методы становления поля. Это дает возможность более детально изучить литологическое строение исследуемого участка и отследить поляризационные процессы в породах, имеющих сульфидную минерализацию. Кроме того, для индукционных токов будут прозрачны высокоомные интрузивные тела, которые ограничивают область применения методов постоянного тока.

Далее в рамках одномерных и трехмерных поляризующихся моделей были последовательно решены обратные задачи для электромагнитных зондирований. При одномерном моделировании, осуществляемом в программе Mars1D, расчеты велись путём использования комплексного значения удельного электрического сопротивления (УЭС), зависящего от частоты. Для описания частотной зависимости УЭС использовалась формула Cole-Cole, применение которой позволяет описать большинство экспериментальных дисперсионных зависимостей в горных породах.

Результаты решения обратной задачи в рамках одномерной модели использовались как начальное приближение численного моделирования нестационарных электрических полей для контролируемых источников в рамках трехмерных моделей с учетом процессов вызванной поляризации в программном комплекте FIEM_3D. Программная система FIEM_3D основана на конечно-элементном трёхмерном моделировании геоэлектромагнитных полей с учетом разномасштабных, контрастных и, при необходимости, криволинейных (рельеф дневной поверхности) структурных частей геоэлектрической модели [2] и геометрической трехмерной инверсии [3, 4], которая в ходе решения трехмерной обратной задачи позволяет определять геоэлектрические параметры (сопротивление, поляризуемость) структурных частей геоэлектрической модели и размеры их размеры. Методика трехмерной инверсии базируется на использовании блочных структур, принцип работы с которыми описан в [4]. Блочные структуры задавались с учетом системы наблюдений. В ходе инверсии для каждого из блоков определялись сопротивление, поляризуемость и границы блоков по X, Y и Z.

По результатам трехмерной инверсии на одном из профилей электромагнитной съёмки методом ЭМЗ-ВП (Рисунок 3) были выделены объекты, предположительно

содержащие медную минерализацию, в пределах пикетов 16-18, 24-36 на интервале абсолютных отметок 600-775 м с повышенными значениями поляризуемости, изменяющимися от 12 до 30 %, и изменением значений УЭС в широких пределах от 8 до 5000 Ом·м. По данным ранее выполненной геологической и лито-геохимической съемки известно, что в пределах исследуемого профиля залегают туфы смешанного состава практически неизмененные, либо ожелезненные, и присутствуют ореолы рассеяния меди с концентрацией от 0.005 до 0.04 %.

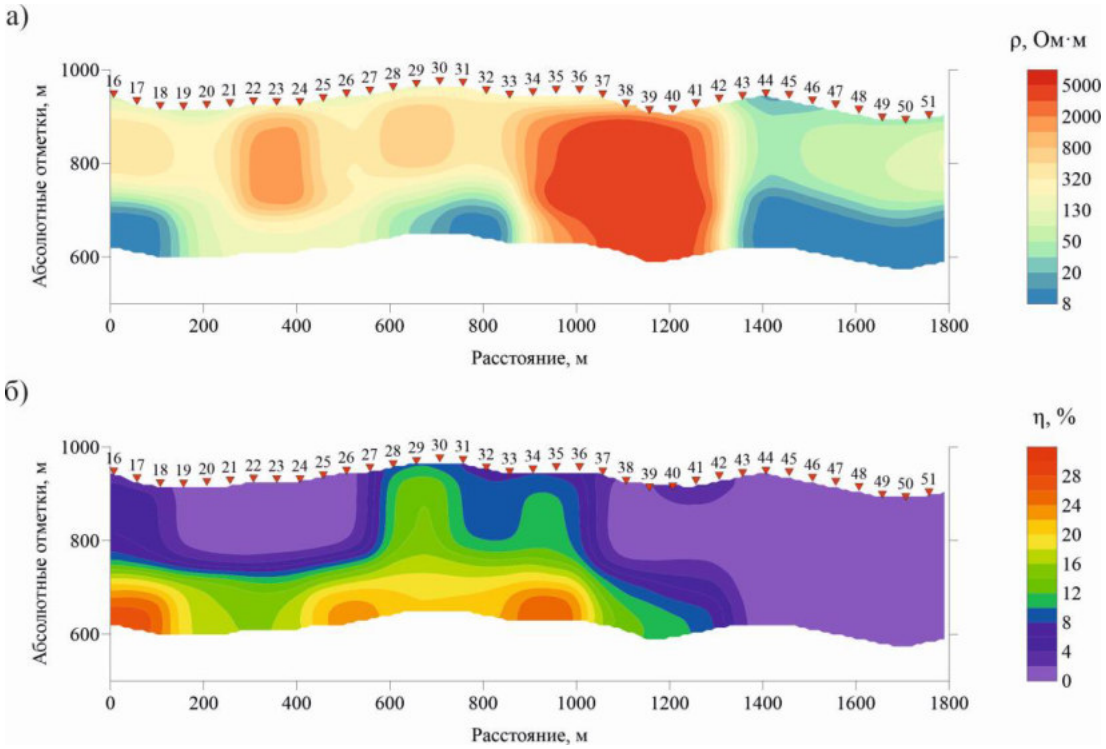

Рисунок 3. Разрезы по удельному электрическому сопротивлению (а) и поляризуемости (б), полученные в результате решения обратной трехмерной задачи.

Таким образом результаты решения обратных задач по данным ЭМЗ-ВП, выполненные в рамках одномерных и трехмерных поляризующихся моделей, подтвердили ранее обнаруженные аномалии ВП. Эти участки характеризуются как низкими, так и высокими значениями УЭС, что объясняется наличием сплошной и вкрапленной сульфидизации.

Список литературы:

1. Давыденко Ю.А., Пестерев И.Ю., Яковлев С.В., Башкеев А.С. Способ геоэлектроразведки и устройство для его осуществления. Патент России № 2020113202, RU 2 752 557 29.07.2021. Бюл. №22.
2. Persova M.G., Soloveichik Y.G., Vagin D.V., Kiselev D.S., Koshkina Y.I. Finite element solution to 3-D airborne time-domain electromagnetic problems in complex geological media using non-conforming hexahedral meshes. Journal of Applied Geophysics. 2020. V. 172. 103911.
3. Persova M.G., Soloveichik Y.G., Trigubovich G.M., Tokareva M.G. Methods and algorithms for reconstructing three-dimensional distributions of electric conductivity and polarization in the medium by finite-element 3D modeling using the data of electromagnetic sounding. Izvestiya. Physics of the Solid Earth. 2013. V. 49. № 3. P. 329-343.
4. Persova M.G., Soloveichik Y.G., Vagin D.V., Kiselev D.S., Grif A.M., Koshkina Y.I., Sivenkova A.P. Three-dimensional inversion of airborne data with applications for detecting elongated subvertical bodies overlapped by an inhomogeneous conductive layer with topography. Geophysical Prospecting. 2020. V. 68. № 7. P. 2217-2253.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКИ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ СУБАКВАЛЬНОГО РЕЛЬЕФА В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ ОЗЕРА БАЙКАЛ

Бирюков П.Г.[1], Шкиря М.С.[2], Шойхонова Т.С.[1], Трофимов И.В[1], Лазурченко А.В.[1]*

[1]Иркутский Национальный Исследовательский Технический Университет, Иркутск, Россия
[2]ООО «Геоэлектрика», Новосибирск, Россия
*e-mail: pbiriukov@geo.istu.edu

Аннотация. В статье рассматривается применение электроразведочных методов для изучения субаквального рельефа в прибрежной зоне озера Байкал. Предложен комплекс методов электроразведки для сопоставления геофизических данных, полученных в ходе работ 2021-2023 гг., с геологической информацией исследуемого участка. На льду озера Байкал вблизи поселка Большое Голоустное проводились работы четырьмя электроразведочными комплексами: электротомография, БИКС, ВЕГА и БПЛА-МПП. В результате проведенных опытно-методических работ был выделен контур субаквального рельефа дна озера Байкал и высокоомные объекты фундамента под проводящими отложениями.

Ключевые слова: Байкал, электроразведка, субаквальный рельеф, электротомография, электропрофилирование

APPLICATION OF ELECTRICAL EXPLORATION METHODS TO STUDY SUBAQUATIC RELIEF IN THE COASTAL ZONE OF LAKE BAIKAL

Biryukov P.G.[1], Shkirya M.S.[2], Shoykhonova T.S[1], Trofimov I.V.[1], Lazurchenko A.V.[1]

[1] Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia, pbiriukov@geo.istu.edu
[2]LLC "Geoelectrica", Novosibirsk, Russia

Abstract. The article deals with the application of electrical exploration methods to study subaquatic relief in the coastal zone of Lake Baikal. A set of electrospecting methods is proposed for comparison of geophysical data obtained in the course of works in 2021-2023 with geological information of the investigated area. On the ice of Lake Baikal near the village of Bolshoye Goloustnoye, work was carried out with four electrical survey complexes: ERT, NCARM, VEGA and UAV-TEM. As a result of experimental and methodological works, the contour of subaquatic relief of the Lake Baikal bottom and high resistivity objects of the basement under conductive sediments were identified.

Keywords: Baikal, electrical prospecting, subaquatic relief, electrical tomography, electrical profiling

Одним из предметов исследований на Байкале является дно озера, имеющее ярко выраженный рельеф. На данный момент не существует единой гипотезы формирования субаквального рельефа, что позволяет продолжить исследования, направленные на определение генезиса дна Байкала. Один из таких примеров находится в районе поселка Большое Голоустное, где подтвержден аномальный рельеф под водой, происхождение которого описывается двумя фундаментальными теориями. По одной из них предполагается, что прибрежная зона вблизи поселка является древней дельтой реки Голоустная [2]. Согласно второй теории – это древний хребет, опущенный под воду в результате схода гигантского оползня [1].

В 2021-2023 гг. для изучения субаквального рельефа Байкала в прибрежной зоне вблизи поселка Большое Голоустное были проведены ОМР такими электроразведочными

методами, как электропрофилирование, электротомография (ЭТ) и БПЛА-МПП (Рисунок 1).

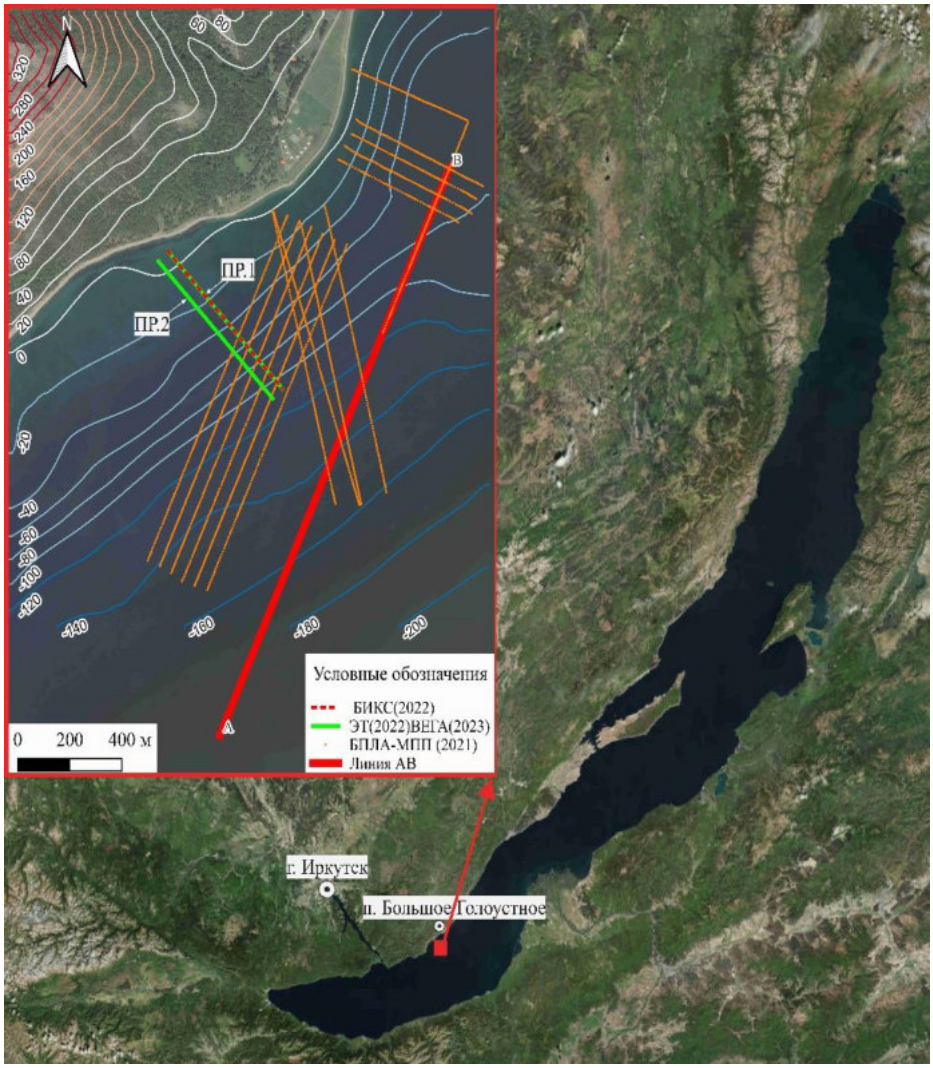

Рисунок 1. Схема расположения участка работ

Цель работы заключалась в том, чтобы сопоставить геофизические данные, полученные в ходе работ 2021-2023 гг., с геологической информацией исследуемого участка, основываясь на две существующие гипотезы о формировании субаквального рельефа.

На льду озера Байкал вблизи поселка Большое Голоустное проводились работы четырьмя электроразведочными комплексами. Для изучения верхней части разреза на глубину до 30 метров применялись индуктивные методы профилирования. Геоэлектрический разрез на глубину до 350 метров изучался с помощью электротомографии и технологии БПЛА-МПП.

Измерения методами электропрофилирования выполнялись бесконтактным измерителем кажущегося сопротивления БИКС и электроразведочной станцией ВЕГА. Обе методики регистрируют сигнал индуктивным способом. Измерения БИКС производились по первому профилю длиной 640 метров с шагом по профилю 10 метров. Расстояние между центрами приемников и генератором, составляло 30, 40, 50 и 60 метров соответственно. Регистрация сигнала станцией ВЕГА производилась по первому и второму профилям

общей длиной 1280 метров с шагом по профилю 10 метров. Расстояние между генератором и центром измерительных блоков составляло 15, 30, 45 и 60 метров. Методики БИКС и ВЕГА отличаются количеством одновременно пишущих приемников. Исходя из этого проводилось сравнение полученных данных и выбор оптимальной методики проведения съемки.

Метод электротомографии был реализован с использованием аппаратуры «Скала-64». Измерения выполнялись на двух профилях с шагом по профилю 10 метров. Расстояние между профилями составляло 50 метров. Для расчета параметра УЭС среды использовалась трёхэлектродная (прямая и обратная) измерительная установка.

Технология БПЛА-МПП подразумевает использование горизонтальной электрической линии в качестве питающей установки и незаземленную рамку (петлю) в качестве приемной [3]. Гексакоптер буксирует измерительную систему, состоящую из микрокомпьютера с системой GNSS-привязки, 2-х канального регистратора Mars с частотой дискретизации 100 кГц, регистрирующего переходные процессы, и индукционного датчика – многовитковой петли. В данном случае датчик находился на расстоянии 6 м от гексакоптера на высоте 16 м от поверхности льда.

По результатам проведенных работ была выполнена двумерная инверсия данных электротомографии и данных, полученных аппаратными комплексами ВЕГА и БИКС. Также была выполнена трехмерная инверсия данных ЭТ и БПЛА-МПП.

В приповерхностном слое выделяются высокоомные объекты порядка 400-500 Ом·м. Вероятно, они соответствуют блокам коренных пород, обрушившихся либо поднявшихся в результате древних катастрофических событий. В пользу обрушения говорит тот факт, что под высокоомными блоками наблюдаются низкоомные озерные отложения, которые, предположительно, возникли в результате схода оползня и приноса за собой четвертичных образований с материка.

В результате проведенных опытно-методических работ был выделен контур субаквального рельефа дна озера Байкал на участке работ вблизи поселка Большое Голоустное. Выявлено, что электропрофилирование аппаратными комплексами БИКС и ВЕГА в комплексе с ЭТ позволяют уверенно локализовать линию современного уровня дна Байкала в прибрежной зоне на глубину до 30 метров. Распределение УЭС по данным электротомографии характеризуется как мозаичное. В результате 3D моделирования данных БПЛА-МПП, выполненного с учетом батиметрии, было показано, что под водной толщей в проводящих осадках на глубину не менее 200 м выделяются высокоомные объекты, которые вероятно являются коренными породами фундамента. А также, возможно, они являются основанием палеорельефа дна Байкала. Данные аномалии были заверены по данным электротомографии.

Список литературы:

1. Ivanov A.V., Demonterova E.I., Reznitskii L.Z., Barash I.G., Arzhannikov S.G., Arzhannikova A.V., Hung Ch.-H., Chung S.-L., lizuka Y. Catastrophic outburst and tsunami flooding of Lake Baikal: U–Pb detrital zircon provenance study of the Palaeo-Manzurka megaflood sediments. International Geology Review.2016. V. 58. №. 14. P. 1818-1830.
2. Khlystov O.M., Nishio S., Manakov A.Y., Sugiyama H., Khabuev A.V., Belousov O.V., Grachev M.A. The experience of mapping of Baikal subsurface gas hydrates and gas recovery. Russian Geology and Geophysics. 2014. V.55. P. 1122-1129.
3. Parshin A.V., Bashkeev A.S., Davidenko Y.A., Persova M.G., Iakovlev S.V., Bukhalov S.V., Grebenkin N.A., Tokareva M.G. Lightweight Unmanned Aerial System for Time-Domain Electromagnetic Prospecting – The Next Stage in Applied UAV Geophysics. Applied Sciences. 2021. №11(5). P. 2060.

МЕТОД AVO ДЛЯ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ТРАНСВЕРСАЛЬНО-АНИЗОТРОПНЫХ СРЕД

Бурковский А.Ю., Чеверда В.А.*

Институт математики им. С.Л. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия
*e-mail: a.burkovskii@g.nsu.ru

Аннотация. Данная работа посвящена исследованию чувствительности характеристик упругих сейсмических волн к вариациям параметров трансверсально-анизотропных сред, а также оценке возможности восстановления параметров среды по наблюдённым данным. Для решения поставленных в работе задач в программном комплексе «MATLAB» был проведён AVO-анализ в широком диапазоне углов падения продольной волны на отражающую границу, осуществлён численный эксперимент по восстановлению упругих параметров нижнего полупространства и глубины залегания отражающей границы по известным параметрам верхнего полупространства по методу Нелдера-Мида. В окрестностях точки минимума функционала невязки путём визуализации его SVD-разложения получены направления наибольшей и наименьшей чувствительности сейсмических данных к вариациям параметров трансверсально-анизотропных сред.

Ключевые слова: сейсморазведка, анизотропия, VTI, AVO, оценка чувствительности сейсмических данных, восстановление упругих параметров, метод Нелдера-Мида

AVO-METHOD IN APPLICATION FOR TRANSVERSALY ISOTROPIC MEDIA

Burkovskii A.U., Cheverda V.A.*

S.L. Sobolev Institute of Mathematics SB RAS, Novosibirsk, Russia, a.burkovskii@g.nsu.ru

Abstract. This work is devoted to the study of the sensitivity of the characteristics of elastic seismic waves to variations in the parameters of transversaly isotropic media, as well as an estimate of possibility of restoring parameters of media from observed data. To solve the tasks set in the work, AVO analysis was carried out in the MATLAB software package in a wide range of angles of incidence of the longitudinal wave at reflecting boundary, a numerical experiment was carried out to restore elastic parameters of the lower half-space and depth of the reflecting boundary as per known parameters of the upper half-space by the Nelder-Mead method. In the vicinity the minimum points of the residual functional by visualizing its SVD decomposition are obtained directions of the highest and lowest sensitivity of seismic data to variations of parameters of transversaly isotropic media.

Keywords: seismic exploration, anisotropy, VTI, AVO, seismic data sensitivity assessment, elastic parameters recovery, the Nelder–Mead method

В работе [2], были приведены результаты применения AVO-анализа к среде, состоящей из двух изотропных полупространств и границы раздела.

Данная работа посвящена анализу зависимостей коэффицентов отражения [1] продольной и преломления квазипродольной волн, скоростей прохождения квазипродольной и квазипоперечной волн от изменения угла падения продольной волны на границу раздела.

В программном комплексе «MATLAB» была воссоздана система линейных алгебраических уравнений Цёппритца [3] для нахождения коэффициентов отражения/преломления на границе изотропного и трансверсально-анизотропного полупространств. Был осуществлён численный эксперимент по нахождению данных коэффициентов для диапазона значений угла падения плоской продольной волны $0 \leq \theta \leq 45°$. Верхнее полупространство задаётся постоянными значениями скоростей распространения

плоских волн v_{P1} = 2000 м/с, v_{S1} = 2000/√3 м/с, нижнее – переменными значениями скоростей распространения квазипродольной и квазипоперечной волн. Плотность верхнего полупространства ρ_1 = 2000 кг/м^3, нижнего – ρ_2 = 3000 кг/м^3. При расчётах использовались комбинации параметров Томсена для основных осадочных горных пород: δ = 0,01, ε = 0,03 (что согласно [4] соответствует анизотропии карбонатов); δ = 0,05, ε = 0,07 (песчаники); δ = 0,03, ε = 0,21 (глины).

Далее для оценки чувствительности функционала невязки коэффициентов отражения в заданном диапазоне изменения четырёх параметров (v_{P2}, v_{S2}, δ, ε) были построены двухмерные срезы функционала невязки (имеющего форму трёхосного эллипсоида). Наибольшая чувствительность обнаружена по ε и v_{S2}.

После чего была последовательно решена задача оптимизации при варьируемых параметрах δ, ε с первым приближением 1,1 от истинных значений (для песчаников) и v_{P2}, v_{S2}, ρ_2 принятыми в первом приближении равными 1,1 от v_{P1}, v_{S1}, ρ_1 соответственно. Невязки после оптимизации составили 0,6662 % для δ и 2,7408 % для ε.

Таким образом, подтверждена возможность использования расширенной СЛАУ Цёппритца для AVO анализа в трансверсально-изотропных средах.

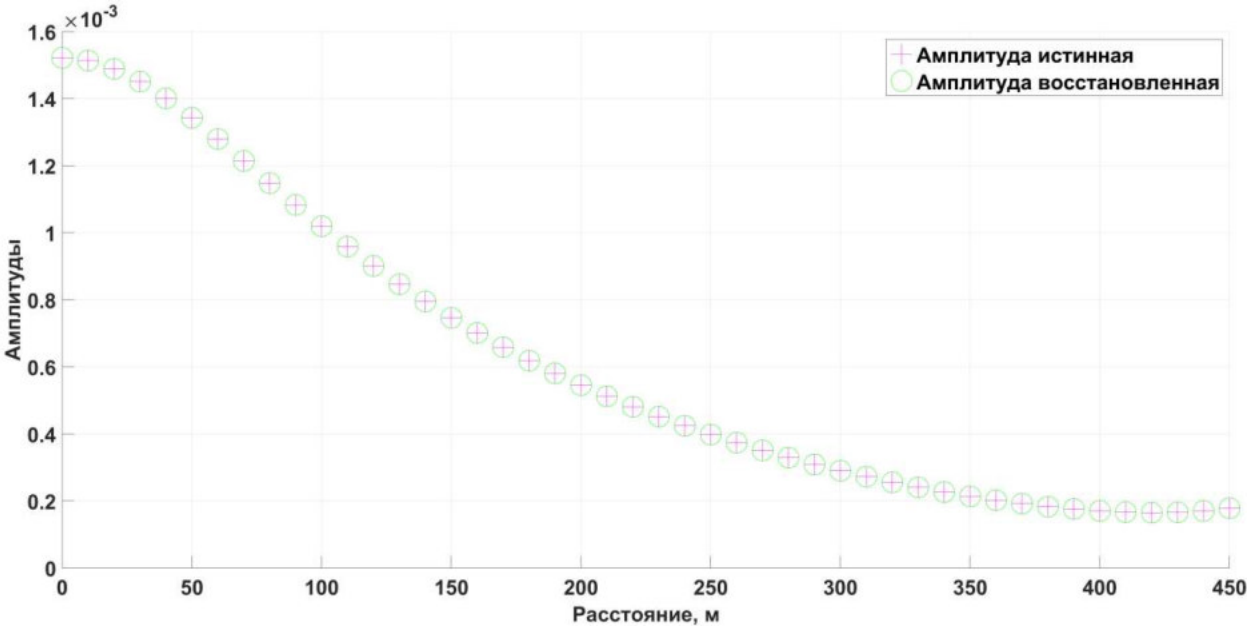

Рисунок 1. Сравнение восстановленных и истинных амплитуд на границе изотропной и трансверсально-анизотропной сред (песчаник, истинные δ = 0,05, ε = 0,07).

Финансирование: Работа выполнена при поддержке Российского Научного Фонда, проект 22-11-00104.

Список литературы:

1. Боганик Г. Н., Гурвич И. И. Сейсморазведка: Учебник для вузов. Тверь. Изд-во АИС. 2006. 744 с.
2. Бурковский А.Ю. Линейная оценка чувствительности сейсмических данных к параметрам горизонтально-слоистой среды. Материалы 10-й Юбилейной научно-практической конференции «Санкт-Петербург 2023. Геонауки: Время перемен, время перспектив» (Санкт-Петербург, Россия, 17-20 апреля 2023). 2023.
3. Протасов М.И., Чеверда В.А. Теория сейсмических волн: методическое пособие. Новосибирск. ИПЦ НГУ. 2020. 70 с.
4. Grechka V. Applications of Seismic Anisotropy in the Oil and Gas Industry. EAGE Publications. Education tour series CIS 3. 2009. 171 p.

ЧАСТОТНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ ОБРАЗЦОВ ГОРНЫХ ПОРОД С МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПОРФИРОВОГО ТИПА «КРАСИВОЕ» АЯНО-МАЙСКОГО РАЙОНА ХАБАРОВСКОГО КРАЯ

Бухалов С.В.

ФГБОУ ВО ИРНИТУ «Сибирская школа геонаук», Иркутск, Россия
*e-mail: sbukhalov@geo.istu.edu

Аннотация. Достаточно актуальной задачей является интерпретация геоэлектрических моделей с целью локализации золоторудных объектов месторождения. Высокая «заражённость» сульфидами, в первую очередь – пиритом, на площади исследования и непосредственно на участке «Красивое» приводит к проблеме выделения золоторудных пород. Для решения этой задачи требуется выполнить петрофизические исследования и изучить в лабораторных условиях поляризационные свойства измерениями в частотной области наиболее типичных образцов горных пород, для последующего построения физико-геологической модели. В данной статье приведена методика и результаты измерения образцов в частотной области для 23 образцов горной породы наиболее представленных основных групп пород на участке «Красивый» Аяно-майского района Хабаровского края.

Ключевые слова: частотные измерения, вызванная поляризация, петрофизика

FREQUENCY MEASUREMENTS OF ROCK SAMPLES FROM THE «KRASIVIY» PORPHYRY TYPE DEPOSIT OF THE AYAN-MAYSKY DISTRICT OF THE KHABAROVSK REGION

Bukhalov S.V.

INRTU Siberian school of geoscience, Irkutsk, Russia, *e-mail: sbukhalov@geo.istu.edu

Abstract. Quite a pressing problem is the interpretation of geoelectric models for the purpose of localizing gold ore objects in the deposit. High “contamination” of sulfides, primarily pyrite, in the study area and directly in the “Krasivoye” site leads to the problem of isolating gold ore rocks. To solve this problem, it is necessary to perform petrophysical studies and study in laboratory conditions the polarization properties by measurements in the frequency domain of the most typical rock samples, for the subsequent construction of a physical-geological model. This article presents the methodology and results of measuring samples in the frequency domain for 23 rock samples of the most represented main rock groups in the “Beautiful” site of the Ayano-Maisky district of the Khabarovsk Territory.

Keywords: frequency measurements, induced polarization, petrophysics

Измерения в частотной области в широком диапазоне частот (от 1 мГц до 10 мГц) требует наличия специализированной аппаратуры. Основная проблема заключается в изменении импеданса (Z) цепи с изменением частоты. При низких частотах (и на постоянном токе) электропроводность выше из-за за влияния поляризационных эффектов. С увеличением частоты значения сопротивления падает. Комплексную электропроводность среды обычно обозначают буквой σ^*, которая представляет сумму реальной (σ'), формируемой токами проводимости и мнимой частью (σ''), состоящую из всех других токов возникающих в образце [1].

Образец горной породы представляет собой сложную структуру влагонасыщенных капилляров (трещины) и электронопроводящих зерен (сульфиды) создающих емкостное сопротивление при пропускании тока, что можно представить в виде набора RC цепей [2].

Сопротивление и сдвиг фаз между формой тока и напряжения в цепи для каждой частоты в зависимости от образца индивидуальны из-за его строения.

Для измерения частотных характеристик на данной установке, из 82 образцов с месторождения порфирового типа «Красивое», были выбраны 23 образца горной породы наиболее представленных основных групп пород (Таблица 1), различающихся по количеству сульфидной минерализации.

Таблица 1. Образцы пород

№ п/п	№ образца	№ группы	Порода	Содержание Сульфидов, %	Описание
1	22	5	MCA	**10**	Метасоматит Cb-Ab с Ser и переменным к-вом Py и Qz. Внутренняя зона березит-лиственитовых изменений. От светло-серого до белого и кремового. Структура "сливная" либо реликтовая порфировая, текстура массивная, брекчиевидная. Пустоты выщелачивания с Chl, щетками Ab, кристаллы Py.
2	23			**10**	
3	31			**10**	
4	51			**5**	
5	18	6		0	
6	5	9	MSC	2.5	Метасоматит карбонат-серицитовый с переменным к-вом Py и Qz. Промежуточная зона березит-лиственитовых изменений. Цвет светло-зеленовато-серый. Структура реликтовая порфировая, текстура массивная, брекчиевидная. Пустоты отсутствуют, либо только мелкие.
7	12			0.5	
8	15			3.5	
9	16			0.5	
10	20	10	GDP	**8**	Гранодиорит-порфир Облачного комплекса. Явная порфировая стр-ра, фельзитовая ОМ, Вкрапленники - Fsp, Pl, реже амфиблы. Штоки, силлы.
11	21			**8**	
12	1	12		0.5	
13	6			0.5	
14	9			1	
15	14			2	
16	2	14	BRE	2.5	Брекчия эксплозивно-гидротермальная полимиктовая. Цемент - измененная мелкообломочная масса. Обломки различного состава (ALV, GNS, GDP…).
17	3			1	
18	4			0.5	
19	17			2	
20	41			2	
21	47			3	
22	29	15	ALV	1.5	Рифейский алевролит и алевропесчаник. Включая слабо метаморфизованные и ороговикованные (плотные темно-серые) разности.
23	30	15		1	

Использовалась классическая схема измерения с использованием шунтирующего резистора, в цепи с генератора синусоидального тока (или напряжения) сигнал последовательно подключены резистор (R1) с известным номиналом (шунт) с которого измеряется разность потенциалов и образец (R2). Резистор как активный элемент не имеет емкостное сопротивление. Регистрируемый сдвиг фаз и изменение сопротивления между током и напряжением в цепи создан емкостным сопротивлением самого образца горной породы.

В качестве высокоточного генератора синусоидального сигнала использовался Rigol DG1032Z с двумя каналами, и рабочим диапазоном от 1 мкГц до 30 МГц. Выходная амплитуда до ±10 Вольт. Погрешность опорного генератора составляла 1 ppm. В качестве измерителя использовалась многоканальная аппаратура «Mars 8.1.0» с высокоомным входом (более 100 МОм), разрядностью 18 бит и частотой дискретизации 100 кГц. Все

каналы измерителя гальванически развязаны. Измерительная установка представляет собой набор из двух питающих неполяризующихся силиконовых электродов, прижатых к торцам измеряемого образца.

Расчёт кривой УЭС для каждой из измеренных частот производился по формуле:

$$\rho = \frac{(Vgen - Vres) \times Res \times S}{Vres \times l}$$

где: ρ – удельное электрическое сопротивление образца; Vgen – максимальное амплитудное значение генератора переменного сигнала; Vres – максимальное амплитудное значение переменного сигнала, измеренного на резисторе; Res – шунт (резистор известного номинала); S – площадь контакта на приемных/питающих электродах; l – длина образца.

В результате измерения метасоматиты с прожилковым включением пирита показывают хорошую проводимость на низких частотах, даже для образца №18 с отсутствием пиритизации (Рисунок 1а). Разница в этом случае должна проявляться в фазах сигнала. Также интересно, что для всех образцов кроме группы 15, представленных алевролитами с мелкозернистыми включениями сульфидов – удельное сопротивление с увеличением частоты повышается иногда на несколько порядков. Остальные группы не проявляют особых признаков для их дифференциации между собой. При этом некоторые образцы из разных групп (например, образец №20 и образец №4) имея существенные различия по количеству сульфидной минерализации и составу в целом – обладают схожими кривыми частотных зависимостей. Эти данные позволяют разграничить сульфидизированные породы на площади при проведении наземных геофизических работ по признаку частотной зависимости от удельного сопротивления

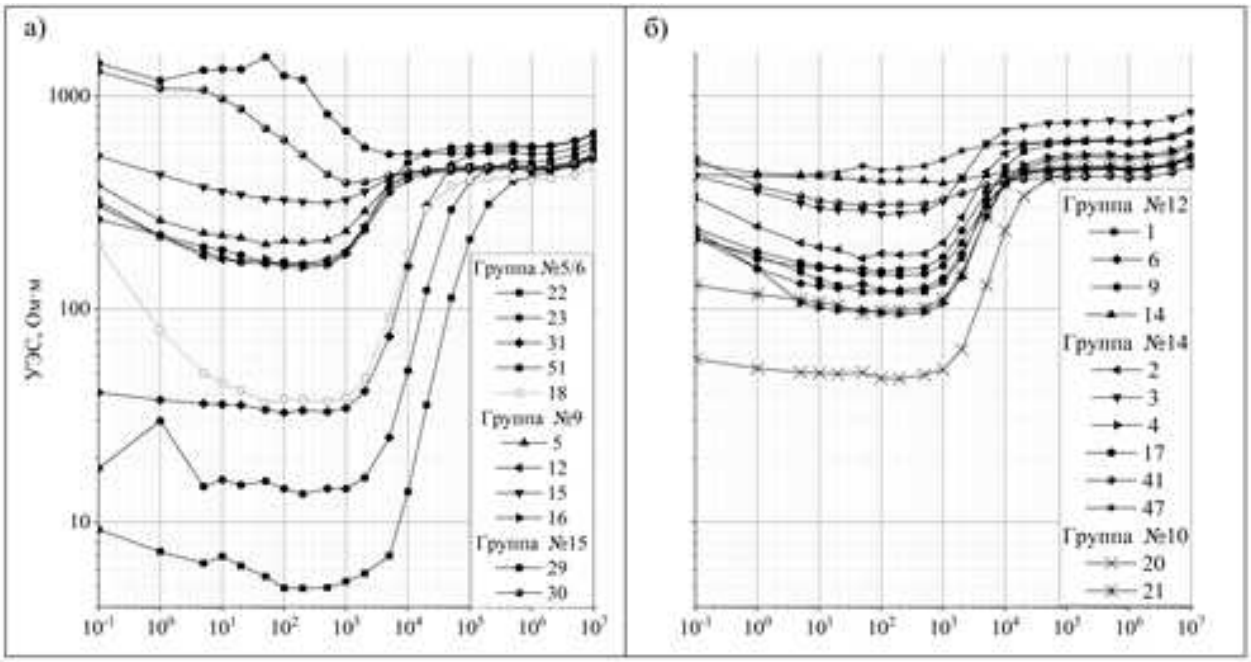

Рисунок 1. Удельное электрическое сопротивление образцов

Список литературы:

1. Кормильцев В.В., Мезенцев А.Н. Электроразведка в поляризующихся средах. Свердловск. 1989. 125 с
2. Marshall D.J. and Madden Th.R. Induced polarization, a study of its causes. Geophysics 1959. V.26. P. 790 – 816.

ИЗУЧЕНИЕ УЧАСТКА ПОДЗЕМНОГО ЯДЕРНОГО ВЗРЫВА «КРИСТАЛЛ» МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОТОМОГРАФИИ

Вавилов С.А

Вилюйская научно-исследовательская мерзлотная станция, пос. Чернышевский, Россия
e-mail: rg413el@gmail.com

Аннотация. Места промышленных ядерных взрывов в зоне вечной мерзлоты всегда были объектом пристального внимания общественности. За их состоянием должен осуществляться контроль на предмет соблюдения всех требований безопасности, для чего необходимо следить за их состоянием по указанию ответственных учреждений. Метод электротомографии зарекомендовал себя как эффективный инструмент при проведении самых разнообразных исследований зоны вечной мерзлоты. В докладе представлены результаты применения ЭТ при исследовании аварийного мирного подземного ядерного взрыва в западной Якутии.

Ключевые слова: электротомография, ПМЯВ, многолетнемерзлые породы.

THE STUDY OF THE SITE OF THE UNDERGROUND NUCLEAR EXPLOSION "CRYSTAL" BY THE METHOD OF ELECTROTOMOGRAPHY

Vavilov S.A.

Viluyskaya Permafrost Research Station, Chernyshevsky, Russia
e-mail: rg413el@gmail.com

Abstract. Sites of industrial nuclear explosions in the permafrost zone have always been the object of public attention. Of course, there must be control of their condition for compliance with all safety requirements, for which it is necessary to monitor their condition on the instructions of the responsible institutions. The method of electrotomography has proven itself to be an effective tool in a wide variety of studies of the permafrost zone. This report presents the results of its application in the study of the nuclear repository of an emergency peaceful nuclear weapon in the Daldyno-Alakit region, where an attention is drawn to its capabilities for monitoring the hydrogeocryological state of this area.

Keywords: electrotomography, PUNE, permafrost rocks.

В 1974 г, на удалении 2,5 км от карьера «Удачный на левом берегу ручья Улахан-Бысыттах, на глубине 98 м был проведен один из нескольких на территории Республики САХА, инженерно-геологический подземный ядерный взрыв (ПЯВ), мощностью 1,7 Кт. Взрыв оказался аварийным и на поверхности образовалась воронка диаметром 60 м и глубиной 6 м, которая в последствии была заполнена поверхностными водами.

В 1992 г., над зоной эпицентра (над устьем боевой скважины), был насыпан защитный экран из вскрышных пород карьера «Удачный», объёмом 433,7 тыс. т. Также, был создан льдогрунтовой слой из намороженных пород толщиной 0,6 м, который, для предохранения от таяния в летний период времени, был засыпан теплоизоляционным слоем из тех же пород толщиной 3 м. Возведенный саркофаг имел размеры около 150 м в диаметре и 7-20 м по высоте. В 2007 г. саркофаг был воздвигнут из засоленной породы нижних горизонтов карьера кимберлитовой трубки «Удачная» (что явилось причиной появления повышенной электропроводности массива) и приобрел размеры около 240х290 м с прежней высотой 7-20 м. В этом же году, в рамках рекультивационных работ, на площадке был удален верхний слой почвенного покрова с растительностью.

Опытно-промышленный взрыв «Кристалл» выполнен практически в толще многолетнемерзлых пород, которая, подстилается пластом кембрийских подмерзлотных вод под высоким давлением. Соответственно, его вскрытие взрывом привело не только к подъему минерализованных рассолов по ослабленным породам канала боевой скважины в диапазоне средне-, верхнекембрийского горизонта, но и латеральному вытеснению трещинно-кавернозно-поровых вод обоих пластов в ранее образованную зону пониженного давления депрессионной воронки карьера «Удачный» и, как результат, была зафиксирована радиоактивность подземных вод в карьере на глубинах 600 м [1].

Саркофаг расположен на склоне долины реки Улахан-Бысыттах. Примыкающая к саркофагу поверхность имеет типичный для криолитозоны рельеф в виде сети русел деллевых стоков. Как видно из приведенной расшифровки, тело саркофага может оказаться уязвимым к перманентному фактору воздействия площадных и склоновых надмерзлотных вод сезонно талого слоя и дождевых вод стекающих с прилегающего к саркофагу склона долины.

Наличие металлического забора (дополнительный аккумулятор тепла в летний период) приводит к растеплению и протаиванию лунок его опор и к аккумуляции поверхностных вод в виде обширных луж, что приводит их к затоплению, а также к выпучиванию в весенне-зимний период некоторых из них (заваливание опор забора).

В настоящее время, согласно [2], криогидрологическая система участка ПЯВ «Кристалл» не представляют собой радиационной опасности, поскольку активность трития и стронция в них на 3 и 10 порядков меньше опасных уровней УВ НРБ-09, соответственно, а радиационный фон составляет менее 20 мкр\час, что соответствует безопасному уровню.

Результаты работ ВНИМС на площадке «Кристалл» методом геоэлектротомографии представлены на Рисунке 1, где показана полная геоэлектрическая картина, интерпретация которой выявила ряд фактов.

1. На всех разрезах, грунтовый саркофаг совершенно четко отличается от постилающей толщи ММП как объект умеренных УЭС, соответствующих талым породам. В пределах грунтового саркофага выделяется слой мощностью 3-5 м аномальной проводимости как совокупность нескольких аномалий, и геометрия которого в целом подобна геометрии саркофага.

2. Боевая скважина, на пересечении двух соосных профилей №№3,5 представлена как вертикальная зона пониженных УЭС с аномалией на ПР5.

3. ПР5 имеет аномалию в пределах деятельного слоя вне саркофага в диапазоне пикетов 390-450 профиля, соответствующего участку «С» морозобойного растрескивания области исследования. На этом же ПР5 на пикетах 435-465, вне тела саркофага, в толще ММП, в диапазоне отметок 255-285 м фиксируется обширная аномалия проводимости. Данная аномалия имеет своим началом компактную аномалию ПР3 и, возможно, простирается латерально в пределах деятельного слоя до ПР5.

По геофизическим данным состояние основания саркофага ПЯВ «Кристалл» удовлетворительное, ядро саркофага находится в мерзлом состоянии, тогда как верхняя часть характеризуется низкими значениями УЭС, что может свидетельствовать о ее талом состоянии, также это может быть связано с отсыпкой засоленной породой верхней части саркофага.

По результатам проведенных работ установлено:

1) Наличие склоновых аномалий низких сопротивлений и аномалии участка морозобойного растрескивания;

2) Саркофаг, расположенный в нижней части склона ССЗ экспозиции, с явно выраженными формами криогенного микрорельефа, значительно подмывается в своём основании в результате фильтрации вод формирующихся за счёт атмосферных осадков и вод сезонно-талого слоя

3) Наличие выраженных форм морозобойного растрескивания вокруг саркофага.

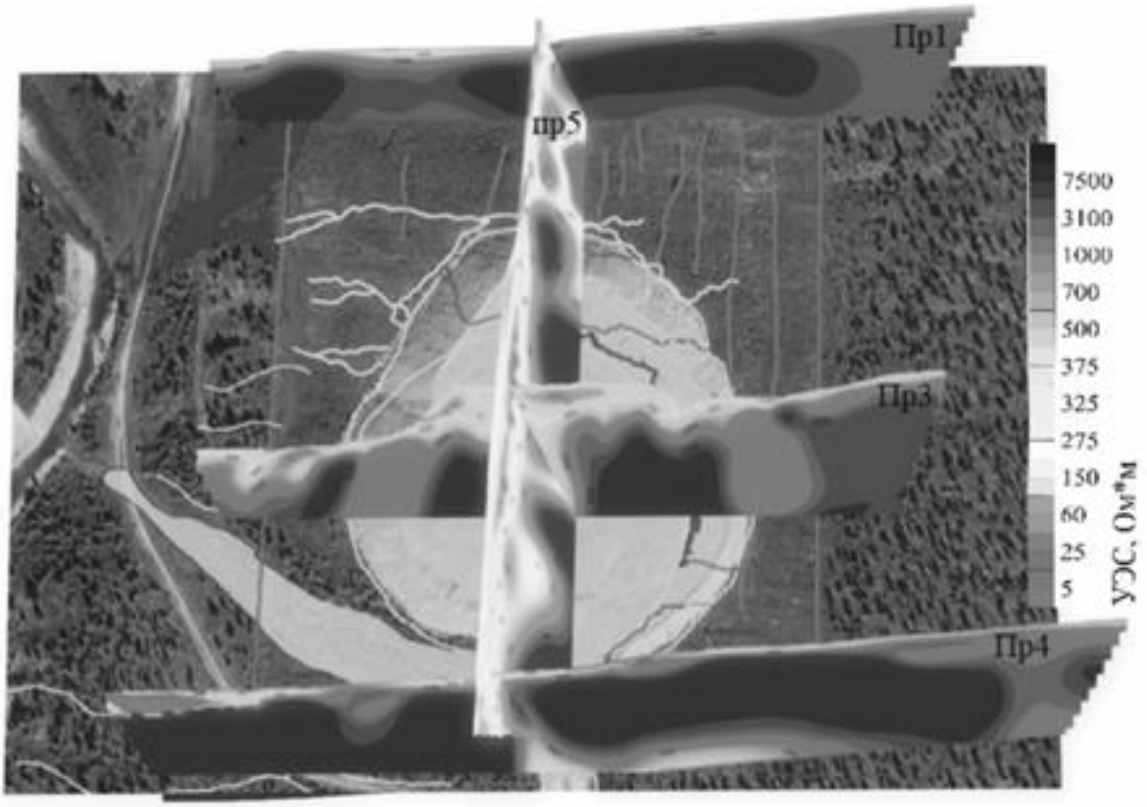

Рисунок 1. Результаты работ методом электротомографии

Указанные факты позволяют сделать предположение, что, сложившиеся условия, возможно, способствуют развитию таких негативных инженерно-геологических процессов как растепление грунтового ядра и фильтрации грунтовых вод через тело саркофага.

Финансирование. Работа выполнена в рамках базового проекта СО РАН № 122011800076-2 и финансовой поддержке ПАО АЛРОСА.

Благодарности. Авторы выражают благодарность научному сотруднику ИМЗ СОРАН Серикову С.И. за помощь по дешифровке космоснимков участка.

Список литературы:

1. Голубов Б.Н., Сапожников Ю.А., Горальчук А.В. Миграция радионуклидов из полости подземного термоядерного взрыва "Кристалл" в алмазодобывающий карьер "Удачный". Радиационная безопасность Республики Саха (Якутия): Материалы II Республиканской научн.-практич. конф. Якутск: ЯФ ГУ "Изд-во СО РАН". 2004. С. 182-192.
2. Артамонова С.Ю. Бондарев Л.Г. Антонов Е.Ю. Кожевников Н.О. Геоэкологическая модель района мирного подземного ядерного взрыва Кристалл (Якутия). Геоэкология, инженерная геология. гидрогеология. Геокриология. 2012. №. 2. С. 143-158.

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ДАННЫХ КАРОТАЖА ПОТЕНЦИАЛОВ САМОПРОИЗВОЛЬНОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ ДЛЯ КОРРЕЛЯЦИИ ПЛАСТОВ-КОЛЛЕКТОРОВ ВЕРХНЕЙ ЮРЫ

Глинских А.В., Зайчикова Е.В., Петров А.М.*

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН,
Новосибирск, Россия
*e-mail: GlinskikhAV@ipgg.sbras.ru

Аннотация. В работе предлагается подход для проведения корреляции группы пластов Ю1, основанный на количественной интерпретации данных каротажа потенциалов самопроизвольной поляризации (ПС). В основе подхода лежит представление диаграмм ПС аналитическими функциями для определения минерализации пластовой воды, выступающей параметром, характеризующим стратиграфический пласт. Минерализация пластовой воды определяется по скорректированным амплитудам сигналов ПС с учётом широкого спектра геоэлектрических условий. Эффективность подхода демонстрируется на практических каротажных данных ПС с трёх скважин Верх-Тарского месторождения и подтверждена биостратиграфически.

Ключевые слова: каротаж ПС, моделирование каротажных данных, сигмоидальные функции, минерализация пластовой воды, верхняя юра

QUANTITATIVE INTERPRETATION OF SPONTANEOUS POLARIZATION LOGGING DATA FOR CORRELATING UPPER JURASSIC RESERVOIRS

Glinskikh A.V., Zaichikova E.V., Petrov A.M

A.A. Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS,
Novosibirsk, Russia
*e-mail: GlinskikhAV@ipgg.sbras.ru

Abstract. The paper proposes an approach for correlating a group of J1 formations, based on the quantitative interpretation of spontaneous polarization potential (SP) logging data. The approach is based on the representation of SP diagrams with analytical functions to determine the salinity of formation water, which is a parameter characterizing the stratigraphic layer. The salinity of formation water is determined by the adjusted amplitudes of the SP signals, taking into account a wide range of geoelectric conditions. The effectiveness of the approach is demonstrated using practical SP logging data from three wells of the Verkh-Tarskoye field and is confirmed biostratigraphically.

Keywords: SP logging, log data modeling, sigmoid functions, water salinity, Upper Jurassic

Большинство подходов к био-, литофациальным и палеогеографическим реконструкциям для локального прогнозирования возможных литологических ловушек нефти и газа требуют использование кернового материала. В условиях его отсутствия или ограниченного количества необходимо создание альтернативных подходов, основанных на количественных способах интерпретации данных геофизических исследований скважин (ГИС). Одним из наиболее перспективных каротажных методов для задач такого типа является каротаж потенциалов самопроизвольной поляризации (ПС) [1]. Однако, поскольку форма и амплитуда сигналов ПС зависит от многих геоэлектрических и петрофизических параметров среды, то количественное определение характеристик пластов-коллекторов по

данным каротажа ПС возможно только с привлечением современных вычислительных алгоритмов.

В работе [2] показано, что диаграмма каротажа ПС представляется в виде суммы сигмоидальных функций:

$$SP(z) = \sum_{i=1}^{N} \left[\frac{[SP_i + SP_{i-1}]}{2} + \frac{[SP_i - SP_{i-1}]}{2} F_i(z) \right] - \sum_{i=1}^{N-1} SP_i, \quad (1)$$

где SP_i – скорректированная амплитуда ПС в i-ом пласте, z_i – координата кровли i-ого пласта, $F_i(z)$ – сигмоидальная функция, описывающая диаграмму ПС при пересечении границы смежных пластов.

При создании алгоритма в качестве $F_i(z)$ выбрана обобщенная логистическая функция, которая позволяет описывать форму диаграммы каротажа ПС при пересечении границы смежных пластов для контрастных по УЭС моделей сред. Для учёта влияния толщины коллекторов, УЭС коллекторов, вмещающих пластов и бурового раствора параметры функции $F_i(z)$ выражаются через данные величины. Коэффициенты пропорциональности определяются при подгонке функции $SP(z)$ к синтетической диаграмме каротажа ПС, рассчитанной для заданного набора параметров [3]. Процедура подгонки функции $SP(z)$ реализована с использованием библиотеки lmfit и представляет собой минимизацию среднеквадратичной невязки методом наименьших квадратов с помощью алгоритма Левенберга – Марквардта.

Аппроксимация выражением (1) практических диаграмм каротажа ПС при установленной зависимости параметров функции $F_i(z)$ и геоэлектрических параметров среды также осуществляется с помощью библиотеки lmfit и позволяет определять величины скорректированных амплитуд сигналов ПС. Далее в случае водонасыщенного коллектора расчёт минерализации пластовой воды выполняется по следующей формуле [3]:

$$SP_i = K_{SSP} \lg \frac{C_m}{C_{fw,i}}, \quad (2)$$

где K_{SSP} – коэффициент статического ПС, C_m – минерализация бурового раствора, $C_{fw,i}$ – минерализация пластовой воды в i-ом пласте.

С помощью разработанного алгоритма определены скорректированные амплитуды сигналов ПС и найдены значения минерализации пластовой воды для интервалов мезозойских отложений, вскрытых тремя скважинами Верх-Тарского месторождения. Для расчёта используется тонкослоистая геоэлектрическая модель, полученная в результате инверсии сигналов бокового каротажного зондирования (БКЗ). Найденные значения минерализации пластовой воды усредняются по проницаемым пропласткам в пределах выделенных стратиграфических интервалов. Поскольку усредненные значения минерализации пластовой воды не отличаются более чем на 10 % (Рисунок 1), то можно полагать, что выделенные по каждой скважине стратиграфические интервалы относятся к одному стратиграфическому пласту (пласту-коллектору $Ю_1^1$). Кроме того, покрышкой для пласта-коллектора $Ю_1^1$ служит глинистая толща георгиевской свиты, в подошве которой определены фораминиферовые комплексы, подтверждающие одновозрастность вмещающих отложений [4, 5].

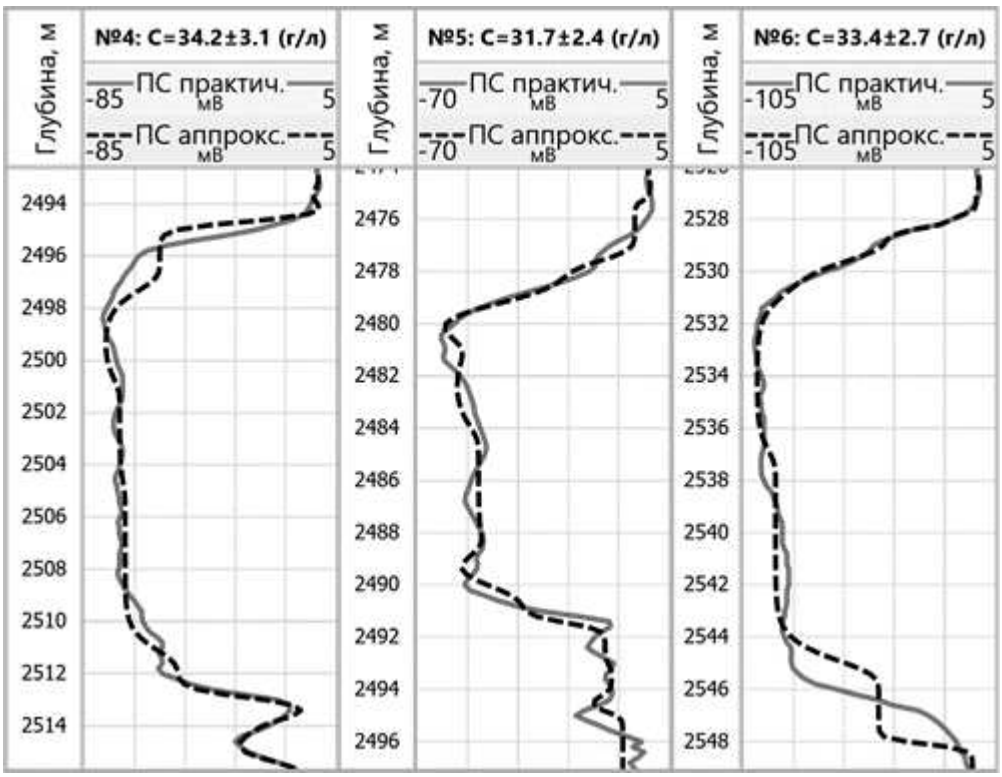

Рисунок 1. Фрагмент схемы корреляции пластов-коллекторов верхней юры (группы пластов Ю1).

Таким образом, в работе продемонстрирована применимость предложенного подхода для проведения литофациальных реконструкций, которые при отсутствии или ограниченном количестве кернового материала могут составить основу для построения реалистичных геологических моделей некоторых месторождений Западной Сибири. Дальнейшее развитие предложенного алгоритма заключается в привлечении других методов ГИС для учёта большего числа петрофизических параметров, влияющих на форму и амплитуду сигналов ПС.

Авторы выражают благодарность к.г.-м.н. П.А. Яну за неоценимую помощь в подборе практических материалов.

Финансирование: Работа выполнена за счёт гранта Российского научного фонда № 23-27-00058, https://rscf.ru/project/23-27-00058/, при научно-методическом сопровождении ФНИ (FWZZ-2022-0026 и FWZZ-2022-0005).

Список литературы:

1. Муромцев В.С. Электрометрическая геология песчаных тел-литологических ловушек нефти и газа. Ленинград. Недра. 1984. 260 с.
2. Tabanou J.R., Glowinski R., Rouault G.F (1987): SP deconvolution and quantitative interpretation in shaly sands, in SPWLA Twenty-Eighth Annual Logging Symposium, SS, 1–25, London.
3. Epov M., Glinskikh A., Nechaev O. Finite-Element Modeling of Spontaneous Potential in an Axisymmetric Reservoir Model with Account of Its Shale Content. Geosciences. 2022. V. 12. № 1. P. 1-16.
4. Зайчикова Е.В., Левчук Л.К. Биостратиграфия келловей-волжских отложений по фораминиферам и биофации юго-западной части Западно-Сибирской низменности. Геология и геофизика. 2016. Т. 57. № 2. С. 368-378.
5. Зайчикова Е.В. (2023): Биостратиграфия и ассоциации верхнеюрских фораминифер Верх-Тарской площади, юг Западной Сибири, в Труды XVIII Всероссийского микропалеонтологического совещания. Микропалеонтология: фундаментальные проблемы и вклад в региональное геологическое изучение недр, 112-115, Санкт-Петербург: ВСЕГЕИ.

РЕЗУЛЬТАТЫ ПОИСКА ЛОКАЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ НА ДНЕ И В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ОЗЕР ЯКУТИИ МЕТОДОМ ГЕОРАДИОЛОКАЦИИ

Горохов И.В.[1], Христофоров И.И.[2], Данилов К.П.[2]*

[1]ФГБУН ФИЦ «Якутский научный центр СО РАН», Якутск, Россия
[2]Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, Якутск, Россия
*e-mail: gorokhovivan1996@gmail.com

Аннотация. В докладе представлены георадиолокационные исследования, выполненные на водных объектах, с целью поиска локальных неоднородностей различной природы. Представлены результаты в виде данных, полученных на озерах Центральной Якутии и Арктической зоны Республики Саха (Якутия). Описаны сложности и недостатки применения георадара с поверхности воды, а также затронут вопрос о возможности применения георадиолокационного зондирования с поверхности льда, при решении задач, связанных с батиметрией, изучением донных отложений и подводном поиске локальных объектов.

Ключевые слова: георадиолокация, локальный объект, донные отложения, лед, ископаемая мамонтовая кость

RESULTS OF SEARCH FOR LOCAL OBJECTS ON THE BOTTOM AND IN THE BOTTOM SEDIMENTS OF LAKES OF YAKUTIA BY GPR

Gorokhov I.V.[1], Khristoforov I.I.[2], Danilov K.P.[2]*

[1]FRC Yakutian Scientific Center SB RAS., Yakutsk, Russia, gorokhovivan1996@gmail.com
[2]Melnikov Permafrost Institute SB RAS, Yakutsk, Russia

Abstract. The GPR studies performed on water bodies to search for local objects of different nature are presented. The results are presented in the form of data obtained on the lakes of Central Yakutia and the Arctic of the Republic of Sakha (Yakutia). The difficulties and disadvantages of GPR application from the water surface are described, and the question of the possibility of GPR application from the ice surface in solving problems related to bathymetry, bottom sediments study and underwater search for local objects is also touched upon.

Keywords: GPR, local object, bottom sediments, ice cover, fossil mammoth bone

На сегодняшний день, метод георадиолокации имеет широкий комплекс решаемых задач во многих сферах жизнедеятельности. Помимо наземного применения, георадары хорошо зарекомендовали себя для изучения водных объектов суши. Наряду, с геотехническими и научными исследованиями на водных объектах, георадиолокация часто применяется для поиска локальных объектов: затонувшей техники, трубопроводов, ископаемой мамонтовой кости и т.д., а также существует интерес со стороны правоохранных структур при расследовании гибели людей на воде [1, 3].

При проведении георадиолокационных работ, применялись георадары серии ОКО-3 с центральными частотами антенн 150 и 250 МГц. Для применения антенных блоков с поверхности воды, использовалась дополнительная ПВХ лодка с целью обеспечения гидроизоляции. Использование методических особенностей применения георадарного метода [4] позволили эффективно исследовать пресноводные водоемы глубиной до 10 метров, расположенных в условиях многолетнемерзлых пород.

Поскольку, при поисковых работах очень важна географическая привязка, а также из-за невозможности применения оптического одометра при работе с водной поверхности

необходимо соблюдать прямолинейность направления съемки, а также равномерную скорость передвижения. Все георадарные профили записаны с точным отслеживанием GPS координат. Во время профилирований установлены дополнительные метки для более точной привязки разреза к географическим координатам.

Основное преимущество георадара от других методов поиска подводных объектов, заключается в эффективном обнаружении искомого объекта как на дне, так и внутри донных отложений. К примеру, в ходе исследования озер Центральной Якутии, некоторые дифрагированные сигналы зарегистрированы в слоях сапропели (Рисунок 1), где применение различных методов теле-фотометрии малоэффективна. Дополнительно, на Рисунке 1 представлены разрезы с локальными объектами, оконтуренными в слое иловых отложений, а также с поверхности ледяного покрова.

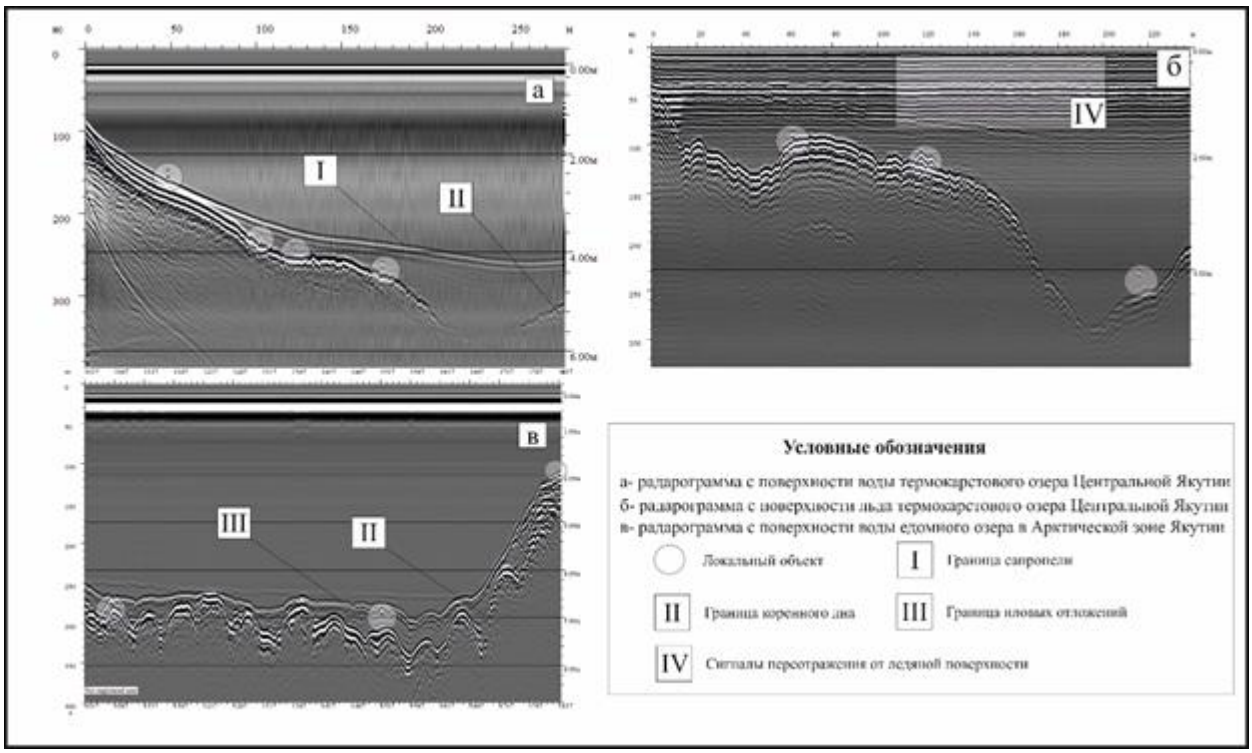

Рисунок 1. Радарограммы с локальными объектами.

Применение георадиолокации с поверхности льда позволяет решить основную проблему метода, заключающуюся в сложности соблюдения прямолинейности относительного заданного направления и соблюдения равномерной скорости при профилировании. Следовательно, возможность применения оптического одометра, позволяет повысить эффективность поисков за счет точной привязки, зарегистрированного сигнала дифракции от локального объекта. Помимо этого, работы в зимний период благодаря статичному размещению поисковой группы на поверхности льда, позволяют эффективно применять другие методы (дайвинг, теле-фотометрия) в комплексе с георадаром. Однако, в сравнении с георадиолокации с водной поверхности, основным недостатком с поверхности льда является более низкая глубинность и разрешающая способность антенн, а также в зависимости от мощности льда, влияние сигналов переотражений от льда [2]. К примеру, на рисунке 1-б представлена радарограмма, полученная, на озере с сапропелью, где кратные сигналы от ледяного покрова с мощностью более 1 м перекрывают отраженный сигнал от границы сапропели.

Таким образом, на основании проанализированных данных установлено, что эффективность поиска локальных объектов зависит от множества факторов, связанных с климатическими, гидрогеологическими, аппаратурными условиями, а также параметров самого искомого объекта.

Финансирование: Работа, в части исследования озёр Центральной Якутии, выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ № 22-17-20040 «Субаэральные и подозерные талики в сплошной криолитозоне Восточной Сибири: происхождение, современное состояние и реакция на изменение климата».

Список литературы:

1. Владов М.Л., Пятилова А.М. Влияние водного слоя на глубинность георадиолокационных исследований на пресноводных акваториях. Вестник Московского университета. Серия 4: Геология. 2009. № 1. С. 63-66.
2. Христофоров И.И., Данилов К.П., Горохов И.В. и др. Особенности георадиолокации пресноводных водоемов криолитозоны в зимний период. Сборник научно-практической конференций «Георадар 2021». Москва: Издательский дом Академии Естествознания. 2022. С.104-107
3. Khristoforov I.I., Danilov K.P., Gorokhov I.V., Cheprasov M.Y., Petrova T.N., Petukhova E.S. GPR Sounding of Fossil Mammoth Bones from The Surface of Freshwater Lakes and Rivers. European Association of Geoscientists & Engineers. Source: Conference Proceedings, Engineering and Mining Geophysics. 2021. V. 2021. P. 1 – 10
4. Khristoforov I.I., Omelyanenko A.V. Improving the Efficiency of Hydrological Investigations by Submersible Ground Penetrating Radar. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters. V. 15. № 3. 2018. P. 335-339.

КОМПЛЕКСИРОВАНИЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КРОВЛИ И ПОДОШВЫ ОСТРОВНОЙ МЕРЗЛОТЫ НА СТАЦИОНАРЕ КУМЖА (ДЕЛЬТА Р. ПЕЧОРА, НАО)

Давыденко С.Ю. [1], Судакова М.С. [2], Садуртдинов М.Р. [1], Оленченко В.В. [2], Скворцов А.Г. [1], Царев А.М. [1], Малкова Г.В. [1]*

[1]Институт криосферы Земли Тюменского научного центра СО РАН, Тюмень, Россия
[2]Институт нефтегазовой геологии и геофизики имени А.А. Трофимука СО РАН, Новосибирск, Россия
*e-mail: sofydav@mail.ru

Аннотация. Представлены результаты комплексирования георадиолокации, электротомографии и сейсморазведки методом преломленных волн (МПВ) на стационаре Кумжа в дельта реки Печора (Большеземельская тундра, Ненецкий автономный округ). Применение классического криологического метода зондирования для определения кровли островной мерзлоты на стационаре не эффективен, так как глубина её положения более 3-4 м. По значениям скоростей и проводимостей удалось уверенно идентифицировать слой многолетнемёрзлых пород, глубина кровли и подошвы которого были определены по данным георадиолокации.

Ключевые слова: комплексирование геофизических методов, многолетнемерзлые породы, георадиолокация, электротомография, сейсморазведка

COMPLEXING GEOPHYSICAL METHODS FOR DETERMINING THE ROOF AND FOOTWALL OF ISLAND PERMAFROST AT THE KUMZHA STATION (PECHORA RIVER DELTA, NAO)

Davydenko S.Yu. [1], Sudakova M.S. [1], Sadurtdinov M.R. [1], Olenchenko V.V. [2], Skvortsov A.G. [1], Tsarev A.M. [1], Malkova G.V. [1]*

[1]Earth Cryosphere Institute, Tyumen Scientific Center, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Tyumen, Russia
[2]A.A. Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, Novosibirsk, Russia
*e-mail: sofydav@mail.ru

Abstract. The paper presents the results of combining georadiolocation, electrotomography and seismic exploration by the refracted wave method (RWM) at the Kashin station in the Pechora River delta (Bolshezemelskaya tundra, Nenets Autonomous Okrug). The application of the classical cryologic method for determining the roof of permafrost at the stationary site is not effective, because the thickness of the seasonally thawed layer is more than 3-4 meters. According to the values of velocities and conductivities, it was possible to identify the permafrost layer, the depth of the roof and footwall of which were determined using the georadiolocation data.

Keywords: complexing of geophysical methods, permafrost rocks, georadiolocation, electrotomography, seismic exploration

Введение. Во второй половине августа 2023 года на стационаре Кумжа в районе Уренгойского месторождения был выполнен комплекс геофизических методов с целью определения положения многолетнемёрзлых пород (ММП) в разрезе. На участке Кумжа, более 10 лет, осуществляется геокриологический мониторинг.

Применение геофизических методов в местах распространения многолетнемёрзлых пород позволяет повышать качество и информативность криологических исследований: определить строение верхней части разреза, получить информацию о физических

параметрах слоев по глубине и простиранию, мониторинговые работы позволяют следить за состоянием и свойствами многолетнемерзлых пород. При проведении таких работ наблюдается минимальное воздействие на надпочвенный покров, что имеет большое значение для экологии тундры [2].

По результатам геофизических наблюдений методами георадиолокации и сейсморазведки кровля ММП выделяется однозначно [3], при этом на георадиолокационных данных присутствуют границы, которые необходимо идентифицировать. Для решения этой задачи был привлечён метод электротомографии.

Объект и методы исследования. В западном секторе Российской Арктики, в устье р. Печора (в 70 км севернее от г. Нарьян-Мар, Ненецкий автономный округ) расположен криологический полигон Кумжа (Рисунок 1). Выбранный участок интересен тем, что р. Печора, точнее ее протоки, являются одним из факторов, влияющих на отепляющий эффект на многолетнемерзлые породы.

Рисунок 1. Расположение криологического полигона Кумжа (а) и георадиолокационные исследования (б)

Выбранный профиль АВ10 примечателен тем, что наблюдается опускание кровли на глубину более 3-4 м, поэтому были задействованы геофизические методы – сейсмопрофилирование, георадиолокационная съемка и электротомография. На профиле АВ10 длиной 140 м были выполнены измерения тремя методами. Профиль пересекает по диагонали площадку CALM R24A-2. Участок расположен на останце I аллювиально-морской террасы в дельте р. Печоры. В его строении участвуют пески плотного сложения, западнее, ближе к протоку реки, выделяются суглинки. Многолетнемерзлые породы имеют островное распространение, высокотемпературные (0..-0.5 °С). Растительный слой представлен лишайниковой тундрой, березовое редколесье [1].

Сейсмопрофилирование выполнено сейсмостанцией ТЕЛЛС-3 (ООО "Геосигнал", Россия). Сейсмоприёмники с GS-20 DX с горизонтальной осью чувствительности (Geospace Technologies, Россия). Метод МПВ на поперечных SH-волнах. Семиточечная расстановка, длина профиля 144 м. Шаг пунктов приёма 2 метра.

Георадиолокационное профилирование выполнено георадаром Зонд-12е (НПФ «Радарные системы», Латвия) с антенной 300 МГц. Длина профиля 140 м. Съемка велась в

непрерывном режиме. Для обработки полученных данных использовались ПО RadExplorer и SeisPro. Применение георадара при изучении разреза криолитозоны обеспечивают различия в электрических свойствах, поэтому, кровля островной мерзлоты является контрастной границей для электромагнитных волн, что позволяет использовать георадиолокацию для определения ее конфигурации.

Электротомография выполнена станцией Syscal Pro (IRIS Instrument, Франция) на профиле ЕТ длиной 235 м. Шаг по профилю 5 м. Этот метод позволяет определить подошву криолитозоны, учитывая данные георадиолокации в инверсии. Обработка данных электротомографии была выполнена с помощью программы Res2Din.

Результаты. По полевым данным были получены радарограмма, разрез кажущихся и истинных электрических сопротивлений, скорости поперечных волн выше и ниже кровли мерзлоты. На радарограмме прослеживаются границы не только от кровли и подошвы мерзлоты, а также от кровли не оттаявшего сезонно-мёрзлого слоя («перелетка»). На данных электротомографии выделяется слой повышенных сопротивлений, характерных для многолетнемёрзлых пород. На профиле ближе к реке наблюдается полное выклинивание слоя ММП, что объясняется отепляющим эффектом от р. Печора.

Финансирование: работа выполнена Институтом криосферы Земли ТюмНЦСО РАН в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № FWRZ-2021-0012).

Список литературы:

1. Kaverin D., Malkova G., Zamolodchikov D., et al. Long-term active layer monitoring at CALM sites in the Russian European North. Polar Geography. 2021. V. 44 № 3. P. 203–216.
2. Судакова М.С., Брушков А.В., Великин С.А., и др. Геофизические методы в геокриологическом мониторинге. Вестник Московского Университета. Серия 4. Геология. 2022. № 6. С. 141-151.
3. Sudakova M., Malkova G. Using Ground Penetrating Radar for Permafrost Monitoring from 2015–2017 at CALM Sites in the Pechora River Delta. Remote Sensing. 2021. V. 13. №. 16. P. 3271.

ПРИМЕНИМОСТЬ ИТЕРАЦИОННОГО АЛГОРИТМА СОВМЕСТНОЙ АКУСТИЧЕСКОЙ ИНВЕРСИИ И ГЛУБИННОЙ МИГРАЦИИ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ УПРУГОЙ СРЕДЫ

Дмитрачков Д.К., Протасов М.И.*

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, Новосибирск, Россия
*e-mail: daniel.dmitrachkov@gmail.com

Аннотация. Сейсмическая инверсия используется для построения детальных моделей во временной области по сейсмическим данным, но редко применяется в глубинной области. Последовательно применяя друг за другом акустическую инверсию и глубинную миграцию, можно построить совместный итерационный алгоритм, способный уточнять макро-скоростную модель среды при постоянной плотности. В данной работе исследуются ограничения для применения совместного алгоритма акустической инверсии и глубинной миграции для восстановления параметров упругой среды. Численные эксперименты проведены на реалистичной модели Marmousi.

Ключевые слова: сейсмическая инверсия, глубинная миграция, низкочастотная модель

APPLICABILITY OF THE ITERATIVE ALGORITHM OF JOINT ACOUSTIC INVERSION AND DEPTH MIGRATION FOR RECONSTRUCTION OF THE ELASTIC MEDIUM PARAMETERS

Dmitrachkov D.K., Protasov M.I.

A.A. Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics RAS, Novosibirsk, Russia, daniel.dmitrachkov@gmail.com

Abstract. Seismic inversion is used to build detailed time domain models from seismic data, but is rarely used in the depth domain. By successively applying acoustic inversion and depth migration one after another, it is possible to construct a joint iterative algorithm capable of refining the macro-velocity model of the constant density medium. This paper examines the limitations of using a joint acoustic inversion and depth migration algorithm for reconstruction of the parameters of an elastic medium. Numerical experiments were carried on a realistic Marmousi model.

Keywords: seismic inversion, depth migration, low-frequency model

Введение. Одним из инструментов для прогнозирования коллекторских свойств резервуаров является сейсмическая инверсия. Входными данными для процедуры инверсии являются результаты временной обработки до или после суммирования [1]. В результате работы сейсмической инверсии получается детальная модель упругих свойств среды. В случае сложной геологической структуры требуется глубинная обработка, и тогда инверсию необходимо применять к её результатам.

Если применять сейсмическую инверсию и глубинную миграцию последовательно, друг за другом, то в случае постоянной модели плотности среды имеется возможность уточнять макро-скоростную модель среды с помощью построенного совместного итерационного алгоритма [2]. Это достигается в результате последовательного уточнения информации о кинематике, с которой работает процедура миграции, и динамической информации, с которой работает сейсмическая инверсия.

В рамках представленной работы изучаются границы применимости совместного алгоритма для восстановления упругих параметров среды в случае неизвестной плотности. Показано, что алгоритм способен уточнять глубинную макро-скоростную модель среды при заданной плотности, отличной от постоянной. В случае неизвестной плотности совместный алгоритм способен сделать один шаг и остановиться на детальной глубинной модели акустического импеданса. Расчёты проводились на синтетических данных, полученных с помощью конечно-разностного моделирования, а также с использованием реалистичной модели Marmousi.

Совместная миграция и инверсия. Совместный итерационный алгоритм состоит из глубинной миграции в истинных амплитудах, основанной на гауссовых пучках [3], а также из акустической сейсмической инверсии полной вариации с ограничениями, учитывающей априорную информацию о модели.

То, что миграция строит изображение в истинных амплитудах, то есть что амплитуды изображения пропорциональны линеаризованному коэффициенту отражения, обеспечивает корректную работу акустической инверсии. Без этого условия говорить о сходимости совместного алгоритма не приходится.

Рассматриваемый алгоритм сейсмической инверсии основывается на одномерной свёрточной модели сейсмической трассы. Искомыми параметрами являются коэффициенты отражения, а переход к акустическому импедансу осуществляется по рекуррентной формуле. В предположении, что среда состоит из конечного числа слоёв с однородными свойствами, в целевом функционале инверсии возникает штрафное слагаемое с 1-нормой трассы коэффициентов отражения и 1-нормой градиента коэффициентов отражения, что обеспечивает разреженную структуру решения. Другими ограничениями выступают начальная модель импеданса, учитываемая при инверсии, а также требования к пространственной связности решения по латерали.

Численные эксперименты. Для заданной модели плотности, отличной от постоянной, с помощью совместного итерационного алгоритма удаётся восстановить глубинную макро-скоростную модель. На последней итерации совместного алгоритма границы на изображении распрямляются и встают на правильные места (Рисунок 1).

Для работы алгоритма инверсии на вход необходимо задать начальную модель акустического импеданса. В случае неизвестной плотности предлагается оценивать плотностную модель по эмпирическим зависимостям плотности среды от скорости продольной волны, таким как уравнение Гарднера. Используя миграционную скоростную модель, с помощью предложенной оценки плотности можно получить начальную модель акустического импеданса. Однако в результате работы инверсии при неизвестной плотности не удаётся отделить плотность от скорости по восстановленной модели акустического импеданса, и совместный алгоритм останавливает свою работу после одного шага.

Выводы. Полученные результаты говорят о том, что при известной модели плотности возможно уточнение глубинной макро-скоростной модели среды с помощью совместного алгоритма. В случае неизвестной плотности имеется возможность сделать один шаг итерационного алгоритма и уточнить глубинную модель акустического импеданса.

Таким образом, используя акустическую инверсию вместе с глубинной миграцией, удаётся извлечь из сейсмических данных полезную информацию. Невозможность отделения плотности от скорости при заданном импедансе создаёт предпосылки для

модификации совместного алгоритма и его развития в сторону упругого варианта сейсмической инверсии.

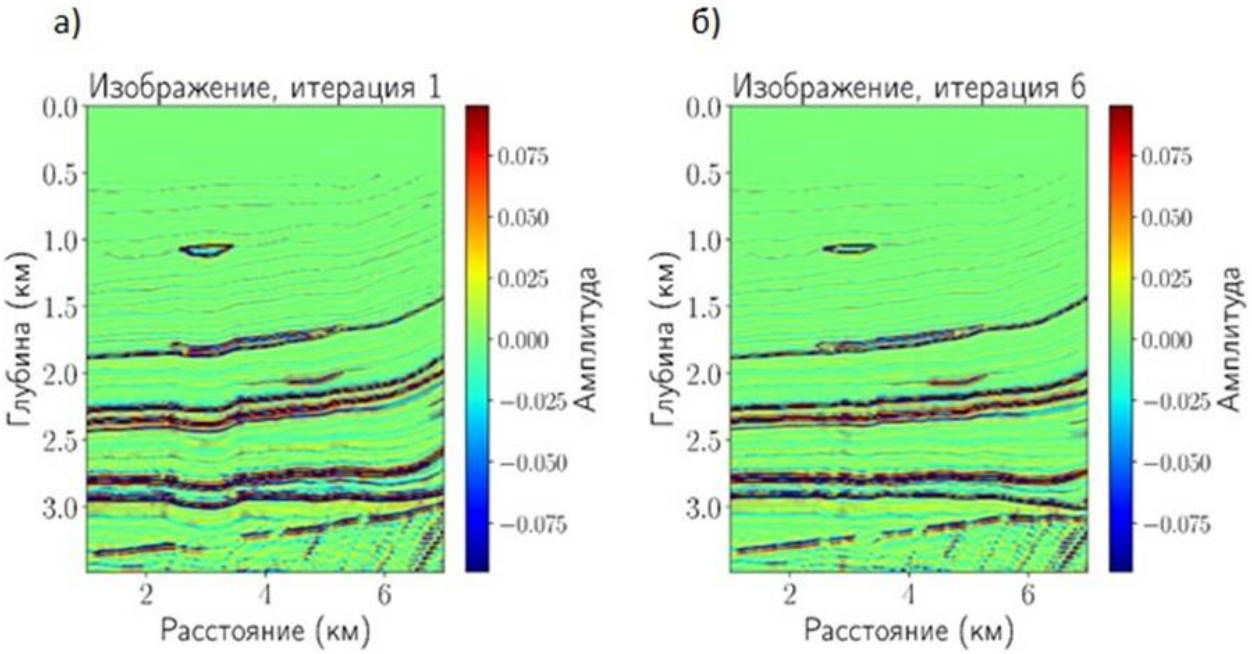

Рисунок 1. Изменение положения границ глубинного изображения. а) Сейсмическое изображение, построенное в: а) начальной миграционной скоростной модели; б) обновлённой скоростной модели после 6-й итерации совместного алгоритма.

Финансирование: Работа выполнена при частичной поддержке Российского Научного Фонда, грант № 21-71-20002.

Список литературы:

1. Russell B.H., Hampson D.P. Comparison of poststack seismic inversion methods, SEG Annual Meeting, Expanded Abstracts. 1991. P. 876–878.
2. Протасов М.И., Дмитрачков Д.К. Акустическая сейсмическая инверсия и миграция в истинных амплитудах для определения глубинно-скоростной модели. Геофизика. 2023. № 4. С. 16–21.
3. Protasov M.I., Tcheverda V.A. True amplitude imaging by inverse generalized Radon transform based on Gaussian beam decomposition of the acoustic Green's function. Geophysical Prospecting, 2011. V. 59. P. 197–209.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УСЛОВИЙ ПОДТОПЛЕНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ Г. ИРКУТСКА МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОТОМОГРАФИИ

Лазурченко А.В.[1], Шкиря М.С.[2]*

[1]ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», Иркутск, Россия
[2]ООО "Геоэлектрика", Новосибирск, Россия
*e-mail: alazurchenko@geo.istu.edu

Аннотация. Подтопление урбанизированных территорий является актуальной проблемой. Применение метода электротомографии позволяет по параметру удельного электрического сопротивления (УЭС) определить предполагаемые участки скопления грунтовых вод и водоупоров. Целью данного исследования является определение возможности разделения по типовым условиям подтопления района по данным электротомографии путем численного моделирования. По результатам решения прямых задач и сравнения их с реальными измерениями, были сделаны выводы о применимости электротомографии для разделения на типовые условия подтопления района.

Ключевые слова: электротомография, численное моделирование, удельное электрическое сопротивление, подтопление.

NUMERICAL MODELING OF FLOODING CONDITIONS ON THE AREA OF IRKUTSK BY THE METHOD OF THE ELECTRICAL RESISTIVITY TOMOGRAPHY

Lazurchenko A.V.[1], Shkiria M.S.[2].

[1]INRTU, Irkutsk, Russia alazurchenko@geo.istu.edu
[2] LLC «Geoelectrica», Novosibirsk, Russia

Abstract. Flooding of urbanized areas is an urgent problem. The use of the electrical resistivity tomography method allows to determine the expected water-bearing material and waterproofs by the electrical resistivity. The aim of the study is to determine the possibility of separation per the typical conditions of flooding of the area per electrotomography data by numerical modeling. Based on the results of solving direct problems and comparing them with real measurements, conclusions were drawn about the applicability of electrotomography for dividing into typical conditions of flooding of the area.

Keywords: electrical resistivity tomography, numerical modeling, electrical resistivity, flooding.

Подтопление урбанизированных территорий является актуальной проблемой, особенно это касается населенных пунктов Иркутской области. Многолетние исследования и мониторинг подземных вод показали, что на подавляющей части городской территории наблюдаются явления периодических или постоянных подтоплений. В зоне аэрации подтопление жилой застройки происходит за счет подвешенных подземных вод и верховодок, которые имеют сезонный характер [2].

Наземные геофизические исследования методом электротомографии считаются одним из основных методов при малоглубинных изысканиях, которые позволяют расчленить разрез по параметру удельного электрического сопротивления (УЭС) горных пород. Данный метод применим на территории городской застройки, где возможно использование гальванического типа заземления электродов [3].

Исходя из актуальности работы целью исследования является определение возможности разделения по типовым условиям подтопления района по данным электротомографии путем численного моделирования. Одной из основных задач является

получение результатов решения прямых задач и их сравнение с результатами измерений, проводимых на площади исследования, чтобы верифицировать модель среды.

Рассматриваемая территория охватывает юго-восточную оконечность и частично центральную часть Прииркутской впадины, расположенной в непосредственной близости от области слияния двух крупных структурных регионов: Восточного Саяна и Байкальской складчатой зоны, являющихся источником питания выполняющей ее мощной континентальной толщи юрского возраста. Эти отложения, обладающие здесь максимальной для всего угленосного бассейна мощностью, на основе литологических признаков, характеризующихся определенными физико-геологическими условиями образования и споро-пыльцевого комплекса, подразделены на три свиты: черемховскую (J_1cr), присаянскую ($J_{1\text{-}2}ps$) и кудинскую (J_2kd) с соответствующими более дробными подразделениями, отвечающими нижнему и среднему отделам юрской системы [1].

Область исследования разделяется на территории с развитием подтопления за счет неглубокого залегания подземных вод и территории с развитием подтопления в зоне аэрации (Рисунок 1). Территории с развитием подтопления за счет неглубокого залегания подземных вод разделяются на зоны с грунтовыми и напорными подземными водами: а) Зона подтопления за счет грунтовых вод, характеризуется естественным залеганием уровня на глубине от 0 до 5 м; б) Подтопление за счет колебания уровня грунтовых вод в зоне аэрации. Атмосферные осадки свободно могут пополнять грунтовые воды, в значительной степени повышая их уровень; в) Подтопление за счет формирования верховодки. Атмосферные осадки, задерживающиеся на водоупорных туфоалевролитовых пластах, которые постепенно просачиваются через слабопроницаемые грунты или разгружаются по склонам.

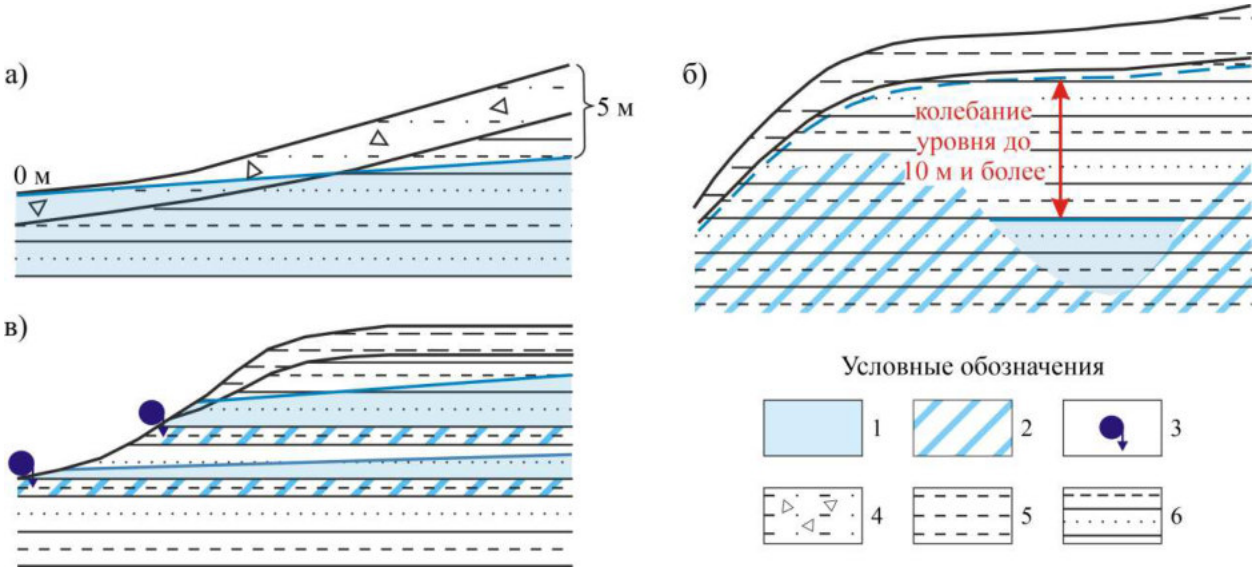

Рисунок 1. Типовые условия подтопления территории: а) Подтопление за счет неглубокого залегания подземных вод, б) Подтопление за счет колебания уровня грунтовых вод в зоне аэрации, в) Подтопление за счет формирования верховодки. 1 – Обводненные породы, 2 - Водоупорные породы коренных юрских отложений, 3 - Родниковая разгрузка подземных вод, 4 – Дресва и щебень коренных пород, 5 – Суглинки, 6 – Переслаивающиеся песчаники и алевролиты.

Моделирование синтетических данных гидрогеологической среды до 40 метров метода электротомографии осуществлялось в программе ZondRes2D. Расчет производился для одного профиля длиной 157,5 м с межэлектродным расстоянием 2,5 м тремя электроразведочными установками: Шлюмберже, Веннера и дипольной осевой. Согласно

априорной информации, модель среды состоит из 2 слоев: юрских коренных пород, представленных переслаивающимися песчаниками и алевролитами, простирающихся до подошвы модели, и слоя суглинков, мощностью 5 метров. УЭС для юрских горных пород рассчитано по формуле Арчи-Дахнова [4], и для менее пористых составляет 75 Ом·м, а для более пористых 20 Ом·м. Сопротивление слоя суглинков принято 200 Ом·м. Синтетические данные были зашумлены с применением встроенного в программе ZondRes2D функционала, где шум составлял до 5 мВ при токе 100 мА. Также учитывался рельеф местности с перепадом высоты в 20 м. Моделируемая среда изменялась согласно типовым условиям подтопления представленного района исследования.

В результате математического моделирования были сделаны следующие выводы:

• Расстояние между электродами в 2,5 м достаточно, чтобы изучить разрез на глубину до 40 м и зарегистрировать аномальные зоны пониженных сопротивлений.

• При полевых измерениях стоит использовать электроразведочную установку Шлюмберже, так как она имеет хорошую чувствительность к горизонтальным границам и имеет высокий уровень сигнал/помеха.

• Области пониженных значений УЭС, представленные обводненными пористыми юрскими отложениями со значениями сопротивления 20 Ом·м, контрастно выделяются во вмещающей среде со значениями сопротивления 75 Ом·м. Также хорошо выделяется верхняя граница обводненной зоны.

• Определение типовых условий подтопления территории применяя только метод электротомографии является невозможным. Для этого необходимо проведение комплекса инженерно-геологических работ при изучении подповерхностных отложений на предмет подтопления.

Сравнивая результаты математического моделирования и результаты полевых исследований метода электротомографии, следует, что искомые водонасыщенные зоны с высокой пористостью юрских отложений выделяются идентичными аномальными низкоомными зонами.

Список литературы:

1. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:200 000. Серия Ангарская. Лист N-48-XXXIII. 2013.
2. Ланкин Ю.К., Наумова О.О. (2021). Проблемы подтопления населенных пунктов Иркутской области. Материалы XXIII Всероссийского совещания по подземным водам востока России с международным участием. Иркутск: Институт земной коры СО РАН. С. 508–512.
3. Шкиря М. С., Ланкин Ю. К., Терешкин С. А., Лазурченко А.В., Давыденко Ю.А. Применение наземных геофизических исследований методом электротомографии в составе инженерно-геологических изысканий подтапливаемой территории одного из жилых районов Г. Иркутска. Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2022. Т. 333. № 11. С. 160–170.
4. Archie G. E. The Electrical resistivity Log as an Aid in Determining Some Reservoir Characteristics. Transactions of the AIME. 1942. V. 146. P. 54–62.

СЕДИМЕНТАЦИОННАЯ ЦИКЛИЧНОСТЬ СРЕДНЕГО ТРИАСА В ПАЛЬМИРИДСКОМ БАССЕЙНЕ (СИРИЯ) ПО ДАННЫМ ВЕЙВЛЕТ-АНАЛИЗА

Мохаммад Н.[1,2], Зорина С.О.[1], Хамада Н.[1,2], Канжо С.[2]*

[1]Казанский (Приволжский) федеральный университет, Республика Татарстан, Россия
[2]Дамасский университет, Дамаск, Сирия
*e-mail: nosheen.g.mohammad@gmail.com

Аннотация. В данной работе представлено первое применение вейвлет-анализа для изучения мезозойских седиментационных циклов в Пальмиридском бассейне Сирии. Вейвлет-анализ выявил различия в частотах, амплитудах, фазах и продолжительности седиментационных циклов, что указывает на влияние эвстатических изменений уровня моря, вертикальных тектонических движений, объема поступающего осадочного материал и климатических изменений. По результатам проведенного исследования была создана высокоразрешающая секвенс-стратиграфическая основа для среднего триаса Пальмиридского бассейна, что дает возможность проводить корреляции рассматриваемой секвенс-стратиграфической последовательности с другими регионами.

Ключевые слова: вейвлет-анализ, мезозой, седиментационные циклы, Пальмиридский бассейн, секвенс-стратиграфия

SEDIMENTARY CYCLES OF THE MIDDLE TRIASSIC IN THE PALMYRIDE BASIN (SYRIA) ACCORDING TO WAVELET ANALYSIS DATA

Mohammad N.[1,2], Zorina S.O.[1], Hamada N.[1,2], Kenjo S.[2]*

[1]Kazan Federal University, Institute of Geology and Petroleum Technologies, Kazan, Russia
[2]Damascus University, Damascus, Syria
*e-mail: nosheen.g.mohammad@gmail.com

Abstract. This study presents the first application of wavelet analysis for the investigation of Mesozoic sedimentary cycles in the Palmyride Basin of Syria. The wavelet analysis revealed differences in frequencies, amplitudes, phases, and durations of the sedimentary cycles, indicating the influence of eustatic sea-level changes, vertical tectonic movements, the volume of incoming sedimentary material, and climatic changes. As a result of the conducted research, a high-resolution sequence-stratigraphic framework for the Middle Triassic of the Palmyride Basin was established, which allows for correlations of the considered sequence-stratigraphic sequence with other regions.

Keywords: wavelet analysis, Mesozoic era, sedimentary cycles, Palmyride Basin, sequence stratigraphy

Исследование посвящено использованию вейвлет-анализа для исследования мезозойских седиментационных циклов в Пальмиридском бассейне Сирии. Понимание циклических закономерностей в седиментационных последовательностях имеет ключевое значение для интерпретации изменений палеосреды и геологической эволюции [1, 2].

Для выявления триасовых седиментационных циклов в Пальмиридском бассейне были использованы каротажные данные скважин и результаты изучения керновых образцов. Каротажные данные включали гамма-каротаж, резистивиметрию, акустический, плотностный, нейтронный и пористостный каротажи из нескольких скважин, вскрывших газоносные толщи среднего триаса. Вейвлет-анализ выявил отчетливые характеристики седиментационных циклов, указывающие на различные факторы, влияющие на их формирование [3, 4]. В качестве предполагаемых причин цикличности были определены

эвстатические колебания, влияние вертикальных тектонических движений и особенности поступающего осадочного материала [4].

Результаты вейвлет-анализа демонстрируют, как изменяется энергия палеосреды при накоплении осадка. Седиментационный цикл является результатом изменений литологического состава и количества осадка. Вейвлет-преобразование каротажных данных скважины TW_103 было использовано для разделения границ циклов третьего и четвертого порядка в различные сегменты на основе геофизических свойств разреза. Глубина залегания рассматриваемых триасовых отложений Куррачинской доломитовой формации колеблется от 2070 до 2300 метров (Рисунок 1). Результаты непрерывного вейвлет-анализа (CWT) представлены на рисунке 1. На рисунке отображены каротажные данные, спектры вейвлет-мощности и фазовые диаграммы седиментационных циклов. Спектры вейвлет-мощности показывают распределение энергии по различным частотам и времени, в то время как фазовые диаграммы демонстрируют относительное время циклов в разных локациях.

Применение вейвлет-анализа для выявления среднетриасовых седиментационных циклов в Пальмиридском нефтегазоносном бассейне позволило получить ценные сведения о секвенс-стратиграфии среднего триаса. Полученные результаты способствуют лучшему пониманию геологической истории и динамики палеосреды в данном регионе.

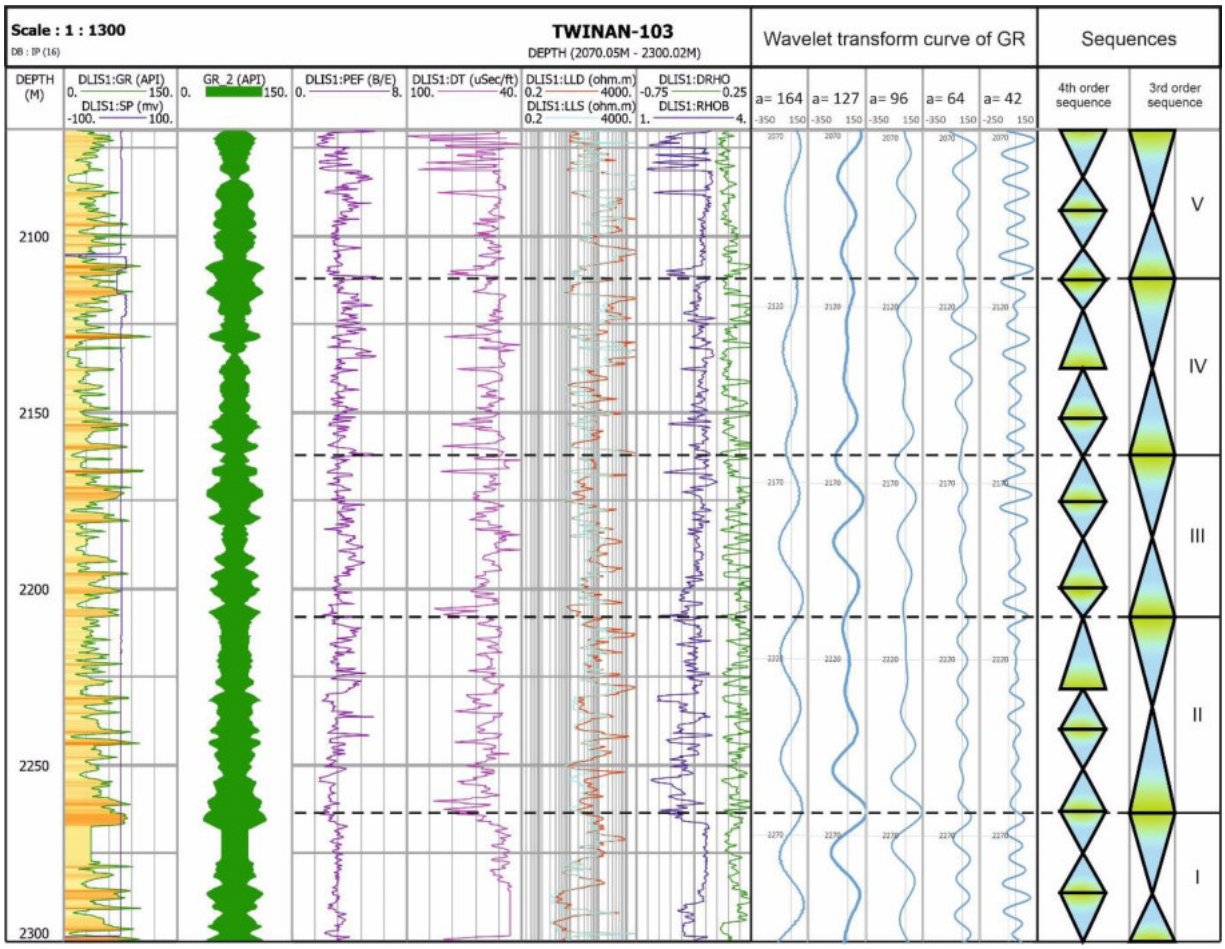

Рисунок 1. Вейвлет-анализ каротажных данных Куррачинской доломитовой формации по скважине TW-103

Финансирование: Работа выполнена за счет средств Программы стратегического академического лидерства Казанского (Приволжского) федерального университета (ПРИОРИТЕТ-2030)».

Список литературы:

1. Brew G., Barazangi M., Al-Maleh A. K., Sawaf T. Tectonic and geologic evolution of Syria. GeoArabia, 2001. V. 6. № 4. P. 573–616.
2. Lučić D., Ivkovič Z., Foršek G., Takač D., Bubnič J., Koch G. Depositional sequences and palynology of Triassic carbonate-evaporite platform deposits in the Palmyrides, Syria, Geological Society, London. Special Publications. 2010. V. 329. № 1. P. 43–63.
3. Mohammad N., Hamada N., Tawil A., Abdullah A., Al-tarboush A. Lithostratigraphy and geological evolution of Triassic rocks in the Palmyride Basin in Syria. Izvestiya Ural'skogo gosudarstvennogo gornogo universiteta [News of the Ural State Mining University]. 2023. V. 2. № 70. P. 7–17.
4. Pan S. Y., Hsieh B. Z., Lu M. T., Lin Z. S. Identification of stratigraphic formation interfaces using wavelet and Fourier transforms. Computers & Geosciences. 2008. V. 34. № 1. P. 77–92.

ВЫДЕЛЕНИЕ АНОМАЛИЙ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ДАННЫХ МАГНИТНЫХ СЪЕМОК

Набиева В. Р., Терешкин С. А.*

[1]ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», Иркутск, Россия
*e-mail: nabieva.valeriya@geo.isru.edu

Аннотация. Данная работа нацелена на разработку формализованного выделения локальных магнитных аномалий для последующей каскадной инверсии. Рассмотрены три показателя аномальности, вычисленных в скользящем окне по полю с исключенным уровнем фона: A_1 – средний модуль значений поля, A_2 – стандартное отклонение, A_3 – сумма среднего и стандартного отклонения. Эти показатели рассчитаны для модельного магнитного поля с разным уровнем псевдослучайного шума. По результатам проведенного математического моделирования выявлено, что показатель A_1 работает наиболее эффективно при различном уровне случайных помех.

Ключевые слова: выделение аномалий, скользящее окно, показатели аномальности.

ANOMALY IDENTIFICATION FOR AUTOMATED INTERPRETATION OF MAGNETIC SURVEY DATA

Nabieva V. R., Tereshkin S. A.*

INRTU, Irkutsk, Russia, nabieva.valeriya@geo.isru.edu

Abstract. This study aims to develop a formalized method for identifying local magnetic anomalies to facilitate subsequent cascade inversion. Three anomaly indicators are considered: A_1 represents the average absolute value of the field, A_2 denotes the standard deviation, and A_3 is the sum of the average and standard deviation. These indicators are computed in a sliding window over a field with the background level excluded. The study also examines their computation for a model magnetic field with varying levels of pseudo-random noise. The results from mathematical modeling indicate that the A1 indicator is most effective at different levels of random interference.

Keywords: anomaly detection, sliding window, anomaly indicators.

Современные магнитные съемки проводят на значительных площадях с высокой плотностью наблюдений и последующей автоматизированной интерпретацией данных. Процесс такой интерпретации в явном или неявном виде основан на использовании аномальных особенностей магнитного поля, обусловленных физико-геологическими неоднородностями изучаемой среды. Выделение и прослеживание аномалий используется для решения широкого круга задач геологического картирования, прогнозирования и поисков с применением алгоритмов, основанных на различных предположениях о возможных свойствах аномалий и критериях их обнаружения [2, 3].

Далее решение задачи формализованного выделения аномальных областей магнитного поля рассмотрено с точки зрения их использования в процессе автоматизированного решения обратной задачи магниторазведки. В частности, выделение аномалий и определение параметров порождающих их магнитных объектов может проводится с использованием алгоритма каскадной инверсии [1]. В отличие от технологий инверсии магнитного поля, основанных на использовании сеточных моделей большой размерности и применяемых сразу ко всей рассматриваемой площади [6, 7], каскадная

инверсия реализует итеративный подход к решению обратной задачи магниторазведки для аномальных областей, последовательно выделяемых на площади задания поля.

Будем рассматривать аномальную область как «*отклонение в структуре поля от некоторых общих закономерностей, проявляющихся на площади, превышающей размеры рассматриваемой аномалии*» [4]. Выделение такого рода отклонений может быть основано на формализации этого понятия в виде некоторого числового показателя, отражающего основные и достаточно простые признаки «аномальности», а именно: уровень и градиент. Рассмотрены три варианта такого показателя, вычисляемого в «скользящем» окне по полю с исключенным уровнем фона: A_1 – средний модуль значений поля, который отражает его уровень и градиент; A_2 – стандартное отклонение поля, отражающее преимущественно градиент; A_3 – сумма среднего и стандартного отклонения поля, которая характеризует уровень и градиент. Все три показателя в той или иной степени реагируют на «*отклонение в структуре поля от некоторых общих закономерностей*», но тестирование на модельных примерах выделения аномалий при различном уровне случайных помех показало более высокую эффективность показателя A_1 (Рисунок 1).

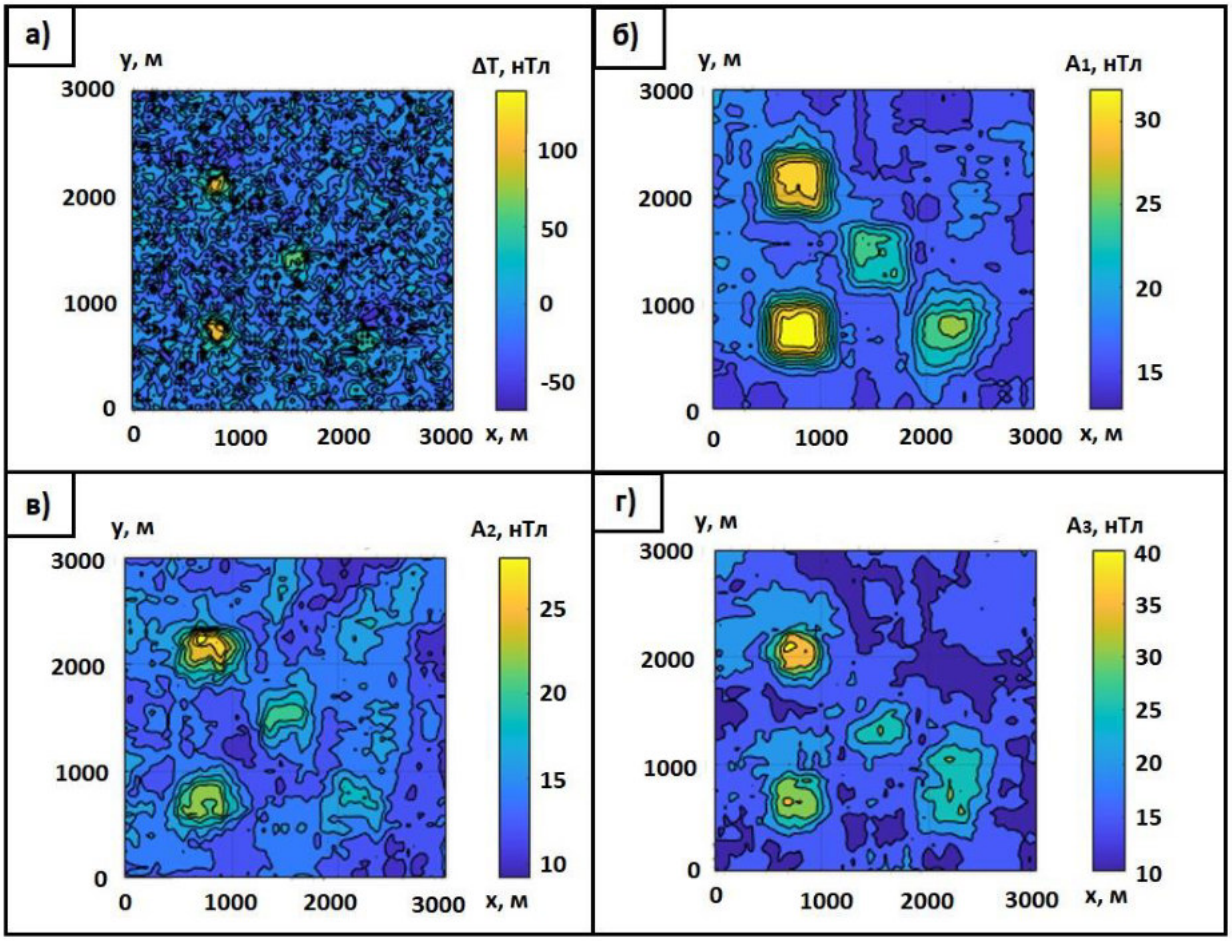

Рисунок 1. Результаты вычисления показателей «аномальности» в скользящем окне размером 500×500 м: а) исходное магнитное поле с наложенным случайным гауссовским шумом интенсивностью 25% максимальной амплитуды аномалий; поля показателей: б) A_1, в) A_2, г) A_3.

Использование «скользящего» окна естественным образом порождает задачу выбора оптимального размера такого окна. Для решения этой проблемы, с учетом необходимости не только выделения, но и определения размеров аномальной области, предложено

проводить вычисление показателя «аномальности» A_1 в прямоугольных окнах переменных размеров. Очевидно, что вычисленные для окна небольшого размера локальные максимумы показателя A_1 будут фиксировать эпицентры аномалий, которые могут быть обусловлены случайными флуктуациями поля помех или иметь сугубо локальный характер, связанный с эффектами поверхностных неоднородностей. В то же время совпадение координат максимумов показателя при различных размерах окон должно свидетельствовать о неслучайности природы выделяемой аномалии. Количество таких совпадений характеризует «качество» выделяемой аномальной области и его предложено считать индексом стабилизации аномалии (ИСА). По максимуму ИСА на исследуемой площади производится выделение аномальной зоны, размеры которой далее определяются по контурам показателя A_1, вычисленного для окна максимального размера, входящего в индекс стабилизации. Такой выбор позволяет максимизировать площадь выделенной аномальной зоны. Действительно, при малых размерах окон, входящих в конкретный ИСА, будут наблюдаться, как правило, значения показателя A_1 более высокие, чем при более значительных размерах окон, хотя именно большой размер окна более адекватно отражает область распространения аномальной зоны, в которой проявлен эффект создающего эту аномалию объекта.

Проведенное математическое моделирование с различными вариантами моделей объектов и случайных помех показало целесообразность использования предложенного алгоритма выделения аномальных зон в процессе автоматизированного решения обратных задач способом каскадной инверсии. Эффективность автоматизированного выделения аномальных зон иллюстрируется примерами интерпретации данных наземной и беспилотной магнитных съемок на археологических объектах древней железоделательной металлургии в Западном Прибайкалье, а также при решении рудных задач в Восточной Сибири и на Дальнем Востоке. Следует также отметить, что предлагаемое вычисление показателя аномальности и индекса стабилизации может быть перспективным также для районирования территорий по данным магнитных съемок при решении задач геологического картирования.

Авторы выражают признательность профессору А. Ю. Давыденко за помощь в постановке задачи и консультации в процессе исследований.

Список литературы:

1. Давыденко А. Ю. Построение интерпретационных моделей с использованием каскадной инверсии гравитационных и магнитных полей. Материалы 50-й сессии Международного семинара им. Д. Г. Успенского - В. Н. Страхова. Москва: ИФЗ РАН. 2024. С. 126 – 131.
2. Калмыков Б. А., Трусов А. А. Технология выделения перспективных амплитудных аэромагнитных аномалий при поисках кимберлитовых тел. Разведка и охрана недр. 2011. №7. С 49-56.
3. Петров А. В., Демура Г. В., Зиновкин С.В. Компьютерная технология статистического и спектрально-корреляционного анализа данных КОСКАД 3D и практические результаты. Недропользование - XXI век. 2017. №1. С. 46-61.
4. Тафеев Г.П., Соколов К.П. Геологическая интерпретация магнитных аномалий. Ленинград. Недра. 1981. 237 с.
5. Cuma, M., Wilson, G., and Zhdanov, M.S. Large-scale 3D inversion of potential field data. Geophysical Prospecting. 2012. V. 60. № 6. P. 1186-1199.

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БЕСКОНТАКТНОЙ ТЕХНОЛОГИИ МЕТОДА СОПРОТИВЛЕНИЙ ДЛЯ КАРТИРОВАНИЯ ГРАНИЦ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ СТРУКТУР ПРИ ПОИСКЕ КОРЕННОГО ЗОЛОТА В БОДАЙБИНСКОМ РАЙОНЕ

Трофимов И.В., Башкеев А.С., Савченко В.А, Коншин И.О.*

Институт Сибирская школа геонаук ИРНИТУ, Иркутск, Россия
*e-mail: itrofimov@geo.istu.edu

Аннотация. В работе рассмотрена возможность использования бесконтактной технологии метода сопротивлений в качестве замены традиционным гальваническим методам в северных районах с наличием плохого качества заземления. Были апробированы две методики измерений и сформулированы выводы. Описано наиболее перспективное геологическое подразделение в Бодайбинском районе и его отражение в физических полях. Электроразведочные данные были проинтерпретированы и сопоставлены с результатами БПЛА-магниторазведки и геологическими наблюдениями. Были сформулированы выводы по результатам применения метода.

Ключевые слова: БИЭП, ВЕГА, БПЛА, коренное золото

THE EXPERIENCE OF USING CONTACTLESS TECHNOLOGY OF THE RESISTANCE METHOD FOR MAPPING THE BOUNDARIES OF GEOLOGICAL STRUCTURES IN THE SEARCH FOR VEIN GOLD IN THE BODAIBINSKY DISTRICT

Trofimov I.V., Bashkeev A.S., Savchenko V.A., Konshin I.O.*

Institute «Siberian school of geoscience», Irkutsk, Russia
*itrofimov@geo.istu.edu

Abstract. The paper considers the possibility of using contactless resistance method technology as a replacement for traditional galvanic methods in northern areas with poor grounding quality. Two measurement methods were tested and conclusions were formulated. The most promising geological subdivision in the Bodaibinsky district and its manifestation in physical fields are described. The electrical exploration data were interpreted and compared with the results of UAV magnetic exploration and geological observations. Conclusions were formulated based on the results of the method application.

Keywords: CMEF, VEG, UAV, vein gold

Для решения рудных задач зачастую используются традиционные гальванические методы - электротомография (ЭТ) или метод срединного градиента и вызванной поляризации (СГ-ВП), которые позволяют получить качественные данные только при наличии хорошего качества заземления, что не всегда возможно обеспечить в северных районах. Также, в настоящее время большой интерес имеют детальные площадные работы масштабами 1:20000 или 1:10000, что делает применение традиционных методов слишком дорогим.

Отличной заменой может стать бесконтактная технология метода сопротивлений – бесконтактное измерение электрического поля (БИЭП). Данный метод позволяет работать в северных районах и ускоряет процесс измерений за счет простоты методики измерения по сравнению с гальваническими методами.

В работе представлен опыт использования метода БИЭП для картирования границ геологических структур при поиске рудного золота. Электроразведочные работы проводились на двух площадях общей площадью 13 км^2. Оба участка относятся к одной и той же геологической ситуации, что позволяет сравнить две использованные методики измерений.

Многие крупные месторождения Бодайбинского района связаны с Аунакитской свитой (au), а именно - верхней пачкой средней подсвиты (au_2^2) и ее нахождением в антиклинали. Данное подразделение выделяется в магнитном поле характерным изменением от минимальных до максимальных значений модуля полного вектора напряженности магнитного поля. Электроразведочная съемка же позволяет расчленять Аунакитскую свиту на подсвиты.

Электроразведочные работы проводились с использованием многоканальной аппаратуры «ВЕГА» [1]. Основным различием в методике измерений заключалось в том, что на второй площади измерения проводились без четкой фиксации тока. Таким образом, на второй площади ток изменялся от 5 до 26 мА. В дальнейшем, при обработке данных это привело утрате информативности за счет уравнивания данных по уровню.

Магниторазведка была выполнена в БПЛА варианте с использованием комплекса SibGIS UAS. В качестве программного обеспечения (ПО) для подготовки полетного задания и планирования использовался модуль в программе QGIS – SibGIS FlightPlanner и ПО с открытым кодом Mission Planner соответственно. Скорость полетов составляла 10 м/с с периодом измерений 2 раза в секунду. Также, в соответствии с требованиями к маловысотной магниторазведочной съемке, использовалась вариационная станция, которая выполняла наблюдения каждые 10 секунд. Высота подъема датчика над землей составляла 55 метров [2].

Сопоставление интерпретации электроразведочных данных и результатов БПЛА магнитометрии (Рисунок 1) показала, что электроразведочные работы находят свое отражение в данных магниторазведки, которая выступала в качестве основного метода. Параллельно с геофизическими работами выполнялись геологические маршруты, которые также подтвердили геофизические данные.

Таким образом, применение БИЭП позволяет уверенно картировать геологические границы по удельному кажущемуся сопротивлению. С помощью геофизических данных были уточнены простирания Анангрской (*an*) и Догалдынской (*dg*) свит, а также разделена Аунакитская свита на верхнюю (au_3) и среднюю(au_2) подсвиты.

По результатам совместной геолого-геофизической интерпретации были выделены наиболее перспективные области и даны рекомендации по буровым работам.

Помимо этого, использование метода БИЭП позволило рационально и экономически эффективно провести геофизические работы, что делает его дальнейшее применение и развитие перспективным. Но для получения более кондиционных данных и увеличения глубинны исследования требуется улучшение аппаратурной части, так как рабочая частота в 16 кГц не позволяет правильно соблюдать методику измерений.

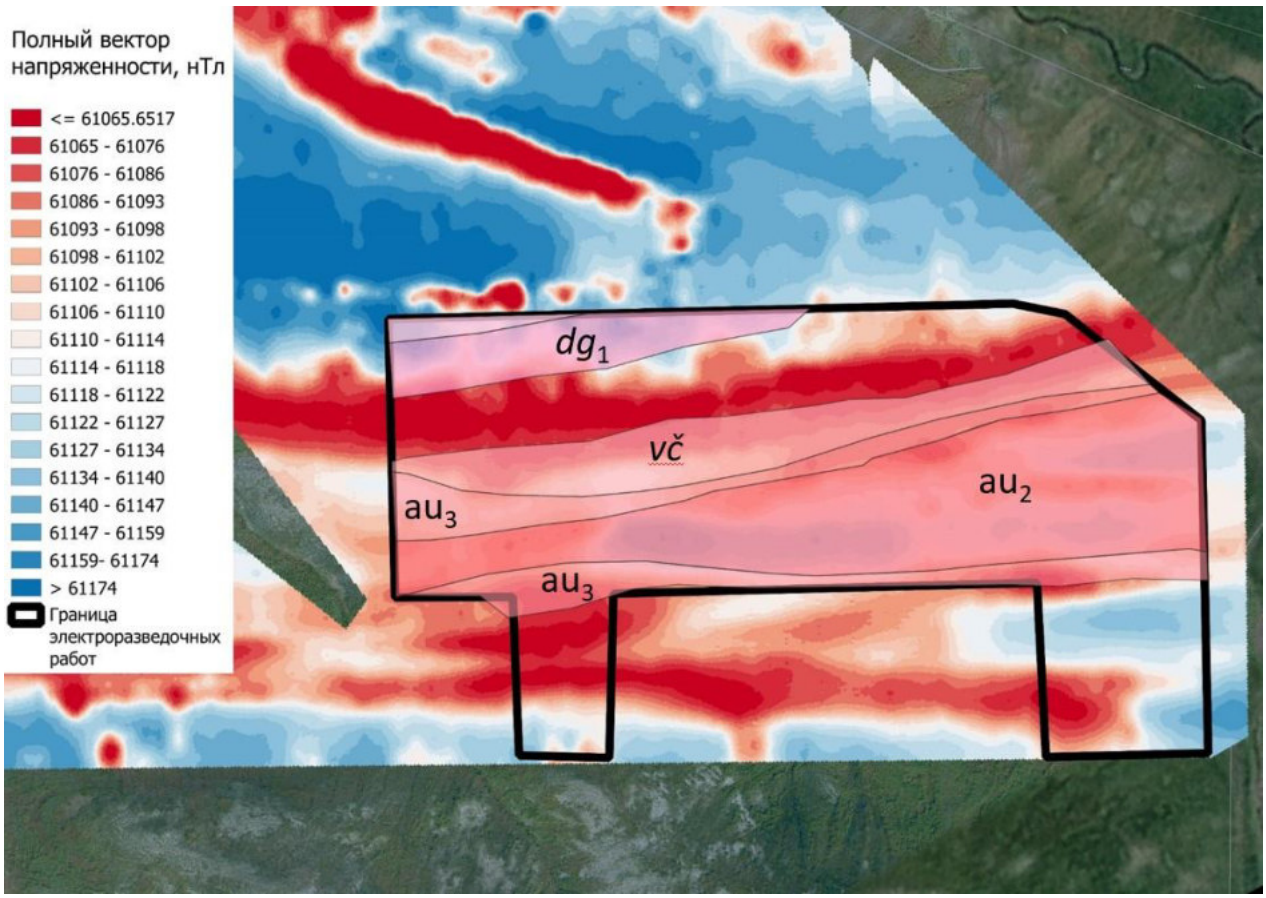

Рисунок 4. Сопоставление интерпретации электроразведочных данных и данных БПЛА-магниторазведки

Список литературы:

1. Электроразведочная высокочастотная станция «ВЕГА» [Электронный ресурс] / ГЕОТЕХ // Режим доступа: https://www.geotech.ru/vega/
2. Паршин А.В. Комплекс для беспилотной аэромагниторазведки. Патент на полезную модель № 172078. Дата регистрации в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации 28.06.2017 г.

3D ЭЛЕКТРОТОМОГРАФИЯ: ПЕРВЫЙ ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НА ПРИМЕРЕ АРХЕОЛОГИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА

Шапаренко И.О.[*]

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, Новосибирск, Россия
*e-mail: shaparenkoio@ipgg.sbras.ru

Аннотация. Метод электротомографии активно развивается, создается новая аппаратура, усовершенствуются методика и программное обеспечение. Начинаясь как инструмент для исследования геоэлектрических разрезов, с развитием технологий этот метод стал использоваться для построения трехмерных моделей среды. В работе описан первый опыт по сравнению трехмерной системы наблюдения с набором параллельных профилей. Результат проведенной работы показывает, что на данном этапе двумерные измерения дают более четкие контуры границ внутри памятника. Трехмерные системы измерений позволяют также получить результат, однако требуют дальнейшего исследования и модернизации.

Ключевые слова: Электротомография, 3D измерения, археогеофизика

3D ELECTRICAL RESISTIVITY TOMOGRAPHY: FIRST USE EXPERIENCE ON THE EXAMPLE OF AN ARCHAEOLOGICAL SITE

Shaparenko I.O.

A.A. Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, Novosibirsk, Russia, shaparenkoio@ipgg.sbras.ru

Abstract. The electrical tomography method is actively developing, new equipment is being created, methods and software are being improved. Starting as a tool for studying geoelectric sections, with the development of technology, this method began to be used to build three-dimensional models of the environment. The paper describes the first experiment in comparing of a three-dimensional observation system with a set of parallel profiles. The result of the work carried out shows that at this stage, two-dimensional measurements provide clearer contours of the boundaries inside the object. Three-dimensional measurement systems also allow obtaining results, but require further research and modernization.

Keywords: ERT, 3D measurements, archaeogeophysics

Введение. Метод электротомографии активно развивается с начала 21-го века. Изначально измерения проводились под одной линией (профилем), далее по мере развития технологий появились работы с набором параллельных профилей, а затем и трехмерные системы наблюдения. В настоящее время, трехмерные системы наблюдения используются нечасто. Причин тому несколько: во-первых, для плотной сети наблюдения требуется большое количество электродов, одновременно подключенных к аппаратуре; во-вторых, не так много задач, где трехмерная система наблюдений имеет преимущество перед плотной сетью параллельных профилей; в-третьих, создание протоколов для трехмерных систем наблюдения слабо развито и требует усовершествования. Например, 3D системы измерения применяются для исследования пирамид в Мексике [3], грунта под зданиями [5], либо для изучения локальных аномалий [2].

Целью работы является оценка целесообразности применения 3D протоколов электротомографии для исследования археологических объектов.

Объектом исследования является археологический памятник Новосибирской области Конево-10. На поверхности объект явно не проявляется, располагается на перекопанном сельскохозяйственном поле. Методы электроразведки помогают археологам определить внутреннее строение памятника, не нарушая его целостности [1].

При проведении исследований набором параллельных профилей была использована 32-х электродная 4-х канальная аппаратура «Скала 32К4», а для измерений трехмерной системой наблюдений - 64-х электродная 15-ти канальная аппаратура Скала 64К15Е [4]. Были проведены исследования по системе параллельных профилей длиной 31 м, с шагом 1 м по профилю и 2 м между профилями. А также, по трехмерной системе наблюдений, состоящей из двух параллельных кабелей по 32 электрода на расстоянии 4 м друг от друга.

Результаты. По результатам проведенных работ произведена инверсия данных ЭТ в программах Res3D, ERTLab и DiInSo. Выбраны самые информативные срезы на глубине 0.6м (Рисунок 1).

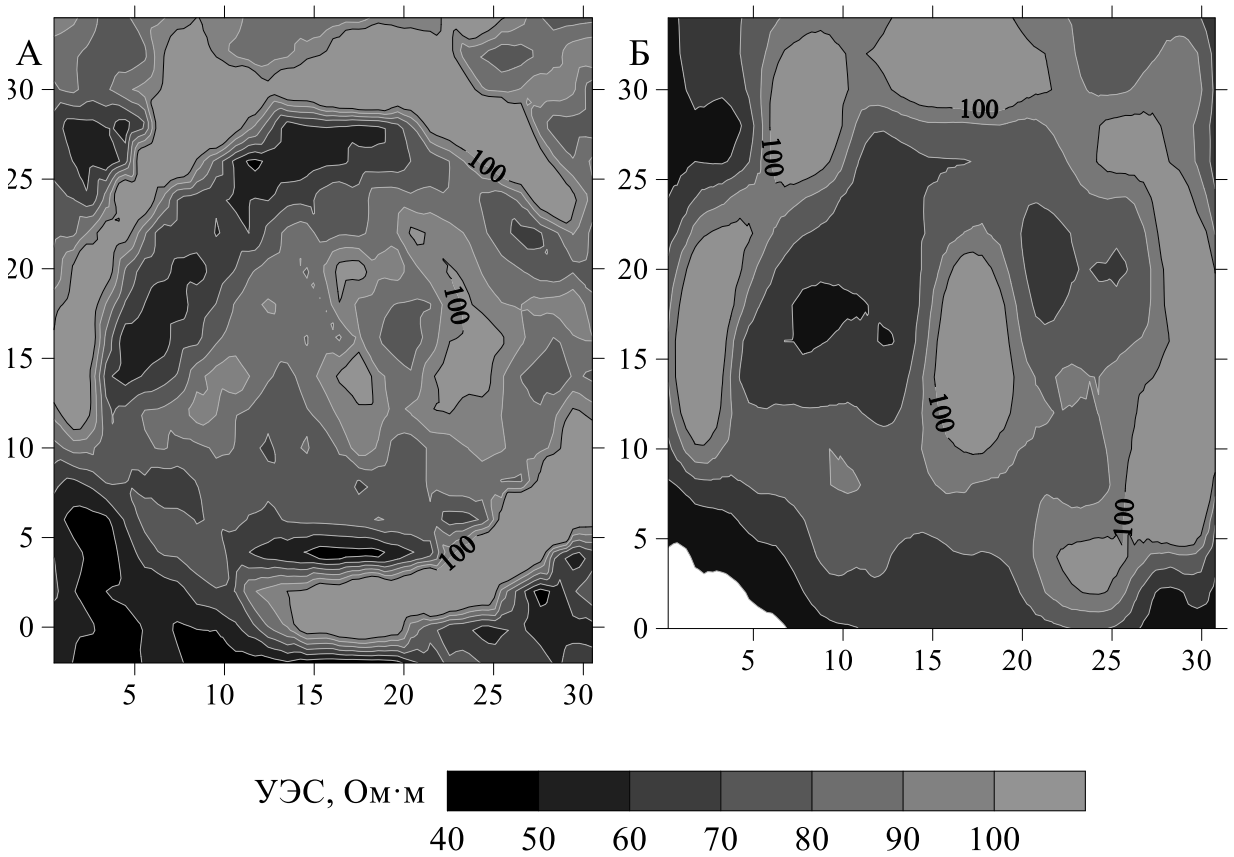

Рисунок 1. Срез по глубине 0.6 м по результатам инверсии 2D (А) и 3D данных (Б).

На рисунке 1А видно, что ров вокруг кургана хорошо выделяется повышенными значениями УЭС. В свою очередь, в юго-западной части наблюдается прерывание рва, что может быть связано со входом в курган. По данным 3d исследования (Рисунок 1Б) ров тоже можно выделить, однако он более размыт, контуры не такие четкие.

Выводы. По результатам проведенных работ можно сказать, что набор параллельных профилей дает лучшую детальность исследования, чем система трехмерных наблюдений. Однако, и по 3D измерениям можно грубо определить структуру объекта. Поэтому следует продолжить исследование возможностей 3D наблюдений: изучать чувствительность, создавать новые измерительные протоколы, проводить математическое и физическое моделирование.

Финансирование: Работа выполнена при финансовой поддержке Программы фундаментальных научных исследований № FWZZ-2022-0025.

Список литературы:

1. Балков Е. В., Карин Ю.Г., Позднякова О.А., Фадеев Д.И., Шапаренко И.О. Комплексирование аэрофотосъемки, электромагнитного профилирования и электротомографии для изучения древних археологических поселений и городищ Новосибирской области. Геофизика. 2023. №. 1. С. 26-33.
2. Бобачев А. А. Применение дипольной экваториальной установки для 3D электротомографии. Инженерная и рудная Геофизика 2023. 2023. С. 619-622.
3. Chávez R. E., Tejero-Andrade A., Cifuentes G., Argote-Espino D. L., Hernández-Quintero E.. Karst detection beneath the pyramid of El Castillo, Chichen Itza, Mexico, by non-invasive ERT-3D methods. Scientific Reports. 2018. Т. 8. №. 1. P. 15391.
4. https://kbelectrometry.ru/catalog/skala-64k15. Дата обращения 21.06.2024
5. Trogu A., Ranieri G., Fischanger F. 3D Electrical Resistivity Tomography to Improve the Knowledge of the Subsoil below Existing Buildings. Environmental Semeiotics. 2011. V. 4. № 4. P. 63-70.

ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ПОИСКЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОТОМОГРАФИИ НА ТЕРРИТОРИИ БОДАЙБИНСКОГО РАЙОНА ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ

Шойхонова Т.С.[1], Бирюков П.Г.[1], Шкиря М.С.[2]*

[1]Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия
[2]ООО «Геоэлектрика», Новосибирск, Россия
*e-mail: tshoikhonova@geo.istu.edu

Аннотация. В статье рассматривается применение численного моделирования данных электротомографии при поиске подземных вод на севере Иркутской области. Предложен первый этап методики, направленной на поиск подземных вод в Бодайбинском районе методом электротомографии. Выполнение моделирования позволило сформировать предварительные выводы о возможности выделения обводненных зон на качественном уровне. На следующем этапе моделирования будут рассмотрены такие параметры как мощность обводненной зоны и др. Это позволит выявить, как искомый объект будет отображаться на результатах инверсии при различных условиях залегания.

Ключевые слова: численное моделирование, электротомография, подземные воды, многолетнемерзлые породы

APPLICATION OF MATHEMATICAL MODELING IN THE SEARCH FOR GROUNDWATER USING ELECTRICAL TOMOGRAPHY IN THE BODAIBINSKY DISTRICT OF THE IRKUTSK REGION

Shoykhonova T.S.[1], Biryukov P.G.[1], Shkirya M.S.[2]*

[1]Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia, tshoikhonova@geo.istu.edu
[2]Geoelectrica LLC, Novosibirsk, Russia

Abstract. The article proposes the use of a methodological study of electrical tomography data when searching for groundwater in the north of the Irkutsk region. The first stage of a methodology aimed at searching for groundwater in the Bodaibo region using electrical tomography is proposed. The development presents preliminary conclusions about the possibility of identifying flooded zones at a qualitative level. At the next stage of the study, parameters such as the thickness of the flooded zone, etc. will be considered. This will reveal how the desired object will be in inversion conditions under different bedding conditions.

Keywords: numerical modeling, electrical resistivity tomography, groundwater, permafrost

Подземные воды представляют собой важный источник питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения, и в связи с постоянным увеличением потребности в них возрастает необходимость изыскания новых резервов. Основным методом при поиске подземных вод является бурение скважин, однако данный метод является дорогим. Поэтому для снижения себестоимости геологоразведочных работ часто применяют геофизические методы, среди которых электроразведка, а в частности метод электротомографии (ЭТ), чаще всего применяется при разведке подземных вод. ЭТ является универсальным и рентабельным методом поиска подземных вод в различных геологических обстановках, однако требования к методике, которые могли бы регламентировать необходимый масштаб и детальность съёмки при поиске подземных вод в той или иной геологический ситуации, на данный момент отсутствуют.

Перед проведением любых геофизических работ необходимо выполнить моделирование, то есть решить прямую и обратную задачу геофизики, для оценки эффективности применения выбранного метода в текущей геологической обстановке. Моделирование данных ЭТ и последующая их инверсия позволит лучше изучить чувствительность и разрешающую способность установок к заданной модели среды [1]. Таким образом, целью исследования является уточнение методики работ методом электротомографии при наличии различных осложняющих факторов на поиск подземных вод в Бодайбинском районе посредством математического моделирования.

В гидрогеологическом отношении участок находится в границах Нечеро-Жуинского артезианского бассейна. Согласно имеющейся информации, водоносные зоны в данном районе приурочены к таликам четвертичных отложений, распространенных вдоль водотоков (на участке работ – р. Жуя и ее притоки), и к зонам повышенной трещиноватости протерозойских отложений, наиболее выраженным непосредственно под нижней границей многолетнемерзлых пород (ММП).

Первым этапом моделирования является построение априорной модели, по которой будут производиться расчёты. Однако отсутствие информации о глубине залегания объекта подвело к определению детерминированной модели. Данный тип модели получают путем расчета ожидаемых аномальных эффектов при точно заданных значениях петрофизических и морфологических параметров [2]. Для того, чтобы прийти к данной модели, необходимо определить наименее благоприятные условия, при которых можно локализовать искомый объект, представленный обводненной зоной.

Перед выполнением численного моделирования был взят опорный геологический профиль с участка работ, выбранный за основу формирования упрощенного геоэлектрического разреза. Разрез представлен тремя слоями: первый слой – плотные известняки пород имняхской свиты протерозойского комплекса со значениями удельного электрического сопротивления (УЭС) 3000 Ом·м, далее идет слой перекрывающих их пород четвертичной системы – крупнообломочные супеси/валунники со значениями УЭС 1000 Ом·м; и третий слой – мелкообломочные супеси/суглинки, УЭС которых равнялось 300 Ом·м.

Были рассмотрены три варианта условий залегания подземных вод (Рисунок 1) на исследуемой территории. В модели А наш объект представлен трещиноватой обводненной зоной мощностью 20 м, расположенной в известняках. В модели Б объект перекрыт зоной ММП мощностью 5 м, которые выступают экраном для электроразведки, тем самым усложняя поиск подземных вод. Третья модель В показывает приуроченный к четвертичным отложениям надмерзлотный талик с мощностью 10 м.

За основу синтетических моделей были взяты две модели А и Б. Основными задачами моделирования являлись выявление объектов поиска в данной геологической ситуации и оценка возможности выделения обводненной зоны при наличии зоны ММП и ее отсутствии. Таликовые зоны на данном этапе не рассматривались.

Моделирование выполнялось в ПО «ZondRes2D». При выполнении расчетов применялась комбинация прямой и обратной трехэлектродной установок, а также установка Шлюмберже. Межэлектродное расстояние было равно 10 м. Для мерзлоты задавалось значение УЭС 5000 Ом·м, УЭС объекта равнялось 400 Ом·м [5].

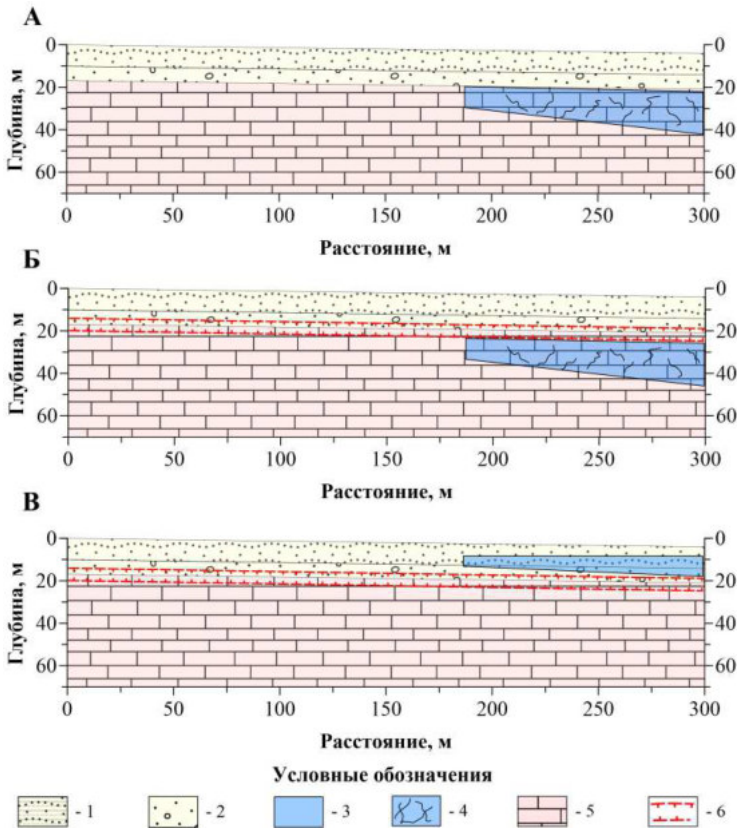

Рисунок 5. Схематические геологические разрезы с различными условиями залегания подземных вод (обводненной зоны): 1 - Мелкообломочные супеси/суглинки; 2 - Крупнообломочные супеси/валунники; 3 – Талик; 4 – Трещиноватая обводненная зона; 5 – Известняки плотные; 6 – зона ММП

Искомый объект располагался в центре модельного профиля, а также на конце установки. Таким образом было получено четыре разреза по результатам инверсии. При наличии зоны ММП появляются ложные аномалии, протягивающие низкоомную зону вниз, поэтому определить глубину расположения подошвы объекта затруднительно. При отсутствии зоны ММП наблюдаются низкоомные артефакты инверсии в слое плотных высокоомных известняков.

Таким образом, выполнение численного моделирования позволило сформировать предварительные выводы по возможности выделение обводненных зон на качественном уровне. На следующем этапе моделирования будут рассмотрены такие параметры как мощность обводненной зоны, соотношение полезный сигнал/шум, УЭС высокоомных отложений. Это позволит выявить, как искомые обводненные зоны будут отображаться на результатах инверсии при различных условиях залегания, тем самым облегчив интерпретацию результатов электротомографической съемки.

Список литературы

1. Вахромеев Г.С., Давыденко А.Ю. Моделирование в разведочной геофизике. Москва. Недра. 1987. 192 с.
2. Шеин А., Оленченко В. В. Прямые и обратные задачи электротомографии для рудной геофизики. Новосибирск. ИПЦ НГУ. 2021. 130 с.
3. Шойхонова Т.С., Крайнова Е.А., Шкиря М.С., Башкеев А.С., Давыденко Ю.А. Проведение инженерно-геофизических работ методом электротомографии при поиске подземных вод на примере участка «Светлый» в Бодайбинском районе Иркутской области. Общество с ограниченной ответственностью «ЕАГЕ ГЕОМОДЕЛЬ». Конференция «ГЕОБАЙКАЛ 2022» Иркутск, 27 февраля–03 марта 2023 года.

ЗАВИСИМОСТЬ СМАЧИВАЕМОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ИСКОПАЕМЫХ УГЛЕЙ ОТ ИХ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

Яркова А.В., Семенова С.А., Патраков Ю.Ф.*

Институт угля Федерального исследовательского центра Угля и углехимии СО РАН, Кемерово, Россия
*e-mail: nas.yarkova1998@yandex.ru

Аннотация. На основе сопоставления данных элементного анализа, ИК-спектроскопии и порометрии установлены принципиальные отличия химического состава углей разных стадий метаморфизма и петрографического состава. Установлено влияние физико-химических свойств на смачиваемость поверхности углей водой. Показано, что угли с повышенной пористостью и содержанием кислородных функциональных групп обладают повышенной гидратированностью поверхности и смачиваемостью.

Ключевые слова: каменный уголь, химический состав, функциональные группы, пористость, смачиваемость поверхности

DEPENDENCE OF THE SURFACE WETTABILITY OF FOSSIL COALS ON THEIR PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES

Yarkova A.V., Semenova S.A., Patrakov Yu.F.*

Federal research center of coal and coal chemistry, SB RAS (Institute of coal), Kemerovo, Russia, nas.yarkova1998@yandex.ru

Abstract. Based on the comparison of data from elemental analysis, IR spectroscopy and porometry, fundamental differences in the chemical composition of coals of different stages of metamorphism and petrographic composition have been established. The influence of physico-chemical properties on the wettability of the surface of coals with water has been established. It is shown that coals with increased porosity and content of oxygen functional groups have increased surface hydration and wettability.

Keywords: coal, chemical composition, functional groups, porosity, surface wettability

Внедрение высокопроизводительных горных машин при разработке угольных месторождений способствует повышенному пылеобразованию, газодинамическим явлениям и самовозгоранию. Безотходные технологии обогащения углей с применением флотационных методов зависят от свойств внешней поверхности углей. Поэтому в рамках развития научных основ для разработки мероприятий по пожаро-взрывобезопасности и технологий флотационного обогащения углей представляется актуальным изучение смачиваемости угольной поверхности.

Факторы, оказывающие влияние на смачиваемость угольной поверхности, включают: химические свойства - наличие полярных функциональных О-групп, зависящих от степени метаморфизма, петрографического состава и окисленности; физические свойства - пористость, локальные дефекты, трещины, а также состав минеральных составляющих, различающихся по гидрофильности и степени диспергирования в основной угольной массе [1, 2].

Цель данной работы – выявить влияние физико-химических свойств и особенностей углей разных стадий метаморфизма на смачиваемость их поверхности.

В качестве образцов исследования испытан ряд углей разной степени метаморфизма и петрографического состава месторождений Хакасии (Д, ДГ, Г), Кузбасса (ГЖ, Ж, СС, КС, ОС, Т) и Новосибирской области (А). Физико-химические свойства испытанных угольных образцов приведены в таблице.

Таблица 1. Физико-химические свойства испытанных угольных образцов

Марка угля	Влага W^a, %	Зольность A^d, %	Показатель отражения витринита R_o, %	Петрографический состав, %			Содержание элементов, % на daf*			Удельная поверхность S_{BET}, $м^2/г$	Индекс гидрофильности *HI*, отн. ед.
				Vt	Sv	I	C	H	O+N + S		
Д	4,9	3,5	0,57	94	1	5	76,4	5,7	17,9	43,04	3,25
ДГ	3,8	3,0	0,59	63	6	21	80,1	5,2	14,7	12,63	2,99
Г	2,1	4,9	0,76	84	6	10	81,6	4,9	13,5	2,46	2,21
ГЖ	1,2	3,4	0,79	86	5	9	83,5	5,3	11,2	2,13	1,52
Ж	0,7	5,3	0,98	89	3	8	86,5	5,8	7,7	1,25	0,88
СС	1,0	1,3	1,10	33	5	72	87,0	4,7	8,3	1,93	0,64
КС	1,3	5,6	1,21	35	8	57	88,5	4,5	7,0	1,80	0,49
ОС	0,7	7,1	1,30	65	14	21	89,3	4,2	6,5	1,20	0.40
Т	0,7	12,2	1,86	50	8	42	90,3	3,6	6,1	2,48	0,37
Т	0,9	7,2	1,91	65	6	29	91,2	3,2	5,6	3,09	0,57
Т	1,4	6,5	2,24	69	5	26	92,3	2,8	4,9	3,76	1,13
А	2,8	4,8	4,6	23	14	63	94,6	1,4	4,0	7,80	1,40

*индексы в таблице указаны для параметров, приведенных на состояние топлива: a – аналитическое, d – сухое, daf – сухое беззольное.

Оценку смачиваемости поверхности угля проводили: по определению краевого угла θ смачивания по капле воды поверхности монолитной шлифованно-полированной частицы угля [3] (Рисунок 1а); использованием модернизированной методики оценки скорости поглощения воды слоем угольного порошка с учетом изменения давления на границе жидкость-газ в слое угля (Рисунок 1б) [3]. Пористое пространство между частицами рассматривается как система тонких капилляров.

Исследуемые угольные образцы малозольные, витринитовые до средней стадии метаморфизма (Д-Ж) и с повышенной доли инертинита у более зрелых углей (СС-А) (Таблица 1). При расположении углей в соответствии с повышением степени метаморфизма наблюдается закономерное изменение физико-химических свойств, обеспечивающих угольной поверхности гидрофильные либо гидрофобные свойства, а именно: снижение содержания кислорода, полярных OH+COOH функциональных групп (ИКС-параметр HI [3]), пористости и, во взаимосвязи с этим, связанной влаги (Таблица 1). В соответствии с изменением этих параметров в ряду метаморфизма углей отмечается повышение краевого угла смачивания θ (Рис. 1, а) и начального градиента напора воды $\Delta P_н$ (Рисунок 1б) при переходе от низко- к среднеметаморфизованным углям (Д→Ж), что свидетельствует о росте гидрофобности их поверхности. При дальнейшем увеличении зрелости углей (СС→А), данные параметры смачиваемости вновь понижаются во взаимосвязи с увеличением их пористости.

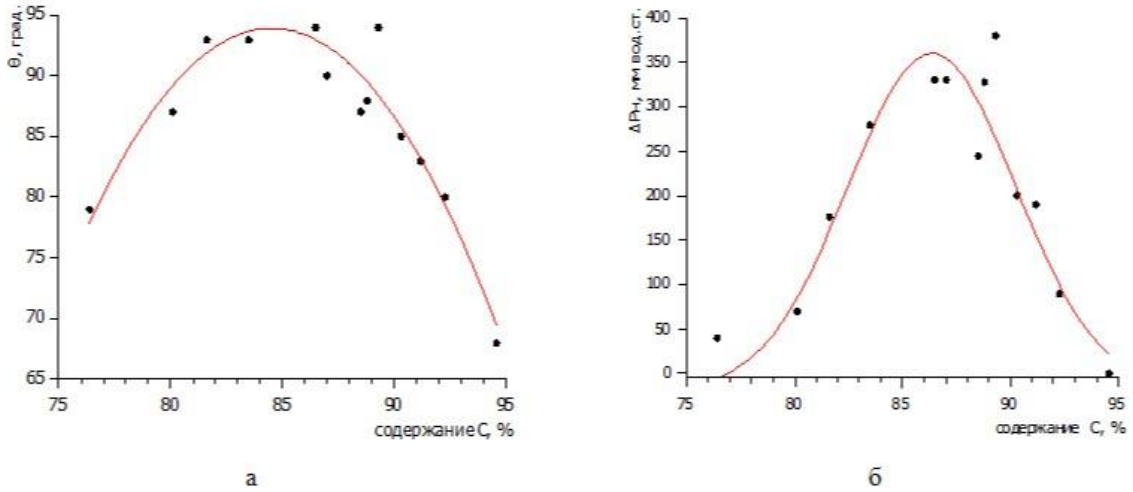

Рисунок 1. Зависимость краевого угла смачивания θ (а) и начального градиента напора воды $\Delta P_н$ (б) от содержания углерода (степени метаморфизма углей)

Финансирование: Работа выполнена в рамках государственного задания по проекту FWEZ-2021-0002 (рег. № АААА-А21-121012290021-1) и финансировалась ФГБНУ ФИЦ УУХ СО РАН.

Список литературы:

1. Van Krevelen Dirk W. Coal: typology, physics, chemistry, constitution. Amsterdam. Elsevier, 1993. 979 p.
2. Laskowski J.S. Coal flotation and fine coal utilization, Amsterdam. Elsevier. 2001. 368 p.
3. Патраков Ю.Ф., Семенова С.А., Яркова А.В. Исследование смачиваемости угольной поверхности фильтрацией жидкости через пористый слой. Завод. Лаб. Диагн. Матер. 2023. Т. 89. №5. С. 28-35.

Секция Геомеханика, горные машины и технологии для разработки месторождений полезных ископаемых

РАСЧЕТ И ПРИМЕНЕНИЕ СТАТИЧЕСКОГО КОЭФФИЦИЕНТА ПУАССОНА ПРИ ОПТИМИЗАЦИИ ГИДРОРАЗРЫВА ПЛАСТА

Новоселя П.А.[1,2], Непоп Р.К. [1,3]*

[1]ООО «ПетроГМ», Новосибирск, Россия
[2] Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука, Новосибирск, Россия
[3]Институт геологии и минералогии им В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия
*e-mail: novoselya.pa@petrogm.com

Аннотация. Коэффициент Пуассона играет важную роль при моделировании гидроразрыва пласта, однако на практике, ввиду сложности определения статического коэффициента Пуассона, зачастую прибегают к упрощенному использованию вместо него динамического коэффициента, что снижает достоверность геомеханической модели. В данной работе различными способами были рассчитаны корреляционные зависимости для определения статического коэффициента Пуассона, что позволило максимально достоверно описать напряженно-деформированное состояние горного массива и провести оптимизацию дизайна ГРП.

Ключевые слова: геомеханическое моделирование, ГРП, коэффициент Пуассона, сложное напластование

CALCULATION AND APPLICATION OF STATIC POISSON'S RATIO IN OPTIMIZATION OF HYDRAULIC FRACTURING

Novoselya P.A.[1,2], Nepop R.K. [1,3]

[1]LLC «PetroGM», Novosibirsk, Russia, novoselya.pa@petrogm.com
[2]A.A. Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics, Novosibirsk, Russia
[3]V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, Novosibirsk, Russia

Abstract. Poisson's ratio plays an important role in hydraulic fracturing modeling, but due to its complex definition, the dynamic Poisson's ratio is often used instead, which reduces the reliability of the geomechanical model. In this work, correlation dependencies were calculated in various ways to determine the static Poisson’s ratio, which made it possible to reliably describe the stress state of rocks and optimize hydraulic fracturing.

Keywords: geomechanical modeling, hydraulic fracture, Poisson's ratio, complex stratification

Развитие трещины при проведении гидроразрыва пласта (ГРП) зависит от напряженного состояния горных пород и таких свойств, как: модуль Юнга, коэффициент Пуассона и предел прочности. Эти величины контролируют образование и распространение трещины, а также определяют ее геометрию [1]. Упруго-прочностные свойства пород являются основной входной информацией для дальнейшего моделирования напряженно-деформированного состояния горного массива. Использование внутренне согласованной геомеханической модели позволяет учесть всю доступную информацию и корректно рассчитать параметры геологической среды для их дальнейшего учета при оптимизации дизайна гидравлического разрыва пласта (ГРП).

Определение статических характеристик горных пород является нетривиальной задачей, решение которой подразумевает анализ и увязку в рамках единой

непротиворечивой модели разнообразной и зачастую разномасштабной информации (скважинные данные, данные бурения, керновые исследования и т.д.). Целью данной работы являлось получение надёжных зависимостей для статического коэффициента Пуассона и его применения при моделировании эффективного дизайна ГРП.

В ходе исследования на образцах, отобранных в интервале пласта-коллектора, были проведены специальные керновые исследования: определены ФЕС, акустические свойства, упруго-прочностные характеристики и минеральный состав. Было выделено четыре механические литофации: условные песчаники, карбонатизированные песчаники, глины и глины с переслаиванием. Результаты проведенных керновых исследований позволили рассчитать надежную (R^2=0.73) корреляционную зависимость статика-динамика для коэффициента Пуассона в песчанистых отложениях коллектора. Специфика глинистых отложений и ограниченная статистическая выборка для этой группы пород не позволила получить надежные зависимости статика-динамика для интервалов глинистых отложений. В дополнение к этому, при анализе результатов керновых исследований был выявлен эффект сложного напластования (СН), который позволил учесть особенности распространения трещины в глинистых отложениях покрышки и пропластков [2].

Отметим, что ранее упомянутые зависимости могут использоваться лишь при наличии акустических скважинных данных. При наличии ограниченного комплекса ГИС вне интервала пласта-коллектора корреляционные зависимости рассчитывались на основании значений пористости по данным ГГКп (гамма-гамма плотностной каротаж) или восстановленных через объемную плотность пород с учетом минералогической плотности и плотности пластового флюида. Рассчитанная кривая пористости показала хорошую сходимость с петрофизическими данными по керну. Сравнение кривых, полученных по корреляционным зависимостям на керне и через восстановленную пористость, показало хорошую сходимость и позволило уменьшить величину невязки геомеханической модели.

Изначально, высокие требования к точности моделирования ГРП определялись риском возможного прорыва трещины в вышележащие водоносные пласты. Достоверность геомеханической модели являлась ключевым фактором для достижения запланированных параметров трещины и ее продуктивности.

В процессе моделирования было проведено сравнение динамического и статического коэффициента Пуассона. Дополнительно для каждого исследованного случая проводилось сравнение дизайнов при различных тоннажах закачек в интервале от 10 до 140 т. Профиль минимального горизонтального напряжения, рассчитанный с использованием статического коэффициента Пуассона, показал увеличение напряжений (по сравнению с использованием динамического коэффициента Пуассона) в среднем на 10-12 атм. в условных песчаниках и на 15-20 атм. в карбонатизированных песчаниках. А учет эффекта СН привел к дополнительному увеличению профиля напряжений на ~23 атм. в покрышке. Ниже приведено сравнение параметров трещины ГРП в зависимости от используемых значений коэффициента Пуассона (Таблица 1).

В ходе моделирования ГРП было выявлено существенное влияние коэффициента Пуассона на итоговый дизайн трещины. Решающее значение имеет не только отказ от использования динамического коэффициента Пуассона вместо статического, но и учет эффекта сложного напластования. Таким образом, проведенное комплексное геомеханическое моделирование с учетом результатов керновых исследований позволило обосновать увеличение максимального тоннажа с 30 до 140 т и получить трещину ГРП с полудлиной более чем в 1,6 раза превосходящую изначальную.

Таблица 1. Параметры трещин ГРП в зависимости от используемых при расчетах значений коэффициента Пуассона

Коэффициент Пуассона	**Допустимый тоннаж, т**	**Полудлина, м**	**Высота, м**	**Среднее закреп. раскрытие, мм**
Динамический	30	80	83	1,7
Статический	70	95	85	3
Статический, эффект СН	140	135	74	5,25

Финансирование: Исследования проведены по планам НИР ООО «ПетроГМ».

Список литературы:

1. Alfred R. Jennings, Jr. P.E. Enhanced Well Stimulation. US. OGCI PetroSkills. 2003. 168 с.
2. Непоп Р.К., Смирнов Н.Ю., Рейес Аумада В., Низаметдинова М.А., Колягин А.Г. Учет эффекта сложного напластования при оптимизации гидроразрыва пласта с применением геомеханического моделирования. Нефтяное хозяйство. 2022. № 4. С. 26-31.

Содержание

Секция Минералогия 3

ОСОБЕННОСТИ СОСТАВА КОЛУМБИТОВ ИЗ СПОДУМЕН-АМАЗОНИТОВЫХ ПЕГМАТИТОВ САНГИЛЕНСКОГО НАГОРЬЯ
Акулова Ю.В., Кузнецова Л.Г., Белозерова О.Ю. 3

МИНЕРАЛОГИЧЕСКАЯ И ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КАМЕННЫХ БУСИН КУЛЬТУРНОГО СЛОЯ VII СТОЯНКИ УШКИ I (ЦЕНТРАЛЬНАЯ КАМЧАТКА)
Девятиярова А.С., Сокол Э.В., Федорченко А.Ю. 6

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ CR-ПИРОПОВ ИЗ КСЕНОЛИТОВ ТРУБКИ МИР
Карпутин И.С., Агашев А.М. 9

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕЖДОУЗЕЛЬНЫХ ПАРАМАГНИТНЫХ ЦЕНТРОВ В АЛМАЗЕ МЕТОДОМ ТЕОРИИ ФУНКЦИОНАЛА ПЛОТНОСТИ
Комаровских А.Ю. 12

МИНЕРАЛЬНЫЙ СОСТАВ ПЕРЕРАБОТАННЫХ РУД БЕРИКУЛЬСКОГО ХВОСТОХРАНИЛИЩА (КУЗНЕЦКИЙ АЛАТАУ)
Лобанова К.Н., Шавекина А.Ш., Бортникова С.Б., Волынкин С.С. 15

НАХОДКИ ГИПСА В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ МАЛЫХ ОЗЕР ПОДТАЕЖНОЙ ЗОНЫ ЮГА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ
Малов В.И., Максимова А.А. Страховенко В.Д., Овдина Е.А., Малов Г.И. 18

ПРИРОДА БИОГЕННЫХ ГОРИЗОНТОВ В ОСАДКАХ ДЕНИСОВОЙ ПЕЩЕРЫ
Некипелова А.В., Сокол Э.В., Кох С.Н. , Козликин М.Б. 21

О ВОЗРАСТЕ АУТИГЕННЫХ МЕТАН-ПРОИЗВОДНЫХ КАРБОНАТОВ МОРЯ ЛАПТЕВЫХ
Рубан А.С., Максимов Ф.Е. 24

БЛАГОРОДНЫЕ МЕТАЛЛЫ В ОТХОДАХ ФЛОТАЦИОННОГО ОБОГАЩЕНИЯ СУЛЬФИДНЫХ МЕДНО-НИКЕЛЕВЫХ РУД
Старостина С.И., Шавекина А.Ш., Юркевич Н.В. 27

ТИПОМОРФНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ БАРИТА (ХВОСТОХРАНИЛИЩЕ ДЮКОВ ЛОГ, САЛАИР)
Шавекина А.Ш., Волынкин С.С., Юркевич Н.В., Бондаренко В.П. 30

Секция Экспериментальная минералогия 33

УТОЧНЕНИЕ ФАЗОВОЙ ДИАГРАММЫ СИСТЕМЫ $Na_2Mo_{2x}W_{2(1-x)}O_7$
Артемьева М.А., Григорьева В.Д. 33

МОРФОЛОГИЯ СОЕДИНЕНИЯ $Na_6Mo_{11}O_{36}$ ПРИ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ИЗ РАСПЛАВА В УСЛОВИЯХ НИЗКИХ ГРАДИЕНТОВ ТЕМПЕРАТУР
Бондарева А.Ф., Григорьева В.Д. 36

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ $NaHCO_3$ И Na_2CO_3 ПРИ ВЫСОКИХ *P-T* ПАРАМЕТРАХ В ВОДНОЙ СРЕДЕ
Бородина У.О., Горяйнов С.В., Лихачёва А.Ю. 39

НЕСОРАЗМЕРНАЯ МОДУЛЯЦИЯ В СТРУКТУРЕ ФЛЕЙМИТА ПРИ ВЫСОКОМ ДАВЛЕНИИ
Игнатов М. А., Ращенко С. В., Богданов Н. Е., Романенко А. В., Сокол Э. В., Кох С. Н. 42

МЕХАНИЧЕСКАЯ И ТЕРМИЧЕСКАЯ ГОМОГЕНИЗАЦИЯ СИНТЕТИЧЕСКОГО ПИРРОТИНА ДЛЯ ПОДГОТОВКИ СТАНДАРТОВ ДЛЯ ЛА-ИСП-МС
Климов А.О., Кох К.А. , Абрамова В.Д. 44

ВОЗНИКНОВЕНИЕ НЕСОРАЗМЕРНОЙ МОДУЛЯЦИИ В К-КИМРИТЕ ПРИ ВЫСОКОМ ДАВЛЕНИИ
Романенко А.В., Ращенко С.В., Корсаков А.В, Сокол А.Г. 47

ПОРЯДОК КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ФАЗ В МОДЕЛЬНОЙ ГРАНИТНОЙ СИСТЕМЕ Si-Al-Na-K-Li-F-O-H ПРИ ПОНИЖЕНИИ ТЕМПЕРАТУРЫ ОТ 1000°С ДО 400°С И 1 КБАР С РАЗНЫМ СОДЕРЖАНИЕМ ВОДЫ
Русак А.А., Щекина Т.И. 49

ТВЕРДЫЕ РАСТВОРЫ В СИСТЕМЕ $EuSc_3(BO_3)_4$-$GdSc_3(BO_3)_4$: ФАЗОВАЯ ДИАГРАММА, СИНТЕЗ, РОСТ КРИСТАЛЛОВ, СТРУКТУРА И ЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ
Хан Э.В., Кох А.Е., Кузнецов А.Б., Кох К.А., Рядун А.А., Светличный В.А., Лапин И. Н., Симонова Е.А. 52

Секция Металлогения, минерагения и рудогенез.....54

МИНЕРАЛОГИЯ ЭПИТЕРМАЛЬНОГО ОРУДЕНЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЯ КЫЗЫК-ЧАДР (РЕСПУБЛИКА ТЫВА)
Бунина В.Н., Шавекина А.Ш., Греку Е.Д......54

ЗОЛОТОРУДНОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ АКЖАЛ (ВОСТОЧНЫЙ КАЗАХСТАН): НОВЫЕ МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ И ИЗОТОПНО-ГЕОХРОНОЛОГИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ
Греку Е.Д. 57

ВОЗРАСТНЫЕ ЭТАПЫ СУЛЬФИДНОГО РУДООБРАЗОВАНИЯ В ПРЕДЕЛАХ ТОУПУГОЛ-ХАНМЕЙШОРСКОГО РАЙОНА ПОЛЯРНОГО УРАЛА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ (U,Th)-He ДАТИРОВАНИЯ ПИРИТА
Иванова Е.С.[1], Якубович О.В., Соболев И.Д., Аносова М.О.* 60

ОСНОВНЫЕ ФАКТОРЫ, КОНТРОЛИРУЮЩИЕ ФОРМИРОВАНИЕ ЖЕЛЕЗИСТЫХ ООИДОВ ОСАДОЧНОГО БАССЕЙНА СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО КАВКАЗА (ЛАБИНО-МАЛКИНСКАЯ ЗОНА)
Калинина Н.А., Рудмин М.А., Шерстюков М.П. 64

УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ООИДОВЫХ МОРСКИХ ЖЕЛЕЗНЯКОВ АЯТСКОГО ЖЕЛЕЗОРУДНОГО БАССЕЙНА ТУРГАЙСКОГО ПРОГИБА (СЕВЕРНЫЙ КАЗАХСТАН)
Максимов П.Н. Калинина Н.А., Рудмин М.А., Тажиев С.Р. 67

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ МИНЕРАЛООБРАЗОВАНИЯ ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ КУМРОЧ, КАМЧАТКА
Мильская А.А. 70

ОСОБЕННОСТИ ВЕЩЕСТВЕННОГО СОСТАВА И УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ TE-BI МИНЕРАЛЬНОЙ АССОЦИАЦИИ В КОЛЧЕДАННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ КАЗАХСТАНА
Николаева А.Н., Мазуров А.К. 73

ПЕРСПЕКТИВНОСТЬ СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ КАЛБЫ НА РЕДКОМЕТАЛЛЬНОЕ ОРУДЕНЕНИЕ (ВОСТОЧНЫЙ КАЗАХСТАН)
Ойцева Т.А., Мизерная М.А., Кузьмина О.Н., Айтбаева С.С., Агеева О.В., Ларионова К. Ю. 76

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ МИНЕРАЛОВ ТИТАНА И НИОБИЯ ПРИ МИГРАЦИИ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ ПРОЦЕССАХ И ВЫВЕТРИВАНИИ
Чеботарев Д.А., Сарыг-оол Б.Ю., Козлов Е.Н., Фомина Е.Н., Сидоров М.Ю......79

МИНЕРАЛООБРАЗУЮЩИЕ ФЛЮИДЫ АЯХТИНСКОГО ЗОЛОТОРУДНОГО УЗЛА (ЕНИСЕЙСКИЙ КРЯЖ, РОССИЯ)
Шапаренко Е.О., Петрова М.А. 82

Секция Петрология.....84

ТЕМПЕРАТУРНЫЕ УСЛОВИЯ МЕТАМОРФИЗМА ГОРЕВСКОГО СВИНЦОВО-ЦИНКОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ЕНИСЕЙСКИЙ КРЯЖ)
Волкова В.Е., Сухоруков В.П. 84

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ МАРКЕРЫ ОБРАТНОГО ФРАКЦИОНИРОВАНИЯ РАСПЛАВА ПРИ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ПИКРИТОВЫХ ГАББРО-ДОЛЕРИТОВ НА ПРИМЕРЕ ТАЛНАХСКОГО РАССЛОЕННОГО ИНТРУЗИВНОГО КОМПЛЕКСА

Кузьмин И.А., Толстых Н.Д. 87

ГЕНЕЗИС ЦИРКОНА И БАДДЕЛЕИТА В ПОРОДАХ ВАЛААМСКОГО СИЛЛА (ЛАДОЖСКИЙ ГРАБЕН), РОССИЯ
Лебедева Н.М., Носова А.А., Возняк А.А., Сазонова Л.В., Аранович Л.Я., Борисовский С.Е. 90

ПРИРОДА АНТЕКРИСТОВ ОЛИВИНА В ЛАМПРОФИРАХ ТРУБКИ НАМУАЙВ, КОЛЬСКАЯ ЩЕЛОЧНАЯ ПРОВИНЦИЯ
Лебедева Н.М., Носова А.А., Сазонова Л.В., Каргин А.В., Шайхутдинова Д.Р. 93

ПРИЗНАКИ ЗЮВИТОВ ДОННОЙ ФАЦИИ (НА ПРИМЕРЕ ОБЛОМОЧНЫХ ИМПАКТИТОВ КАРСКОЙ АСТРОБЛЕМЫ)
Максименко Н.И., Шумилова Т.Г. 96

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ НИЖНЕКОРОВЫХ КСЕНОЛИТОВ КИМБЕРЛИТОВОЙ ТРУБКИ УДАЧНАЯ-ВОСТОЧНАЯ
Морозова А. С., Аранович Л. Я., Похиленко Л.Н., Варламов Д. А. 99

НОВЫЕ ДАННЫЕ О ВОЗРАСТЕ И ВЕЩЕСТВЕННОМ СОСТАВЕ УРУЛЬГИНСКОГО КОМПЛЕКСА АРГУНСКОГО ТЕРРЕЙНА (ВОСТОЧНОЕ ЗАБАЙКАЛЬЕ)
Нарыжнова А.В., Крук Н.Н. 102

ПРИРОДА МАГМАКЛАСТОВ В МОНЧИКИТАХ ТРУБКИ ВЗРЫВА НАМУАЙВ (КОЛЬСКАЯ ЩЕЛОЧНАЯ ПРОВИНЦИЯ)
Шайхутдинова Д.Р., Лебедева Н.М., Сазонова Л.В., Каргин А.В., Носова А.А. 105

СРЕДНЕКЕМБРИЙСКИЕ ГАББРО-МОНЦОДИОРИТОВЫЕ МАССИВЫ КОЛЛИЗИОННОГО ЭТАПА РАЗВИТИЯ СТРУКТУР ОЗЕРНОЙ ЗОНЫ (ЗАПАДНАЯ МОНГОЛИЯ)
Шелепов Я.Ю., Шелепаев Р.А. 108

ПЕТРОЛОГИЯ МЕТАПЕРИДОТИТОВ КАРЬЕРА КУРА-ВААРА, БЕЛОМОРСКИЙ ПОДВИЖНЫЙ ПОЯС
Якушик М.А. 111

Секция Геохимия и геохронология 114

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ИНДИКАТОРЫ ФАЦИАЛЬНЫХ ОБСТАНОВОК ЮРСКИХ ПОРОД ИНЬЯЛИ-ДЕБИНСКОГО СИНКЛИНОРИЯ (СЕВЕРО-ВОСТОК РОССИИ)
Брынько И.В. 114

ПЕРВЫЕ ДАННЫЕ ОБ УСЛОВИЯХ ФОРМИРОВАНИЯ ЗОЛОТО-ВИСМУТ-ТЕЛЛУРИДНОГО ОРУДЕНЕНИЯ ПРОЯВЛЕНИЯ ЛАГЕРНОЕ АЛТАН-ЧАЙДАХСКОГО РУДНОГО УЗЛА (АЛДАНО-СТАНОВОЙ ЩИТ)
Кардашевская В.Н., Анисимова Г.С., Бочаров В.Н. 117

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МЕТАЛЛООРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИ-НЕНИЙ ЗОЛОТА В ОТЛОЖЕНИЯХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЧЁРТОВО КОРЫТО (ИРКУТСКАЯ ОБЛАСТЬ) И ВОЗДВИЖЕНСКОЕ (ЗАБАЙКАЛЬСКИЙ КРАЙ)
Пахтаева М.Г., Иванов В.П., Тимкин Т.В. 120

ИЗОТОПНЫЙ СОСТАВ ОСНОВНЫХ ПОРОД ХАНГАЙСКОГО НАГОРЬЯ, ЗАПАДНАЯ МОНГОЛИЯ
Шаповалова М.О., Шелепаев Р.А. 123

Секция Региональная геология и тектоника 126

РАСКРЫТЫЕ R-СКОЛЫ, КАК ОСНОВНОЙ РУДОКОНТРОЛИРУЮЩИЙ ЭЛЕМЕНТ ТРЕЩИННОГО СДВИГОВОГО СТРУКТУРНОГО ПАРАГЕНЕЗА БАИМСКОЙ РУДНОЙ ЗОНЫ НА ПРИМЕРЕ ЕГДЫКГЫЧСКОГО МАССИВА
Арешин Н.А. 126

ПРИЗНАКИ КОМПРЕССИОННОГО СОБЫТИЯ В ПЕРИОД ФОРМИРОВАНИЯ АНАДЫРСКОГО СЕГМЕНТА ОХОТСКО-ЧУКОТСКОГО ПОЯСА
Гаинцев И.А., Тихомиров П.Л., Тевелев А.В. 129

ВОЗРАСТ ПОЗДНЕДОКЕМБРИЙСКИХ ВУЛКАНИЧЕСКИХ И ВУЛКАНОГЕННО-ОСАДОЧНЫХ ПОРОД БОЛЬШОГО КАРАТАУ
Колесов К.К., Иванов А.В. 131

К ВОПРОСУ О РАСЧЛЕНЕНИИ РИФЕЙСКИХ НЕКЮЛЭЭХСКОЙ И ЧУРБУКСКОЙ СВИТ ВОСТОЧНОГО СКЛОНА АНАБАРСКОГО ЩИТА
Савельев А.Д. 134

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АНАЛОГОВЫХ МОДЕЛЕЙ СДВИГОВЫХ ЗОН, ВЫПОЛНЕННЫХ ИЗ РАЗНЫХ МАТЕРИАЛОВ
Циглер А.С. 137

Секция Палеонтология и стратиграфия 140

ЭНТОМОКОМПЛЕКС МАКСИМУМА ПОСЛЕДНЕГО ОЛЕДЕНЕНИЯ ИЗ МЕСТОНАХОЖДЕНИЯ КЕБЕЗЕНЬ (СЕВЕРО-ВОСТОЧНЫЙ АЛТАЙ)
Агриколянская Н.И., Гурина А.А., Дудко Р.Ю., Легалов А.А. 140

УРАЛЬСКАЯ СИСТЕМА ПРОЛИВОВ В МААСТРИХТЕ (МЕЛОВОЙ ПЕРИОД): НОВЫЕ ДАННЫЕ ПО ФОРАМИНИФЕРАМ И ПРИВЛЕЧЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ
Баканова Е.А. , Маринов В.А., Трубин Я.С. 143

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПАЛИНОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ ДЛЯ ОЦЕНКИ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ В ГОЛОЦЕНЕ (КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ МЕТОДЫ)
Внуковская Ю.Д. 145

ПЕРВОЕ ПОЗДНЕПЛЕЙСТОЦЕНОВОЕ МЕСТОНАХОЖДЕНИЕ ЖЕСТКОКРЫЛЫХ В НИЗКОГОРЬЯХ АЛТАЯ (р. ЛЕБЕДЬ)
Гурина А.А., Агриколянская Н.И., Дудко Р.Ю., Легалов А.А. 147

ПЕРВЫЕ ПАЛИНОЛОГИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ ПО РАЗРЕЗУ РОСТОВКА (ПЛИОЦЕН), ОМСКОЕ ПРИИРТЫШЬЕ
Иванова А.В., Тесаков А.С., Сизов А.В., Бондарев А. А. 150

НОВАЯ НАХОДКА РОГА ПЕРВОБЫТНОГО ТУРА (*BOS PRIMIGENIUS*) В МИНУСИНСКОЙ КОТЛОВИНЕ
Королёва Е. В., Маликов Д. Г. 153

ГЛОБАЛЬНОЕ СОБЫТИЕ UPPER KELLWASSER В ПОЗДНЕМ ДЕВОНЕ СИБИРИ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА МИКРОБИОТУ (ОСТРАКОДЫ)
Попов Б.М. 156

НОВЫЕ ДАННЫЕ ПО ФОРАМИНИФЕРАМ ИЗ ОТЛОЖЕНИЙ ЭОЦЕНА ФЕРГАНСКОЙ ДОЛИНЫ (ЦЕНТРАЛЬНАЯ АЗИЯ)
Трубин Я.С., Маринов В.А., Баканова Е.А., Похазникова А.А., Смирнов П.В. 159

ПАЛИНОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОПЕРЕЧНИНСКОЙ ТОЛЩИ ПОЛУОСТРОВА ЧЕЛЮСКИН (ПОЛУОСТРОВ ТАЙМЫР)
Фоменко А.П., Носевич Е.С., Шнейдер Г.В., Костин Д.Н. 162

Секция Геоморфология и четвертичная геология 165

ВЕРНЕНЕОПЛЕЙСТОЦЕНОВЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ ЛЕДНИКОВОГО КОМЛЕКСА НА СЕВЕРО-ЗАПАДЕ ТАЙМЫРА
Костин Д.Н. 165

Секция Новые информационные и геоинформационные технологии в геологии и геоморфологии 168

СРАВНЕНИЕ АЛГОРИТМОВ КЛАССИФИКАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ КАРТОГРАФИРОВАНИЯ КРИОГЕННОГО РЕЛЬЕФА ОСТРОВА АРГА (ДЕЛЬТА РЕКИ ЛЕНЫ)
Картозия А.А. 168

Секция Геоэкология, гидрогеология, инженерная геология и природопользование.....171

ИНДЕКС ПРОМЕРЗАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ В ОБЛАСТИ ОПОЛЗНЕВОГО УЧАСТКА В ДОЛИНЕ Р. ВОРКУТА
Вихоть А.Н. 171

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВЕ НА УЧАСТКЕ С ДАВНИМ РАЗЛИВОМ НЕФТИ
Гаршин М.В. 174

ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ ГАЗОНАСЫЩЕННЫХ МЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ
Дернова Е. О., Карпенко Ф. С. 177

СОДЕРЖАНИЕ НЕКОТОРЫХ МЕТАЛЛОВ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ПРИБРЕЖНЫХ АКВАТОРИЙ ПОЛУОСТРОВА КАМЧАТКА
Зарипова К.М., Крылова В.Ю., Тихонова Е.А. 180

КОНЦЕНТРАЦИИ ПОЧВЕННОГО РАДОНА В ЗОНЕ РАЗЛОМА, ОГРАНИЧИВАЮЩЕГО ПОДЗЕМНУЮ ДОБЫЧУ УГЛЯ
Лешуков Т.В., Ларионов А.В., Легощин К.В., Баранова Е.Д. 183

ВЕРТИКАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЕСТЕСТВЕННЫХ И ТЕХНОГЕННОГО (^{137}Cs) РАДИОНУКЛИДОВ В РАЗРЕЗЕ ШЕРСТОБИТОВСКОГО ТОРФЯНИКА
Ломова А.А., Мельгунов М.С., Мальцев А.Е., Мезина К.А. 186

ПРОБЛЕМЫ ГЕОКОНСЕРВАЦИИ ОБЪЕКТОВ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО НАСЛЕДИЯ В Г. ГОРЯЧИЙ КЛЮЧ, КРАСНОДАРСКИЙ КРАЙ, РФ
Лучшева Е.А., Толоконникова З.А. 189

ЗАПАСЫ УГЛЕРОДА В САПРОПЕЛЕВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ НОВОСИБИРСКОЙ ОБЛАСТИ
Малов Г.И., Страховенко В.Д., Овдина Е.А., Малов В.И. 192

ВЕРТИКАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ^{210}Pb, ^{7}Be И ^{137}Cs В СИСТЕМЕ «МОХ – ЛЕСНАЯ ПОДСТИЛКА» ЮЖНОГО РЕГИОНА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ
Мезина К.А., Мельгунов М.С. 195

ОСОБЕННОСТИ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В РАБОТАХ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКОГО ИЗУЧЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ
Минибаев М.Р., Абсаликов Р.Р., Давлетбаев А.Я., Кунафин А.Ф. 198

Th/U ОТНОШЕНИЕ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ МАЛЫХ ОЗЕР РАЗНЫХ ЗОН САПРОПЕЛЕОБРАЗОВАНИЯ (ЮГ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ)
Овдина Е.А., Страховенко В.Д., Малов Г.И., Малов В.И. 201

О ПОДХОДАХ К ИЗУЧЕНИЮ ЗОНЫ ВОДОПРОВОДЯЩИХ ТРЕЩИН
Попова В.Е. 204

ИССЛЕДОВАНИЕ НАКОПЛЕНИЯ УРАНА В ПРИСУТСТВИИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ
Софронова С.М. 206

ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ БАССЕЙНА ОЗЕРА КУЧУКСКОЕ
Спирин А.О. 209

СОСТАВ ВОД РОДНИКОВ РЕКРЕАЦИОННЫХ ЗОН г.МОСКВЫ
Тменова М.В., Яблонская Д.А., Липатникова О.А., Лубкова Т.Н., Филатова О.Р. 212

ВОПРОСЫ РАЦИОНАЛЬНОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВЫХ РЕСУРСОВ НА БАЙКАЛЬСКОЙ ПРИРОДНОЙ ТЕРРИТОРИИ
Хомоксонова Н.П. , Шаралдаева В.Д. 215

МХИ И ЛИШАЙНИКИ КАК БИОИНДИКАТОРЫ В ГЕОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ
Чжан Я., Кропачева М.Ю. 218

Секция Геология и геохимия нефти и газа 221

ЛИТОЛОГО-ФАЦИАЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕРРИГЕННЫХ ПОРОД-КОЛЛЕКТОРОВ ПАРФЁНОВСКОГО ГОРИЗОНТА КОВЫКТИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ
Зайкин Д.А. 221

СЕЙСМОГЕОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ И ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ АНТИКЛИНАЛЬНЫХ ЛОВУШЕК МЕЛОВЫХ ЗАЛЕЖЕЙ В ЮЖНО-КАРСКОЙ НЕФТЕГАЗОНОСНОЙ ОБЛАСТИ (НГО)
Ибрагимова С.М. 224

ЛИТОЛОГО-ФАЦИАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ НЕФТЕГАЗО-НОСНОСТИ ОЛИГОЦЕНОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ТЕРСКО-КУМСКОЙ ПАЛЕОВПАДИНЫ (ЦЕНТРАЛЬНОЕ И ВОСТОЧНОЕ ПРЕДКАВКАЗЬЕ)
Каримова Д.Р., Пороскун В.И., Березий А.Е. 227

ПРОГНОЗ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ ЛОКАЛЬНЫХ СТРУКТУР В ЖИВЕТСКИХ ОТЛОЖЕНИЯХ СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ХАРЬЯГИНСКОГО ВАЛА
Ожгибесов Е.С. 230

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ И НЕФТЕГАЗОНОСНОСТЬ ЮЖНОГО БОРТА ВИЛЮЙСКОЙ ГЕМИСИНЕКЛИЗЫ
Попова М.А. 233

ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА НЕФТЕЙ МОНОМСКОЙ СВИТЫ (ВИЛЮЙСКАЯ СИНЕКЛИЗА)
Резникова М.С. 236

ОТ РЕСУРСОВ К ЗАПАСАМ: КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К МОДЕЛИРОВАНИЮ ВУЛКАНОГЕННО-ОСАДОЧНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ НА ПРИМЕРЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ
Тимиртдинов А. Ю. 239

ОЦЕНКА ЗОНАЛЬНОЙ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ БАШКИРСКОГО СВОДА ПО СТРУКТУРНЫМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ
Чалова П.О. 242

ПРОБЛЕМАТИКА «МАСШТАБНОГО ЭФФЕКТА» С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ МЕХАНИЗМОВ ФОРМИРОВАНИЯ КОЛЛЕКТОРОВ НА ПРИМЕРЕ ПЛАСТА $Б_1$ ПРЕОБРАЖЕНСКОГО ЛИЦЕНЗИОННОГО УЧАСТКА
Чертин В.В., Асадуллина Ю.Е., Чертина К.Н. 245

Секция Геофизические методы исследования..... 248

ВРЕМЕННЫЕ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИЕ СЕТИ НА ВУЛКАНАХ КАМЧАТКИ: СИСТЕМАТИЗАЦИЯ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ И МЕТАДАННЫХ
Абраменков С.С., Яковлев А.В., Бережнев Я.М., Кулаков И.Ю. 248

ПРИМЕР ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОЛУВОЗДУШНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ЗОНДИРОВАНИЯ СТАНОВЛЕНИЕМ ПОЛЯ НА ХИАГДИНСКОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ
Башкеев А.С., Паршин А.В. 251

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДАННЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ЗОНДИРОВАНИЙ ДЛЯ ВЫДЕЛЕНИЯ ЗОН МЕДНО-МОЛИБДЕНОВОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИЗМЕРЕНИЙ В ЮЖНОМ КАЗАХСТАНЕ
Белова А.Ю., Трофимов И.В., Бирюков П.Г. 254

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКИ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ СУБАКВАЛЬНОГО РЕЛЬЕФА В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ ОЗЕРА БАЙКАЛ
Бирюков П.Г., Шкиря М.С., Шойхонова Т.С., Трофимов И.В, Лазурченко А.В. 257

МЕТОД AVO ДЛЯ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ТРАНСВЕРСАЛЬНО-АНИЗОТРОПНЫХ СРЕД
Бурковский А.Ю., Чеверда В.А. 260

ЧАСТОТНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ ОБРАЗЦОВ ГОРНЫХ ПОРОД С МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПОРФИРОВОГО ТИПА «КРАСИВОЕ» АЯНО-МАЙСКОГО РАЙОНА ХАБАРОВСКОГО КРАЯ
Бухалов С.В. 262

ИЗУЧЕНИЕ УЧАСТКА ПОДЗЕМНОГО ЯДЕРНОГО ВЗРЫВА «КРИСТАЛЛ» МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОТОМОГРАФИИ
Вавилов С.А 265

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ДАННЫХ КАРОТАЖА ПОТЕНЦИАЛОВ САМОПРОИЗВОЛЬНОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ ДЛЯ КОРРЕЛЯЦИИ ПЛАСТОВ-КОЛЛЕКТОРОВ ВЕРХНЕЙ ЮРЫ
Глинских А.В., Зайчикова Е.В., Петров А.М. 268

РЕЗУЛЬТАТЫ ПОИСКА ЛОКАЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ НА ДНЕ И В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ОЗЕР ЯКУТИИ МЕТОДОМ ГЕОРАДИОЛОКАЦИИ
Горохов И.В., Христофоров И.И., Данилов К.П. 271

КОМПЛЕКСИРОВАНИЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КРОВЛИ И ПОДОШВЫ ОСТРОВНОЙ МЕРЗЛОТЫ НА СТАЦИОНАРЕ КУМЖА (ДЕЛЬТА Р. ПЕЧОРА, НАО)
Давыденко С.Ю., Судакова М.С., Садуртдинов М.Р., Оленченко В.В., Скворцов А.Г. , Царев А.М. , Малкова Г.В. 274

ПРИМЕНИМОСТЬ ИТЕРАЦИОННОГО АЛГОРИТМА СОВМЕСТНОЙ АКУСТИЧЕСКОЙ ИНВЕРСИИ И ГЛУБИННОЙ МИГРАЦИИ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ УПРУГОЙ СРЕДЫ
Дмитрачков Д.К., Протасов М.И. 277

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УСЛОВИЙ ПОДТОПЛЕНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ г. ИРКУТСКА МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОТОМОГРАФИИ
Лазурченко А.В., Шкиря М.С. 280

СЕДИМЕНТАЦИОННАЯ ЦИКЛИЧНОСТЬ СРЕДНЕГО ТРИАСА В ПАЛЬМИРИДСКОМ БАССЕЙНЕ (СИРИЯ) ПО ДАННЫМ ВЕЙВЛЕТ-АНАЛИЗА
Мохаммад Н., Зорина С.О., Хамада Н., Канжо С. 283

ВЫДЕЛЕНИЕ АНОМАЛИЙ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ДАННЫХ МАГНИТНЫХ СЪЕМОК
Набиева В. Р., Терешкин С. А. 286

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БЕСКОНТАКТНОЙ ТЕХНОЛОГИИ МЕТОДА СОПРОТИВЛЕНИЙ ДЛЯ КАРТИРОВАНИЯ ГРАНИЦ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ СТРУКТУР ПРИ ПОИСКЕ КОРЕННОГО ЗОЛОТА В БОДАЙБИНСКОМ РАЙОНЕ
Трофимов И.В., Башкеев А.С., Савченко В.А, Коншин И.О. 289

3D ЭЛЕКТРОТОМОГРАФИЯ: ПЕРВЫЙ ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НА ПРИМЕРЕ АРХЕОЛОГИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА
Шапаренко И.О. 292

ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ПОИСКЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОТОМОГРАФИИ НА ТЕРРИТОРИИ БОДАЙБИНСКОГО РАЙОНА ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ
Шойхонова Т.С., Бирюков П.Г., Шкиря М.С. 295

ЗАВИСИМОСТЬ СМАЧИВАЕМОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ИСКОПАЕМЫХ УГЛЕЙ ОТ ИХ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ
Яркова А.В., Семенова С.А., Патраков Ю.Ф. 298

Секция Геомеханика, горные машины и технологии для разработки месторождений полезных ископаемых.....301

РАСЧЕТ И ПРИМЕНЕНИЕ СТАТИЧЕСКОГО КОЭФФИЦИЕНТА ПУАССОНА ПРИ ОПТИМИЗАЦИИ ГИДРОРАЗРЫВА ПЛАСТА
Новоселя П.А., Непоп Р.К 301

Федеральное государственное бюджетное учреждение Сибирское отделение Российской академии наук (СО РАН)

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук (ИГМ СО РАН)

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук (ИНГГ СО РАН)

Публичное акционерное общество "Горно-металлургическая компания "Норильский никель" (ПАО «ГМК «Норильский никель»)

Передовая инженерная школа Новосибирский государственный университет (ПИШ НГУ)

ООО "Дата Ист"

ISBN 978-5-4437-1668-8

22 31 десятилетие науки и технологий