

Глинистые минералы в карбонатном рифейском резервуаре как промежуточная область концентрирования лития в гидротермальной модели генезиса литиеносных рассолов (на примере нефтегазоконденсатного месторождения Тунгусского артезианского бассейна, Сибирская платформа)

Тихонова К.А.¹, Зарубов М.С.¹, Ишков А.А.^{1,4}, Данилова М.А.^{1,3}, Вахромеев А.Г.^{1,2,3}

Clay minerals in the carbonate Riphean reservoir as an intermediate region of lithium concentration in the hydrothermal model of the genesis of lithium-bearing brines (using the example of the oil and gas condensate field of the Tunguska artesian basin, Siberian platform)

Tikhonova K.A., Zarubov M.S., Ishkov A.A., Danilova M.A., Vakhromeev A.G.

¹ ООО «РН-КрасноярскНИПИнефть», г. Красноярск

² ФБГУН Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск;

e-mail: andrey_igp@mail.ru

³ ФГБОУ ВО «ИрНИТУ», Сибирская школа геонаук, г. Иркутск

⁴ ФГБОУ ВО «ТИУ», Институт геологии и нефтегазодобычи, г. Тюмень

Представлены результаты комплексных химико-аналитических исследований керна, отобранного из рассолонасыщенной зоны рифейского массивного каверново-трещинного резервуара (ниже уровня ВНК) одного из нефтегазоконденсатных месторождений Камовского свода Байкитской антелизы Сибирской платформы.

Активный интерес промышленности к соединениям лития стал причиной возобновления поисково-разведочных работ по всему миру. Правительства и отдельные компании планируют значительные вложения для расширения ресурсной базы этого редкого металла. Для геологов активность рынка и активизация геологоразведочных работ – причина для возврата, переосмысления генезиса месторождений, изучения условий переноса, концентрирования лития в верхней коре и в поверхностных условиях. Возобновлен поиск богатых литием залежей.

Одним из трех главных генетических типов месторождений лития, помимо твердых и природных металлоносных рассолов, считают гекторитовые залежи. Они представлены литийсодержащими глинами – продуктом высокотемпературной гидротермальной проработки первично магматогенных пород. Слоистая кристаллическая решетка глинистых минералов имеет свойство направленного концентрирования иона лития. Это доказано на примере замкнутых комплексов палеокальдер крупных вулканов миоцен-четвертичного возраста в регионах с активным вулканическим режимом [5].

В конце прошлого века гидрогеологами были обобщены сведения о богатом литиеносном гидроминеральном сырье Тунгусского артезианского бассейна, охватывающего несколько нефтегазоносных областей, в том числе Байкитскую [2-4]. Показано, что при эксплуатации нефтяных месторождений с активным водонапорным режимом будут попутно извлекаться на поверхность значительные объемы подземных концентрированных рассолов, которые в более молодых стратиграфических подразделениях – венде, раннем кембрии – многие десятилетия рассматриваются как высоко рентабельное гидроминеральное сырье.

Длительное концентрирование рассолов в замкнутом осадочно-породном артезианском бассейне закономерно ведет к выравниванию концентраций химических элементов. С замедлением водообмена их содержание становится выше [10, 11]. Однако, в гидрогеологическом разрезе осадочного чехла рассматриваемой площади часто наблюдается сложная закономерность изменения концентраций щелочноземельных, редкоземельных металлов по разрезу и по площади. Скважинами вскрываются как изолированные залежи промышленных рассолов, так и отдельные рассолоносные пласты с кратно бóльшими значениями концентраций этих элементов. Природа гидрогеохимических инверсий не ясна, и объясняется различными

процессами, в том числе отжимом седиментогенных вод, влиянием гидротермальных флюидов, обменными процессами в системе «вода-порода». В связи с неоднозначностью обозначенного процесса был изучен один из вариантов, а именно – влияние гидротермальных процессов на химический состав рассоловмещающих пород.

Для изучения химического состава пород резервуара, вмещающего активную рассолонапорную систему, подпирающую углеводородную залежь крупного нефтегазоконденсатного месторождения, была сформирована коллекция из шестидесяти образцов керна разведочных скважин. Принцип отбора образцов из архивного (ранее изученного) материала основан на нескольких ключевых факторах. Во-первых, отбор образцов произведен из интервалов с подтвержденным притоком подошвенных/законтурных рассолов по данным эксплуатационного фонда скважин. Во-вторых, коллекция включает различные литологические типы (аргиллиты, карбонаты и т.д.) для обеспечения репрезентативности анализа. Немаловажным фактором являлось наличие результатов ранее выполненных стандартных исследований (петрофизических, литологических, седиментологических) для более точной привязки и получения дополнительной информации.

По результатам определения минерального состава методом рентгеновской дифрактометрии и макроописания образцы были разделены на аргиллиты, алевролиты, песчаники, доломиты и доломиты, содержащие глинистые минералы или терригенную примесь в виде обломков кварца, полевых шпатов. Методом рентгенофлуоресцентного анализа получен химический, в том числе элементный состав. Концентрации лития и бериллия получены отдельно методом атомно-абсорбционной спектрометрии. В образцах, содержащих глинистые минералы, повсеместно присутствуют мусковит/иллит со средним содержанием 9 % и с максимальным – 42 %. В 40 % образцов присутствуют смешаннослойные образования с содержанием их до 6.5 %. Достаточно редко встречен каолинит в составе 21 % образцов со средним содержанием 1.6 %, с увеличением до 25 % в единичных образцах. Хлорит зафиксирован в 9 % образцов со средним содержанием 3 %, однако в единичном образце, отобранном в интервале вендских отложений, зафиксировано увеличение его доли до 26 %.

Анализ результатов химико-аналитических исследований образцов керна выявил устойчивое отношение повышенных концентраций лития к породам, содержащим глинистые минералы (рисунок). В трех образцах, содержащих увеличенные объемы хлорита и каолинита, зафиксированы максимальные концентрации лития в отобранной коллекции (от 91 мкг/г до 271 мкг/г). Способность лития легко встраиваться в межслоевое пространство глинистых минералов, замещая алюминий и магний в кристаллической решетке, давно известный факт [14]. Минералами-концентраторами лития могут быть монтмориллонит, иллит, каолинит, которые под воздействием различных процессов, в том числе гидротермальных, могут переходить в минералы гекторит, тайниолит и кукцит, имеющие промышленное значение. Формирование литийсодержащих глинистых минералов изучено во многих геологических объектах, в том числе кальдерах палеовулканов, и в бокситах [12, 13].

Для всей коллекции отмечена корреляционная связь ($R^2 \geq 0.5$) между Li и Mg, Zr, Co, Ti, Rb, V, которые также имеют устойчивое отношение к содержанию глинистых минералов. Обычно прямая связь Li и Rb является характерной для магматических комплексов и гидротермальной проработки [8, 12]. Для трех образцов, представленных аргиллитами, из ирэмэкэнской толщи отмечены повышенные концентрации Cu (138-278 мкг/г), Ni (85-162 мкг/г), Zn (113-348 мкг/г), которые могут указывать также на гидротермальную активность. Концентрации Li здесь от 32 до 53 мкг/г. В осадочных бассейнах в условиях отсутствия кислорода Cu, Ni, Zn могут накапливаться совместно и иметь связь с органическим веществом или адсорбироваться на оксидах марганца, однако связь с Mn не установлена для рассматриваемых образцов.

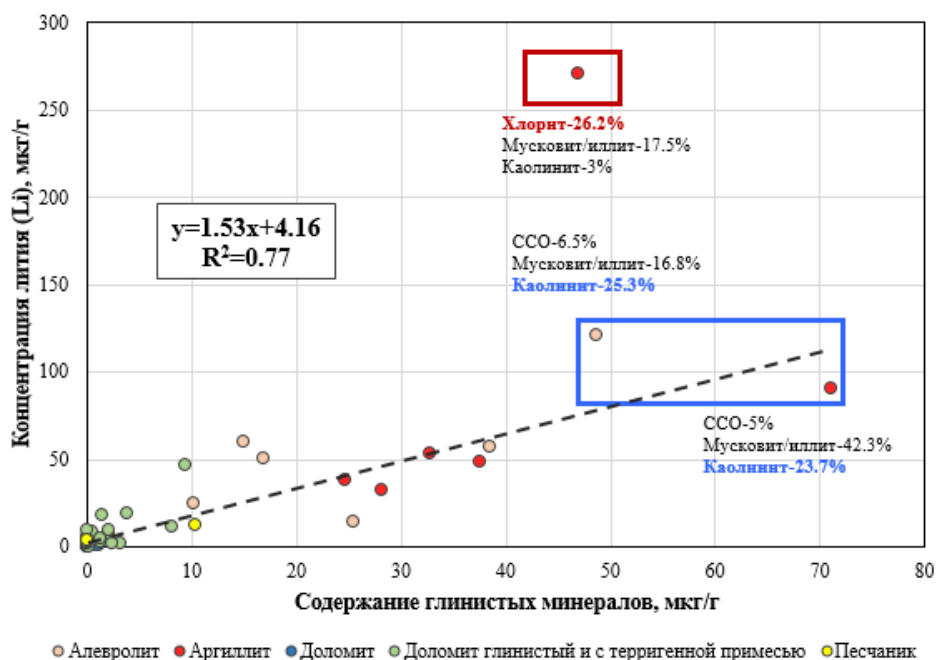


Рисунок. Зависимость концентраций лития от концентрации глинистых минералов. Выборка образцов керн из водонасыщенной зоны нефтяной залежи месторождения, отобранных ниже 10 м от ВНК. Подготовлено К.А. Тихоновой, А.А. Ишковым.

Этап траппового магматизма на Сибирской платформе в триасовое время сопровождался внедрением гигантских объемов базитовых магм в осадочный чехол в режиме магмо- и гидроразрыва с длительным функционированием высокотемпературных гидротермальных систем [1, 7]. В пределах изученной области рифейского резервуара восходящий транспорт геотермальных флюидов мог осуществляться по каверно-трещинной фильтрационной системе, сформированной тектоническими и гипергенными процессами. На рассматриваемой территории о гидротермальных признаках выщелачивания говорили многие исследователи, в том числе А.Д. Коробов и Л.А. Коробова [6]. Минерализация пустотного пространства сопровождается кварцем, седловидным доломитом, которые могут служить индикатором фильтрации гидротермальных флюидов. Однако до конца природа таких образований не ясна.

На примере одного из известных углеводородных месторождений с активным водонапорным режимом авторы решали задачу выявления причин повышенных концентраций редких металлов в рассоловмещающих породах. Результаты обобщения данных химико-аналитических исследований керн позволяют предположить, что глинистые минералы в составе карбонатного резервуара являются теми природными концентраторами иона лития, которые могли бы выступать в качестве дополнительного источника обогащения рассолов редкими металлами в длительном геологическом цикле взаимодействия системы «вода-порода» [9, 10]. Концентрирование лития и других ассоциированных элементов могло происходить не только на стадии седиментации выветренных и разрушенных магматических пород, но и за счет гидротермальной деятельности, происходившей на территории Сибирской платформы. Интрузии базальтоидного ряда, вероятно, стали рассеянным источником лития для термальных растворов, циркулировавших в осадочном чехле по модели термолифта через протерозойские резервуары. Полученные результаты позволяют также предположить большой потенциал накопления лития в глинистых отложениях венда в сравнении с рифейскими породами.

Список литературы

1. Вахромеев А.Г., Зелинская Е.В., Литвинова И.В., Погребная Д.А. Модель вторичного концентрирования литиеносных рассолов в кипящих флюидных системах магматогенно-осадочных бассейнов гидроминеральной провинции Сибирской платформы // Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием «Геотермальная вулканология, гидрогеология, геология нефти и газа» (Geothermal Volcanology Workshop 2023), 4-10 сентября 2023 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2023. С. 14-20.
2. Вожов В.И. Гидроминеральные ресурсы Сибирской платформы – основная база редкометалльной и йодобромной промышленности в XXI веке. Томск, 2000. Т. 1. 395 с.
3. Вожов В.И. Подземные воды и гидроминеральное сырье Лено-Тунгусской нефтегазоносной провинции. Новосибирск: СНИИГГиМС, 2006. 209 с.
4. Дзюба А.А. Разгрузка рассолов Сибирской платформы. Новосибирск: Наука, Сибирское отделение, 1984. 156 с.
5. Кирюхин А.В. Геотермофлюидомеханика гидротермальных, вулканических и углеводородных систем. Санкт-Петербург: Эко-Вектор Ай-Пи, 2020. 431 с.
6. Коробов А.Д., Коробова Л.А. Гидротермальная природа кавернообразования вендрифейских коллекторов Байкитской антеклизы – ключ к прогнозу зон нефтегазонакопления // Известия Саратовского университета. Серия «Науки о Земле». 2006. Т. 6. № 1. С. 57-63.
7. Одинцов М.М., Домышев В.Г., Страхов Л.Г. и др. Ангаро-Вилуйский рудный пояс Сибирской платформы. Новосибирск: Наука, 1980. 110 с.
8. Султанова А.Г., Мичурин С.В. Некоторые вопросы геохимии лития и его распределение в рифейских породах Южного Урала // Геологический вестник. 2024. № 2. С. 65-80. <https://doi.org/10.31084/2619-0087/2024-2-6>
9. Шварцев С.Л. О формировании крепких и предельно насыщенных подземных рассолов. Проблемы соленакопления. Т. 1. Новосибирск: Наука, 1977. С. 192-195.
10. Шварцев С.Л., Пиннекер Е.В., Перельман А.И. и др. Основы гидрогеологии. Гидрогеохимия. Новосибирск: Наука, 1982. 286 с.
11. Alexeev S.V., Alexeeva L.P., Vakhromeev A.G. Brines of the Siberian platform (Russia): Geochemistry and processing prospects // Applied Geochemistry. 2020. V. 117(6). Art. 104588. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2020.104588>
12. Benson T.R., Coble M.A., Dilles J.H. Hydrothermal enrichment of lithium in intracaldera illite-bearing claystones // Science Advances. 2023. V. 9. P 1-10. <https://doi.org/10.1126/sciadv.adh8183>
13. Ling K., Wen H., Han T. et al. Lithium-rich claystone in Pingguo area, Guangxi, southwest China: precursor kaolinite controls lithium enrichment // Mineralium Deposita. 2024. V. 59. P. 329-340. <https://doi.org/10.1007/s00126-023-01210-x>
14. Starkey H.C. The Role of Clays in Fixing Lithium // Geological survey bulletin 1278 F. United states government printing office, Washington, 1982. P. 20.