

Вулканогенно-тектоническая модель формирования рудолокализирующих структур и обогащения межсолевых залежей промышленных литиеносных рассолов Ангаро-Ленского артезианского бассейна, Сибирская платформа

Вахромеев А.Г.¹, Кирюхин А.В.², Литвинова И.В.³, Данилова М.А.⁴, Сурмаажав Д.¹

Volcanogenic-tectonic model of the formation of ore-localizing structures and enrichment of deposits of industrial lithium-bearing brines of the halogen-carbonate hydrogeological formation of the Angara-Lena Artesian basin, Siberian Platform

Vakhromeev A.G., Kiryukhin A.V., Litvinova I.V., Danilova M.A., Surmaazhav D.

¹ ФБГУН Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск;

e-mail: andrey_igp@mail.ru

² Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский;

³ АК «АЛРОСА» (ПАО), г. Новосибирск;

e-mail: LitvinovaIV@alrosa.ru

⁴ ФГБОУ ВО ИрНГУ, институт Сибирская школа геонаук, г. Иркутск

На примере известных месторождений и залежей промышленных редкометалльных (литоносных) рассолов межсолевых карбонатных резервуаров в юго-восточной части Ангаро-Ленского артезианского бассейна рассмотрена магматогенная гипотеза формирования вторичных аномально-гидропроводных коллекторов, процессов вторичного концентрирования предельно насыщенных рассолов галогенно-карбонатной гидрогеологической формации.

В конце прошлого века иркутскими гидрогеологами были обобщены сведения о богатом литоносном гидроминеральном сырье Иркутской области и выделены Тыретско-Тулунско-Нижнеудинская и Иркутско-Жигаловская перспективные зоны для постановки геологоразведочных работ на промышленные редкометалльные воды-рассолы. Со временем фонд глубоких скважин (на углеводороды) значительно увеличился, возросла геофизическая изученность осадочного чехла платформы, что позволило гидрогеологам ВСНИИГиМС, СНИИГиМС, Института земной коры СО РАН дать региональную оценку наиболее перспективных территорий юга Сибирской платформы, которые отнесены к «гидроминеральной провинции Сибирской платформы» [2]. В то же время, минерагения-металлогения «жидкой редкометалльной руды» – поликомпонентных металлоносных рассолов этой гигантской редкометалльной провинции пока раскрыта не в полной мере и требует своего обобщения [2].

В поисках «жидкой литиевой руды» геологи концентрируют внимание [2] на следующих блоках. Формирование месторождения рассолов предполагает: 1) формирование коллектора природного резервуара; 2) формирование геологической структуры в резервуаре, благоприятной для локализации залежи; 3) формирование водонапорной системы, залежи и ее параметров; 4) формирование химического состава жидкой руды. Блок формирования химического состава, пожалуй, самый сложный и требует мультидисциплинарных исследований. Длительное концентрирование рассолов в замкнутом осадочно-породном бассейне ведет к выравниванию концентраций этого элемента и его содержания выше в природных резервуарах с замедленным водообменом [8, 10]. Но в гидрогеологическом разрезе осадочного чехла наблюдается инверсия концентраций промышленно-ценных элементов. Максимальное концентрирование рассолов (ЩЗМ, РЗМ, Li и Br) фиксируется именно в средней, галогенно-карбонатной толще солеродного кембрийского бассейна осадочных пород чехла, в интервале усолевской свиты. Процессы концентрирования привели к формированию предельно-насыщенных рассолов Ca и Mg-Ca состава, почти к 2-кратному росту суммы солей, к более высоким значениям концентраций K, Rb, Cs, B, Sr, Br и др. элементов, и при этом, к 3-5-кратному росту содержания иона Li (мет.) 250-460-700 мг/дм³ и выше (по отдельным пробам) относительно среднего, уровень концентрации Li в рассолах ниже залегающей терригенной гидрогеологической формации не превышает 150 мг/дм³. Процессы, послужившие концентрированию Li в рассолах межсолевых горизонтов (400-700 мг/дм³ по металлу, или 2400-4200 мг/дм³ по

хлориду), а хлоридной системы именно до стадии предельно насыщенных рассолов, требуют своего объяснения [2, 8, 10, 11].

Не решенным окончательно вопросом авторы считают тему генезиса вторичных каверново-трещинных межсолевых карбонатных коллекторов, в которых распределены промышленные рассолы с оптимально высокими концентрациями солей и редких элементов. Притоки предельно насыщенных рассолов получены из глубоких скважин, пробуренных в мульдообразных структурах компенсационного типа, сходных по морфологии с воронками проседания вокруг эруптивных вулканических аппаратов трубок взрыва [2, 7]. Помимо гидрохимической инверсии концентраций ценных элементов и параметра минерализации в скважинах, где из межсолевых трещинных карбонатных коллекторов получены притоки предельно насыщенных рассолов, фиксируется АВПД. Дебиты фонтанирования скважин достигают первых тысяч м³/сут., а флюидное давление приближается к значениям горного (давления). В разные годы авторы высказывали следующие геологические гипотезы возможного формирования локальных отрицательных депрессионных структурных форм, мульд проседания и геодинамически обусловленного АВПД-явления: 1) связь с процессами глубинного соляного и карбонатного карста [2]; 2) наличие нижнего в подошве соляной толщи регионально распространенного горизонта-коллектора, способного фильтровать природные растворы разной минерализации, включая распресненные, по модели гидроинъекции [1, 2]. Предположительно, эту роль играл осинский продуктивный горизонт [2]; 3) связь с шарьяжно-надвиговой тектоникой и локализация структур проседания, мульд в восточном, аллохтонном крыле фронтальных надвигов. Показано, что структуры проседания формируются именно на аллохтонных крыльях [2, 6]; 4) формирование АВПД через передачу части веса надвинутой пластины на карбонатный трещинный коллектор в области мульд под солевой крышкой или благодаря проседанию кровли мульдообразных структур и деформации слоистой галогенно-карбонатной толщи процессами субгоризонтальных геодинамических напряжений [2, 6]. Как воронки проседания, так и локальные мульды на крыльях аллохтонных антиклиналей сформированы процессами глубинного соляного карста в мезо-кайнозойское время как наложенные, бескорневые структуры, захватывающие только интервал осадочного чехла от осинского продуктивного горизонта до балыхтинского, реже в верхах соленосной толщи раннего кембрия.

В конце палеозоя – начале триаса на территории Сибирской платформы активно проявилась фаза основного магматизма [7, 8], включавшая три крупные фации: интрузивную, вулканогенно-классическую и эффузивную. В пределах Ангаро-Ленской ступени интрузивная гипабиссальная фация пластовой формы – Усольский силл (рисунок, а) – представлена долеритами. По А.В. Мигурскому, «самый известный пластовый трапп – Усольский силл с площадью более 300 000 км², самое обширное из известных на Земле пластовых трапповых тел. Удаленность границы выклинивания Усольского силла от очаговой области (центральная часть Присяжно-Енисейской синеклизы) достигает 500 км и более» [5]. Рассматривая южную и юго-восточную области Ангаро-Ленского артезианского бассейна, на примере одного из участков Верхнеленской палеовпадины, ныне одноименного поднятия, мы отмечаем, что между расположением скважин, которые дали притоки предельно насыщенных рассолов, и расположением гигантского Усольского силла наблюдается определенная связь. Рассматривая область ранее выделенного Ангаро-Ленского месторождения поликомпонентных промышленных рассолов в галогенно-карбонатной толще раннего кембрия [2], отметим, что в южной – юго-восточной части Ангаро-Ленской ступени Усольский силл прослежен на Правобережной, Жигаловской, Грузновской, Чиканской, Ковыктинской Омолойской и Усть-Кутской разведочных площадях. К востоку от Ковыктинской площади [9] трапповое тело отсутствует (рисунок, б).

Этап траппового магматизма на Сибирском кратоне сопровождался внедрениями гигантских объемов магм в осадочный чехол в режиме гидроразрыва и формированием высокотемпературных гидротермальных систем, их воздействием на межсолевые карбонатные породы-коллекторы. Функционированием вулканических

аппаратов, трубок взрыва и формированием гигантского Усольского силла обусловлено длительное функционирование гидротермальных систем. Активным циркуляционным режимом гидротермальных систем обусловлено участие природных рассолов терригенной формации Ангаро-Ленского артезианского бассейна. При этом гидротермы разгружались: (1) на земную поверхность в кальдеры и воронки проседания вокруг жерл эруптивных вулканических аппаратов [4]; (2) в природные межсоловые резервуары – трещинные карбонатные пласты, прилегающие по разрезу осадочного чехла к осинскому продуктивному горизонту [2].

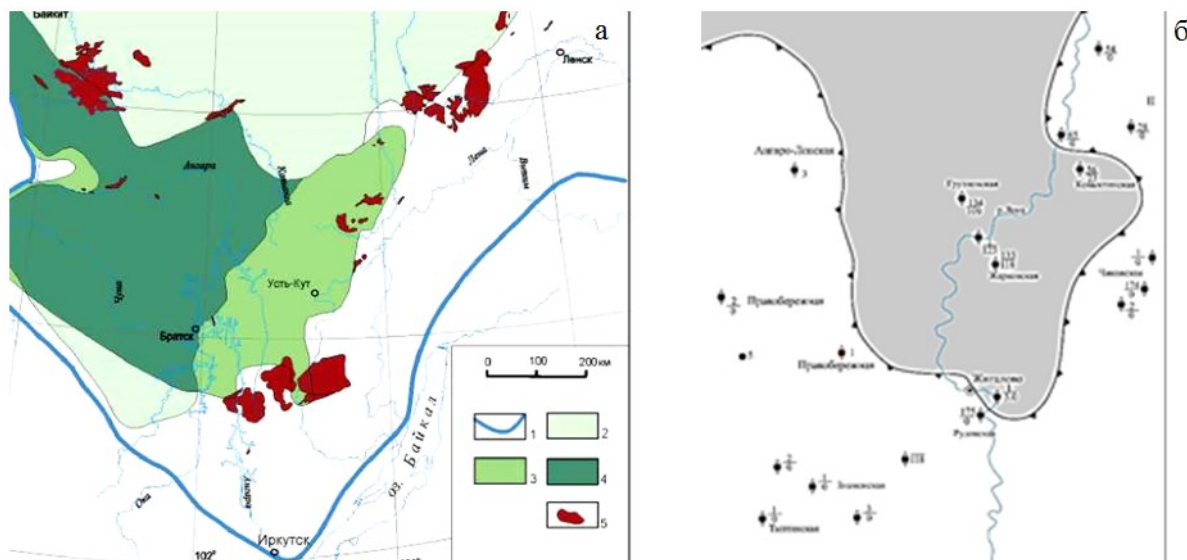


Рисунок. а) Основные поля траптовых силлов, скопления УВ и промышленных литиеносных рассолов на юге Сибирской платформы, по А.В. Мигурскому [5] с дополнениями: 1 – граница Лено-Тунгусской НПП; поля траппов: 2 – территория развития пластовых интрузий в верхней части осадочного чехла, 3 – Усольский силл, 4 – наложение на Усольский силл малоглубинных интрузий; 5 – месторождения нефти и газа; скважины с фонтанными притоками промышленных литиеносных рассолов. б) Юго-восточный сегмент Усольского силла, по О.Е. Смирнову [9] с дополнениями.

В обсуждаемой модели рассматривается формирование «рапа-силлов», аномальных по фильтрационным параметрам, по пластовым давлениям рассолов (близким к значениям горного давления на этих глубинах). Магматическая деятельность сопровождалась аккумуляцией геотермальной энергии в осадочном чехле с передачей энергии в геофлюидные системы (рассолы), с их последующим вскипанием. Этому способствовала геологическая совмещенность высокотемпературного силла по осинскому горизонту и карбонатных пластов усольской свиты [9]. Транспорт геотермальных флюидов осуществлялся по фильтрационной трещинно-карстовой канално-дренажной системе, которая до этого этапа была активизирована складчато-надвиговыми процессами, объединяемыми далее в фильтрационное поле гидротермального процесса [2, 3, 5, 6].

Возвращаясь к идее и модели Хабберта и Рибби, («АВПД в основании пластин может сдвинуть горы») [12], т.е. сопоставляя детачмент и зоны межпластовых и веерных срывов пластин надвиговых систем как аномально-гидропроводный коллектор [2, 3, 6], мы объединяем процессы формирования вторичных коллекторов в складчато-надвиговые и вулканогенно-гидротермальные. Эти процессы рассматриваются как сопряженные по протеканию, продолжающиеся в геологическом времени, наложенные один на другой (формирование системы активных трещин в основании «пластины» инициировало гидротермальную циркуляцию и растворение карбонатных пород). Это обусловило последующие этапы проградации надвиговой активности фронтальной области надвиговых секторов в краевой области Усольского силла в плане, и в зоне влияния апикальной части силла. Таким образом, Усольский силл выполнил одновременно роль флюидоупора и источника теплового питания, обеспечившего

кипение и концентрирование прилегающих геофлюидных систем каверново-трещинных карбонатных межсолевых резервуаров под солевыми покрывками восточной части Восточно-Сибирского солеродного бассейна.

Выводы. На примере известных месторождений и залежей промышленных редкометалльных (литиеносных) рассолов межсолевых карбонатных резервуаров в юго-восточной части Ангаро-Ленского артезианского бассейна рассмотрены магматогенная гипотеза, верхне-коровый процесс формирования активных циркуляционные гидротермальных систем с участием природных рассолов терригенной формации и металлоносных гидротерм мантии. Эта модель – одна из гипотез влияния платформенного магматизма на процессы вторичного концентрирования природных рассолов, мигрировавших в разогретом выше 150 °С состоянии по гидрогеологическим «окнам» трубок взрыва, разгрузившихся как на поверхности, так и в галогенно-карбонатной толще, формируя вторичные аномально-гидропроводные коллекторы в межсолевых карбонатных горизонтах кембрия, ближайших по разрезу к Усольскому силлу. Авторы выделяют магматический этап эволюции, вторичного концентрирования метаморфогенных рассолов, как самостоятельный, важнейший цикл преобразования флюидных систем и природных резервуаров осадочного чехла – процессов вторичного концентрирования солевой системы предельно насыщенных рассолов и обогащения редкими металлами.

Список литературы

1. Александров А.А., Левит А.Н., Семакин Б.В. Локальные неоднородности соляных толщ в сейсморазведке. М.: Наука, 1989.
2. Вахромеев А.Г. Закономерности формирования и локализации месторождений промышленных рассолов в карбонатных каверново-трещинных резервуарах кембрия юга Сибирской платформы (по данным глубокого бурения, испытания скважин и полевой геофизики). Иркутск: Изд-во ИРНИТУ, 2015. 248 с.
3. Вахромеев А.Г., Горлов И.В., Мисюркеева Н.В. и др. Гидрогеологические основы локального прогноза флюидонапорных систем с аномально высоким пластовым давлением в карбонатных природных резервуарах кембрия Ковыктинского газоконденсатного месторождения // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. 2018. № 4 (36). С. 49-59.
4. Кирюхин А.В. Геотермофлюидомеханика гидротермальных, вулканических и углеводородных систем. СПб: Эко-Вектор Ай-Пи, 2020. 431 с.
5. Мигурский А.В. Масштабные латеральные перемещения пород и флюидов на Сибирской платформе // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. 2010. № 1. С. 53-57.
6. Мисюркеева Н.В., Вахромеев А.Г., Буддо И.В. и др. Детализация внутреннего строения надвиговых структур при обосновании геологической модели осадочного чехла // Литосфера и геодинамика. Материалы XXIX Всероссийской молодежной конференции (г. Иркутск, 11-16 мая 2021 г.). Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2021. С. 176-178.
7. Одинцов М.М., Домышев В.Г., Страхов Л.Г. и др. Ангаро-Виллюйский рудный пояс Сибирской платформы. Новосибирск: Наука, 1980. 110 с.
8. Пиннекер Е.В. Рассолы Ангаро-Ленского артезианского бассейна. М.: Наука, 1966. 322 с.
9. Смирнов О.А., Бородкин В.Н., Плавник А.Г. и др. Характеристика траппового магматизма в пределах месторождений Ангаро-Ленской нефтегазоносной области по данным бурения и сейсморазведки 3D // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2022. № 6(366). С. 5-10.
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. Art. 104588.
12. Hubbert M.K., Rubey W.W. Role of Fluid Pressure in Mechanics of Overthrust Faulting. I Mechanics of Fluid-Filled Porous Solids and its Application to Overthrust faulting // Geological Society of America Bulletin. 1959. V. 70. № 2.