УДК 553.777

Проблематика целевых ГРР на промышленные рассолы на примере Ковыктинского месторождения (Ангаро-Ленский кластер)

И.А. Тиханович[1], А.Г. Вахромеев[2,3], Р.В. Горохов[1], С.А. Сверкунов[2,3], Ю.К. Ланкин[2], А.А. Малышев[1], Н.В. Мисюркеева[2], А.И. Ильин[2]

[1]*Газпром-Инвест, ПАО «ГАЗПРОМ», г. Санкт-Петербург, Россия*
itihanovich@invest.gazprom.ru
[2]*Институт земной коры, Иркутск, Россия*
[3]*Иркутский национальный исследовательский технический университет*

Проанализирован опыт ГРР на промышленные литиеносные воды-рассолы глубоких горизонтов одного из месторождений ПАО «Газпром» на юге Сибирской платформы. Геологическая модель объекта ГРР и последующей оценки – крупная надвиговая пластина – аллохтон, размеры которой превышают 2000 км^2. На этапе ГРР решен комплекс задач изучения сложных карбонатных коллекторов, оценки гидродинамических параметров продуктивных трещинных зон, гидрогеохимического опробования, дана оценка ресурсной базы промышленных вод и лития.

The Challenges of Targeted Geological Exploration for Industrial Brines, Using the Kovykta Deposit (Angaro-Lena Cluster) as an Example

Igor A. Tikhanovich[1], Andrey G. Vakhromeev[2,3], Roman S. Gorokhov[1], Sergey A. Sverkunov[2,3], Yuriy K. Lankin[2], Artem A. Malyshev[1], Natalya V. Misyurkeeva[2], Anton I. Ilyin[2]

[1]*Gazprom-Invest, GAZPROM PJSC, St. Petersburg, Russia*
[2]*Institute of the Earth's Crust, Irkutsk, Russia*
[3]*Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia*

The experience of geological exploration for industrial lithium-bearing brines in deep horizons of one of the fields of PJSC GAZPROM in the south of the Siberian Platform has been analysed. The geological model of the exploration target and subsequent assessment is a large thrust plate – allochthonous massif, the dimensions of which exceed 2000 km^2. At the stage of geological exploration, a set of tasks was solved: studying complex carbonate reservoirs, assessing the hydrodynamic parameters of productive fracture zones, conducting hydrogeochemical sampling, and assessing the resource base of industrial waters and lithium.

Ковыктинское газоконденсатное месторождение (ГКМ) является уникальным объектом не только по запасам углеводородного сырья, но и по ресурсам концентрированных хлоридных кальциевых рассолов, содержащих промышленно значимые концентрации лития и других ценных компонентов. В рассолах месторождения содержится не только литий в высоких промышленно значимых концентрациях, но и такие элементы, как стронций, кальций, магний, рубидий и бром. Соединения лития и брома в подавляющем большинстве импортируются из-за рубежа, что создает угрозу сырьевой независимости РФ. В условиях растущего мирового спроса на литий освоение отечественной сырьевой базы лития в промышленных водах имеет особую актуальность, но сопряжено с решением ряда сложных геологических и технологических задач.

Для обоснованной оценки ресурсов лития и других элементов необходим широкий комплекс исследований. Целевое назначение ГРР – геологическое изучение природных резервуаров, закономерностей размещения, гидродинамических особенностей и граничных условий залежей литийсодержащих рассолов, обоснование методологии опытно-фильтрационных работ в пробуренных скважинах, расчет гидрогеологических параметров продуктивных горизонтов и оценка ресурсов промышленных рассолов и лития в карбонатно-галогенных отложениях нижнего кембрия Ковыктинского ГКМ. Важнейшая составная часть ГРР – изучение технологичности переработки сырья.

Модель продуктивного фильтрационного поля, в пределах которого получены и исследованы на продуктивность приточные объекты крайне сложна. На сегодня установлена базовая геологическая особенность строения галогенно-карбонатной гидрогеологической формации осадочного чехла, которая рассматривается как многослойная анизотропно-проницаемая толща. Гидропроводность трещинных систем по латерали, по напластованию на порядки превышает таковую по вертикали, благодаря соленосным экранам. Очевидно, кембрийские соли обеспечили сохранность залежей флюидов – УВ и рассолов, в какое бы геологическое время не происходила миграция. Литиевый лицензионный участок ограничен дислокациями складчато-надвиговой соляной тектоники. Геологическая модель объекта ГРР и последующей оценки ресурсов – крупная надвиговая пластина – аллохтон (рис. 1), размеры которой превышают 2000 км^2 [1, 2, 3].

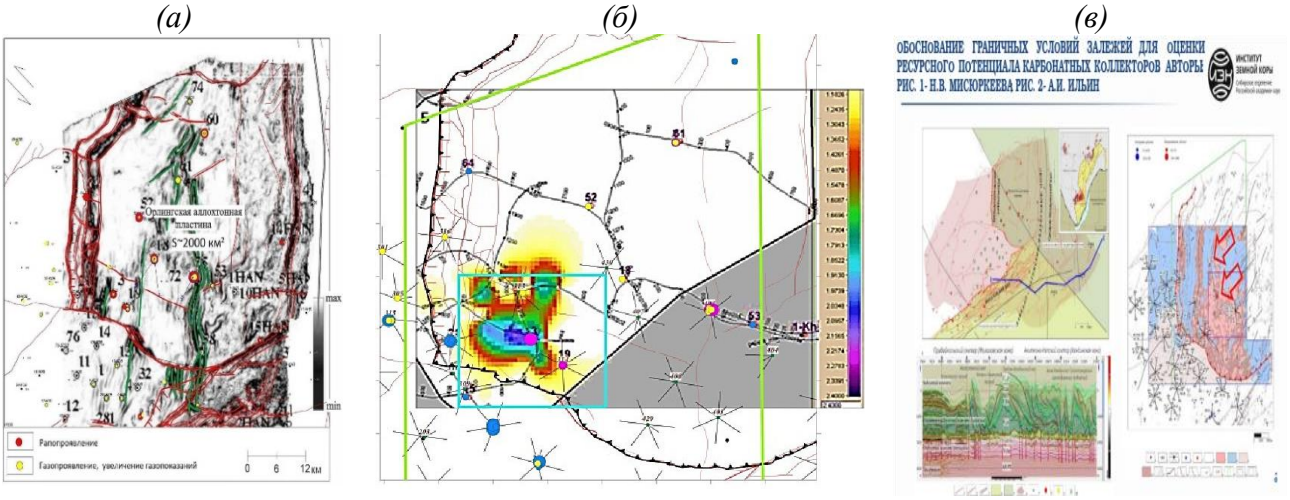


Рисунок 1 – Структурные элементы гигантской Орлингской надвиговой пластины а) на фрагменте карты когерентности волнового поля по данным 3Д СРР; б) по данным СРР-CSD; в) по данным 3Д-СРР. Ковыктинская площадь. (Н.В. Мисюркеева, А.И. Ильин, А.Г. Вахромеев)

Выявлены сложные горно-геологические условия бурения и крепления скважин (АВПД и аномально высокие, до 8000 м^3/сут дебиты продуктивных пластов. Предельная, (более 700 г/л) минерализация рассолов не имеют аналогов в мировой практике, требуют совершенствования буровых технологий, методологии испытания и скважинной добычи сырья [2, 4–6].

Реализованная в 2022-2026 гг ПАО «Газпром» целевая Программа ГРР впервые позволила наиболее полно охарактеризовать продуктивные рассолоносные объекты на юге Ангаро-Ленского артезианского бассейна: в галогенно-карбонатной гидрогеологической формации раннего кембрия в двух специальных гидрогеологических скважинах испытано 5 объектов – высоконапорных рассолопродуктивных резервуаров. Пока в обработку использованы данные по четырем из них. Биркинский горизонт и низы нижнебельской подсвиты. Притоки рассолов получены в девяти скважинах, испытаны летом, и будут оценены позже. Далеко не каждая кривая восстановления давления выхода на режим поддается интерпретации. Поэтому работа с первичными данными кривых забойных давлений должна быть реализована в дальнейшем в «on-line» – режиме. Отметим, что одновременная запись кривых выхода на режим (КВД) забойными манометрами и комплексным геофизическим прибором на кабеле – эффективное решение к оптимизации ОФР.

В процессе ОФР исполнителями наработан важный опыт выбора режимов (P, Q) исследований, контроль T потока, а также выбора временных интервалов между каждой кривой в прерывистом режиме. Выработаны алгоритмы профилактики зарастания лифтовых труб, устьевого оборудования и экспериментально проверить варианты на практике. Один из важнейших результатов внедрения в производственный цикл ГРР методологии проведения ОФР – запуск и исследование продуктивной рассолоносной зоны через нормированные диафрагмы (ДИКТ) на конце выкидной линии перед котлованом. Обработка этих данных

позволит обосновать значимые отличия в работе трещинной фильтрационной системы межсолевого резервуара на депрессии в выбранных режимах.

Реализованная Заказчиком в 2024–2026 годах Программа ГРР на ЛУ «Литиевый» впервые позволила прийти к обоснованному решению [2, 5, 6] о необходимости разработки самостоятельной конструкции разведочной гидрогеологической скважины (рис. 2) на межсолевой карбонатный резервуар в усольской свите. Перекрытие каждого высоконапорного пласта обсадной колонной существенно утяжелит конструкцию скважины – решение для одного пласта.

Флюидная система резервуара характеризуется наиболее высокими значениями пластовой энергии (Рпл). Это наиболее высокодебитная, до 8000 м^3/сут, и самая «богатая» по литию (723 мг/л) система залежей. Притоки из межсолевого пласта получены в восьми скважинах. В одной из них по решению Заказчика замерен высокий дебит (7500 м^3/сут) управляемого перелива межсолевого пласта в присутствии комиссии ПАО «Газпром».

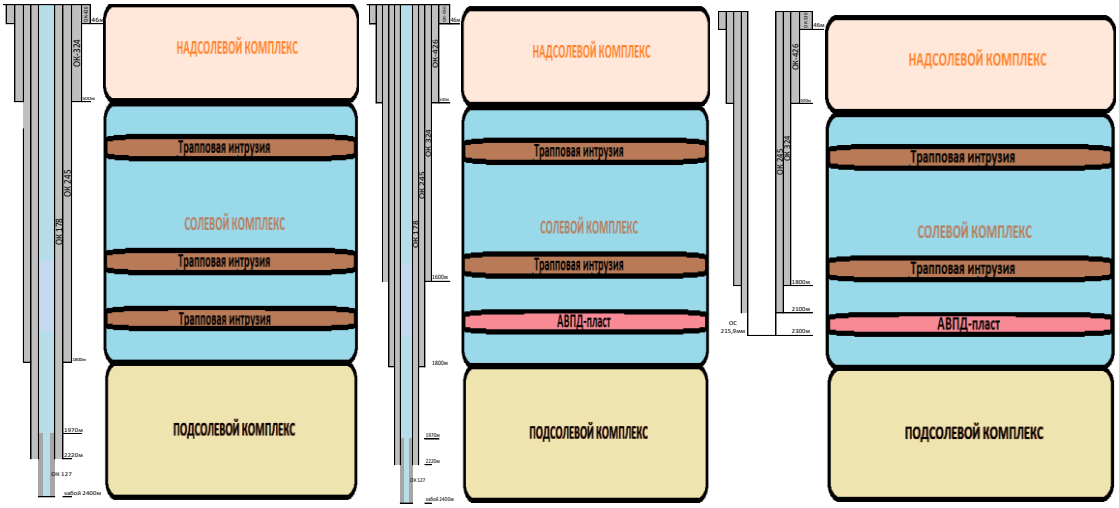


Рисунок 2 – Обоснование конструкции специальной гидрогеологической скважины

Содержание ряда крайне востребованных полезных компонентов в рассолах месторождений Восточной Сибири в промышленно значимых концентрациях ранее отмечалось в работах ряда авторов [1, 7]. Рассолы Ковыктинского месторождения представляют несомненный интерес, как источник целого ряда ценных компонентов по причине их высокой востребованности и существенных ресурсов, что меняет экономику процесса добычи и значительно повышает экономическую эффективность производства.

Сегодня существуют технологии последовательного извлечения ряда компонентов из рассолов, но они требуют детального изучения и доработки под конкретный состав рапы. Нами был изучен широкий круг потенциальных продуктов при комплексной переработке, а так же возможность вовлечения ряда отходов в качестве потенциального сырья для извлечения целевых компонентов. Наиболее значимы в качестве продуктов переработки рапы: соединения лития (карбонат, гидроксид), соединения магния (гидроксид, оксид), соединения стронция (карбонат, сульфат), соединения брома (молекулярный бром, бромиды натрия, кальция), соединения кальция [1, 7]. Наличие в составе рапы соединений РЗЭ в малых концентрациях ставит под сомнение вопрос экономической целесообразности их извлечения. Рассолы Ковыктинского месторождения относятся к хлоридному кальциевому типу, содержат значительное количество хлорида натрия, являющимся побочным продуктом. Использование хлорида натрия в электролитическом процессе позволит отказаться от хранения жидкого хлора на производственной площадке и организовать синтез в необходимых количествах для извлечения брома из рассолов [1]. Реализация комплексной технологии последовательного извлечения полезных компонентов из рапных рассолов Ковыктинского месторождения газа более эффективна, и позволит снять государственную зависимость в ценном сырье от импорта. Себестоимость добычи соединений лития из

пластовых вод находится в пределах 5–6 тыс USD при реализации комплексного подхода, а на готовой нефтегазовой инфраструктуре показатель может быть даже ниже.

В цикле рассматриваемых ГРР рапопроявляющий объект, залежь является целевым объектом бурения. Залежи редкометальных промышленных рассолов, «жидкой руды» на литий, рубидий, цезий, редкие земли, характеризуются аномально- высокими пластовыми давлениями (АВПД) и аномальными коллекторами (АК), чем обусловлена проблематика безопасной проводки глубокой скважины, от первичного вскрытия до последующих гидродинамических исследований и опытно-промышленной эксплуатации. На этапе ГРР решают комплекс задач изучения гидродинамических параметров пласта (трещинной зоны), гидрогеохимического опробования в и освоения месторождения (залежи) промышленных рассолов. На этапе освоения залежи, месторождения глубокими скважинами решается большой комплекс проблемных вопросов от безопасности и безаварийности буровых работ до обеспечения надежного бесперебойного функционирования глубоких скважин промысла [8–10].

Процесс углубления скважины в условиях контролируемого поступления насыщенного рассола (рапы) технологически реализуем. Процесс бурения с одновременной закачкой рассола в поглощающий пласт проверен и доказан практикой буровых работ на Знаменском месторождении.

Традиционные методы изоляции рапопроявляющих АВПД-интервалов, как правило, не приносят желаемого результата, т.к. рапоносный объект, обычно представлен деформируемым суперколлектором. И при создании депрессии трещины в нем имеют непостоянный размер, что влияет на качество изоляции таких трещин, в том числе и с течением времени. В свою очередь, спуск обсадной колонны сразу после вскрытия высоконапорного пласта не всегда гарантирует доведение скважины до проектного забоя, так как по фактическим данным бурения на юге Сибирской платформы по разрезу межсолевых кавернозно-трещинных высоконапорных пластов может быть несколько на 500–700 м разреза.

Заключение

Сложное геологическое строение объекта ГРР значительно детализировано в процессе специальных ГРР на промышленные воды. Предложенная авторами стратегия позволяет произвести анализ рисков на начальном этапе проектирования строительства скважины, оценить целесообразность принятых решений, внести дополнительные технические решения для реализации программы бурения скважины в сложных условиях, и вскрыть бурением интервал потенциальных рапопроявлений с минимизацией потенциальных рисков. Стоит отметить, что залежи богатейшего литиеносного гидроминерального сырья – концентрированных рассолов требуют особых подходов как в случае бурения и крепления глубоких скважин, так и в циклах испытания высокодебитной АВПД-системы и ее последующей эксплуатации [2, 5, 6, 8, 10, 11]. Именно эти особенности залежей «жидкой» литиевой руды – причина их отнесения к категории ТрИЗ. Технологические подходы в переработке сырья исследованы в стадии пилотных установок.

Список литературы

1. *Алексеев С.В.* Промышленные рассолы Сибирской платформы: гидрогеология, бурение и добыча, переработка, утилизация / *С.В. Алексеев, А.Г. Вахромеев, Н.П. Коцупало, А.Д. Рябцев.* монография. Иркутск: Географ. 2014. 162 с.

2. *Вахромеев А.Г.* Бурение скважин на нефть и газ в сложных горно-геологических условиях: трещинные природные резервуары, АНПД и АВПД пластовых флюидных систем / *А.Г. Вахромеев, С.А. Сверкунов, В.М. Иванишин, А.И. Ильин.* монография. Иркутск : Изд-во ИРНИТУ. 2019. 420 с.

3. *Мисюркеева Н.В.* Детализация надвиговых структур осадочного чехла в Ковыктинско-Хандинской зоне отраженной складчатости. / *Н.В. Мисюркеева, А.Г.*

Вахромеев, А.С. Смирнов, И.В. Буддо, И.В. Горлов, Г.Г. Шемин // Геодинамика и тектонофизика. DOI: 10.5800/GT-2022-13-2s-0607.

4. *Вахромеев А.Г.* Гидрогеологические основы локального прогноза флюидонапорных систем с аномально высоким пластовым давлением в карбонатных природных резервуарах кембрия Ковыктинского газоконденсатного месторождения / *А.Г. Вахромеев, И.В. Горлов, Н.В. Мисюркеева, С.А. Сверкунов, Ю.А. Ланкин, А.С. Смирнов* // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. 2018. № 4 (36). С. 49–59.

5. *Вахромеев А.Г.* Технологические варианты первичного вскрытия бурением рапоносных пластов с АВПД ТРИЗ флюидов - литиеносных рассолов / *А.Г. Вахромеев, С.А. Сверкунов, И.А. Тиханович* // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. 2025. № 1(385). С. 19–30.

6. *Вахромеев А.Г.* Бурение на литиеносные промышленные рассолы, испытание продуктивного объекта: первый опыт и анализ результатов изучения месторождения / *А.Г. Вахромеев, И.А. Тиханович, С.А. Сверкунов, В.Н. Федоров, Ю.К. Ланкин, М.А. Данилова, А.Г. Малышев* // Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту): Мат-лы науч. Конф.. Вып. 23. 2025 г., ИЗК СО РАН, г. Иркутск / отв. редактор Е.В. Скляров; Сибирское отделение РАН, Институт земной коры СО РАН. Иркутск: Институт земной коры СО РАН. 2025. С. 41–43.

7. *Коцупало Н.П.* Комплексная переработка литиеносных бромсодержащих высокоминерализованных рассолов / *Н.П. Коцупало, А.Д. Рябцев, А.А. Кураков, Л.А. Серикова, Е.П. Гущина* // Известия Томского политехнического университета. 2004. Т. 307. № 7. С. 70–76.

8. *Вахромеев А.Г.* Технологические варианты освоения литиеносных залежей ТРИЗ межсолевых рассолоносных пластов с АВПД флюидной системы / *А.Г. Вахромеев, А.С. Смирнов, С.А. Сверкунов, А.В. Сергеева, М.А. Данилова, А.В. Кирюхин, М.С. Пуляевский, Ю.К. Ланкин, И.А. Тиханович* // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. 2025. № 6(390). С. 5–13. DOI: 10.61726/7077.2025.37.13.001.

9. *Ланкин Ю.К.* Методика опытно-фильтрационных исследований (выпусков) из высоконапорных межсолевых продуктивных залежей промышленных литиеносных рассолов галогенно-карбонатной гидрогеологической формации Сибирской платформы / *Ю.К. Ланкин, А.Г. Вахромеев* // Науки о Земле и недропользование. 2023. Т. 46. № 3 (84). С. 315–320.

10. Опытно-фильтрационные исследования. Основные виды работ. Методы обработки / *Л.И. Аузина, А.Г. Вахромеев, Ю.К. Ланкин* Учеб. Пособие. Иркутск : Изд-во ИрНИТУ. 2016. 120 с. DOI: 10.61726/5814.2025.51.55.001.

11. *A. V. Kiryukhin, A. V. Sergeeva, A. G. Vakhromeev, at al.* Thermohydrodynamic Modeling of Well Operation of Chloride–Calcium Lithium-Bearing Brines ISSN 0742-0463, Journal of Volcanology and Seismology, 2026, Vol. 20, No. 2, pp. 175–189. © Pleiades Publishing, Ltd., 2026, DOI: 10.1134/S0742046326700053.