

*А. Г. Вахромеев<sup>1,2\*</sup>, М. А. Данилова<sup>1</sup>, Д. П. Гладкочуб<sup>1</sup>, С. А. Сверкунов<sup>1,2</sup>, Д. О. Мамаков<sup>3,4</sup>,  
Д. А. Погребная<sup>5</sup>, А. С. Смирнов<sup>6</sup>, А. В. Сергеева<sup>7</sup>, Д. Сурмаажав<sup>1</sup>*

## **Металлоносные рассолы юга Сибирской платформы и проблематика их промышленного освоения**

<sup>1</sup> ФГБУН Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск, Российская Федерация

<sup>2</sup> ООО «КрасноярскНИПИнефть», г. Красноярск, Российская Федерация

<sup>3</sup> ООО "Сибгаз", г. Иркутск, Российская Федерация

<sup>4</sup> ООО «Столица», г. Иркутск, Российская Федерация

<sup>5</sup> Энерджи Крафт, г. Москва, Российская Федерация

<sup>6</sup> ООО «Газпром ВНИИГАЗ», г. Тюмень, Российская Федерация

<sup>7</sup> Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский,  
Российская Федерация

\* e-mail: andrey\_igp@mail.ru

**Аннотация.** Опираясь на опыт выполненных ранее геологоразведочных работ (ГРП) на литиеносные рассолы глубоких горизонтов осадочного чехла на юге Сибирской платформы, авторы обозначили проблематику современного этапа – подходы к обоснованию объектов первоочередных геологоразведочных работ в пределах ранее выявленных участков высокодебитных притоков металлоносных рассолов. В текущем моменте, на фоне резкого скачка цен на глобальном рынке лития, общемирового бума ГРП на месторождениях литиевых провинций всех типов, на фоне мировых технологических инноваций в переработку литиевого сырья наши знания об условиях локализации богатейших по концентрациям лития залежей сибирских рассолов крайне актуальны для России, поскольку позволяют значительно сократить сроки ГРП и обеспечить их эффективность. Впервые рассмотрена проблема сохранности залежей литиеносных рассолов, которые были вскрыты бурением в 60-80-х годах 20 века.

**Ключевые слова:** литий, редкометалльные промышленные рассолы, Сибирская платформа, геолого-экономическая оценка

*A. G. Vakhromeev<sup>1,2\*</sup>, M. A. Danilova<sup>1</sup>, D. P. Gladkochub<sup>1</sup>, S. A. Sverkunov<sup>1,2</sup>, D. O. Mamakov<sup>4,5</sup>,  
D. A. Pogrebnyaya<sup>5</sup>, A. S. Smirnov<sup>6</sup>, A. V. Sergeeva<sup>7</sup>, D. Surmaazhav<sup>1</sup>*

## **Metalliferous brines of the South of the Siberian Platform and the problems of their industrial development**

<sup>1</sup> FSBI Institute of the Earth's Crust SB RAS, Irkutsk, Russian Federation

<sup>2</sup> LLC "Krasnoyarsk Npineft", Krasnoyarsk, Russian Federation

<sup>3</sup> Sibgaz LLC, Irkutsk, Russian Federation

<sup>4</sup> Stolitsa LLC, Irkutsk, Russian Federation

<sup>5</sup> Energy Craft, Moscow, Russian Federation

<sup>6</sup> Gazprom VNIIGAZ LLC, Tyumen, Russian Federation

<sup>7</sup> Institute of Volcanology and Seismology FEB RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky,  
Russian Federation

\* e-mail: andrey\_igp@mail.ru

**Abstract.** Based on the experience of earlier exploration for lithium-bearing brines of deep horizons of the sedimentary cover in the south of the Siberian platform, the authors outlined the problems of

the current stage - approaches to substantiating the objects of priority exploration within previously identified areas of high-yield tributaries of metal-bearing brines. At the current moment, against the background of a sharp jump in prices on the global lithium market, a worldwide boom in exploration at deposits of lithium provinces of all types, against the background of global technological innovations in the processing of lithium raw materials, our knowledge about the localization conditions of the richest deposits of Siberian brines in lithium concentrations is extremely relevant for Russia, since it significantly reduces the timing of exploration and ensures their effectiveness. For the first time, the problem of the preservation of deposits of lithium-bearing brines, which were discovered by drilling in the 60-80-ies of the 20th century, is considered.

**Keywords:** lithium, rare metal industrial brines, Siberian Platform, geological and economic assessment

В текущем десятилетии мировая промышленность сделала мощный рывок в производстве литиевых источников тока, и это повлекло за собой резкий рост цен на соли лития. Оценка ресурсной базы лития и геолого-экономические расчёты позволяют рассматривать Сибирскую платформу как крупную гидроминеральную сырьевую провинцию для организации промышленного производства лития, брома, соединений магния с низкой себестоимостью [1, 4, 7, 10-12; 14, 15, 21-23]. Вопрос о промышленном использовании гидроминерального сырья Иркутской области неоднократно рассматривался на уровне правительственных органов. В 1998 году на основе доклада (Вахромеев А.Г., Коцупало Н.П., Рябцев А.Д.) решением Научно-технического совета Росатома «*Сырьевая база и горно-технологические вопросы*» под председательством академика Н.П. Лаверова сырьевая база гидроминерального сырья Иркутской области официально признана «...перспективной, альтернативной по отношению к твердым месторождениям литиевого сырья и пригодной для промышленного производства лития, брома, магния, кальция и других продуктов, необходимых как для предприятий Минатома России, так и других отраслей народного хозяйства».

Современный этап – обоснование объектов первоочередных геологоразведочных работ в пределах ранее выявленных участков высокодебитных притоков металлоносных рассолов только на первый взгляд решается в короткие сроки. Глубокое погружение в тему обозначает важные грани крупной научной проблемы: это изучение закономерностей формирования и локализации месторождений глубоких высококонцентрированных промышленных бромолитиеносных рассолов Сибирской платформы на уровне локального прогноза; создание методологии первичного вскрытия бурением и последующего освоения продуктивных интервалов в глубоких гидрогеологических скважинах, геолого-экономической оценке перспективных участков; разработке технических решений и технологии рентабельных способов скважинной добычи «жидкой литиевой руды» и переработки ее в конечные химические продукты [1, 4-6, 12, 14, 15, 17-19; 22, 23]. Проблема имеет важнейшее народно-хозяйственное значение для России и около полувека являлась одним из сложившихся, базовых направлений научной школы гидрогеологии глубоких горизонтов, созданной в г. Иркутске под руководством чл.-корр. АН СССР д.г.-м.н Е.В. Пиннекера [21]. Однако в текущем мо-

менте, на фоне резкого скачка цен на глобальном рынке лития, общемирового бума ГРП на месторождениях литиевых провинций всех типов, на фоне мировых технологических инноваций в переработке литиевого сырья, наши знания об условиях локализации богатейших по концентрациям лития залежей сибирских рассолов крайне актуальны для России [11, 13-15; 22, 23], поскольку позволяют значимо сократить сроки ГРП и обеспечить их эффективность [1, 6; 8; 24].

В России имеются все типы промышленного сырья на литий: твёрдое редкометальное сырьё, литийсодержащие глины – гекториты и литиеносные рассолы, однако запасы поликомпонентных редкометальных рассолов пока не поставлены на государственный баланс. Сегодня это одна из важнейших задач на пути создания отечественной литиевой промышленности. Разведка и освоение самостоятельных месторождений литиевых рассолов (промышленные воды, поликомпонентные металлоносные рассолы) имеет свою специфику, которую необходимо учитывать при планировании и постановке геологоразведочных работ. Именно базовым особенностям, проблемным аспектам методологии ГРП посвящен наш коллективный доклад.

Кроме тех проблем, которые ранее освещались в опубликованных работах прошлых лет (первичное вскрытие, бурение и крепление глубоких скважин в условиях АВПД флюидных систем, неравновесность предельно насыщенных рассолов при нарушении равновесного состояния залежи металлоносных рассолов), авторы доклада **впервые рассматривают проблему сохранности залежей литиеносных рассолов**, которые были вскрыты бурением в 60-80-х годах 20 века. Эта проблема выявлена и обозначена нами сегодня, при анализе новых данных современного этапа ГРП в пределах разбуриваемых участков недр Ангаро-Ленского артезианского бассейна и одноименного месторождения промышленных литиеносных рассолов.

Отметим еще один, крайне важный вывод. Предельно насыщенные рассолы, богатые литием и другими редкими рассеянными элементами и минеральными солями, на современном уровне изученности с полным основанием можно отнести к категории трудноизвлекаемых запасов (ТРИЗ) минерального сырья [3, 22]. Литиеносные залежи «жидкой руды» требуют в том числе особых, пока не до конца понятных и проверенных на практике подходов к:

1) геологоразведочным работам, бурению и креплению глубоких скважин для добычи нестабильных насыщенных рассолов (рапы) в условиях равновесной термобарической системы «скважина-пласт» с аномально высоким пластовым давлением (АВПД);

2) технологическим решениям в организации полигона захоронения (возврата) обедненных рассолов в недра, то есть к обоснованному выбору эффективной технологии вовлечения в добычу ТРИЗ,

3) к полной геолого-экономической оценке выбранных недропользователями участков и залежей.

Только в этом случае будет конкретизировано понятие «месторождения редкометальных литиеносных рассолов глубоких горизонтов», обоснованы параметры временных кондиций на этот вид ТРИЗ лития и других полезных ком-

понентом, и одновременно обоснованы пределы, диапазон рентабельности этой весьма богатой по содержанию жидкой литиевой руды России.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

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. – Иркутск: Изд-во ООО «Географ». – 2014. – 162 с.
2. Бондаренко С.С., Лубенский Л.А., Куликов Г.В. Геолого-экономическая оценка месторождений подземных промышленных вод. – Москва: Недра, 1988 – 204 с.
3. Вахромеев А.Г. Гл. 1. Знаменский рассолопромысловый проект. С. 13-69. // Кузьмин С.Б., Вахромеев А.Г. Геоэкологические исследования на Лено-Ангарском плато.- Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2003. 6– 122 с.
4. Вахромеев А.Г. Закономерности формирования и концепция освоения промышленных рассолов (на примере юга Сибирской платформы): автореф. дис...д-ра геол.-мин. наук. – Иркутск, 2009. – 36 с.
5. Вахромеев А.Г. Ключевые аспекты освоения предельно насыщенных металлоносных рассолов Восточной Сибири / Известия Сибирского отделения секции Наук о Земле Российской Академии естественных наук. Геология, поиски и разведка рудных месторождений. Вып.5 (31).- Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2007.-с. 61-66.
6. Вахромеев А.Г. Новое в технологии скважинной добычи глубоких промышленных рассолов Сибирской платформы // Подземная гидросфера: Матер. XX Всероссийского совещания по подземным водам Востока России. – Иркутск: Изд-во ООО «Географ», 2012.- 577 с .- с 508- 512.
7. Вахромеев А.Г. Месторождения промышленных поликомпонентных рассолов глубоких горизонтов гидроминеральной провинции Сибирской платформы// Вестник ИрГТУ, № 9 (92), 2014 г., с 73-78.
8. Вахромеев А.Г., Сверкунов С.А., Ильин А.И., Поспеев А.В. Горлов И.В. Горно-геологические условия бурения рапопроявляющих зон с аномально высоким пластовым давлением в природных резервуарах кембрия на Ковыктинском газоконденсатном месторождении // Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле РАН, 2016. – № 2 (55). – С. 74–87. DOI 10.21285/0301-108X-2016-55-2-74-87.
9. Вахромеев А.Г., Алексеев С.В., Гладкочуб Д.П. и др. Опыт ГРП и стратегия освоения ТРИЗ поликомпонентных редкометальных промышленных рассолов юга Сибирской платформы на соли лития и другие полезные ископаемые / Фундаментальные, глобальные и региональные проблемы геологии нефти и газа: Мат.-лы Всеросс. науч конф, посв. 90-летию со дня рождения акад. РАН А.Э. Конторовича, Новосибирск, Россия). – Новосибирск: СО РАН, 2024. – 285 с., стр. 38-41
10. Вожов В.И. Гидроминеральные ресурсы Сибирской платформы – основная база редкометальной и йодобромной промышленности в XXI веке. Томск, 2000. – Т. 1. – с. 395.
11. Вожов В.И. Подземные воды и гидроминеральное сырье Лено-Тунгусской нефтегазоносной провинции. – Новосибирск: СНИИГГиМС, 2006. – 209 с.
12. Дзюба А.А. Разгрузка рассолов Сибирской платформы. – Новосибирск: Наука, Сибирское отделение. 1984. – 156 с.
13. Зелинская Е.В. Теоретические основы изучения и рационального использования подземных рассолов. – Иркутск, изд-во ИрГТУ, 2002. – 98 с.
14. Коцупало Н.П., Рябцев А.Д. Химия и технология получения соединений лития из литиеносного гидроминерального сырья // ЗАО «Экостар-Наутех». – Новосибирск: изд-во «ГЕО», 2008. – 291 с.
15. Комплексная переработка поликомпонентных литиеносных рассолов с предварительным их обогащением по литию / Под ред. Н.П. Коцупало; ЗАО «Экостар-Наутех».- Новосибирск: Акад. изд-во «Гео», 2014.- 172 с.
16. Основы гидрогеологии. Гидрогеохимия / Шварцев С.Л., Пиннекер Е.В., Перельман

А.И., и др. - Новосибирск: Наука, 1982, 286 с.

17. Патент № 2229587. Способ добычи полезного ископаемого, склонного к температурному фазовому переходу. // Оpubл.: Бюллетень. 27.05.2004. № 15.

18. Патент № 2365735. Способ вскрытия высоконапорных пластов, насыщенных крепкими рассолами. Заявка № 2007108993/03 // Бюллетень от 20.09. 2008./, опубл. 27.08. 2009, Бюлл № 24.

19. Патент № 88052, Конструкция глубокой скважины. Заявка № 2007118960 // приоритет от 21.05. 2007. Решение о выдаче патента от 07.10.07. опубл. 27.10.2009, Бюлл. № 30

20. Патент № 2361067. Способ скважинной добычи жидкого полезного ископаемого, склонного к температурному фазовому переходу., опубл. 10.07.2009, Бюлл. № 19. // Заявка № 2007146881/03(051403), приоритет от 17.12. 2007. Решение о выдаче патента от 25.11.2008.

21. Пиннекер Е.В. Рассолы Ангаро-Ленского артезианского бассейна. – М.: Наука, 1966. – 322 с.

22. Рапогазопроявления и аномально высокие пластовые давления на юге Сибирской платформы (флюидогеодинамическая интерпретация геолого-геофизических и геопромысловых данных; прогноз горно-геологических условий; инновационные подходы и решения в бурении и освоении Ковыктинского газоконденсатного месторождения). В двух томах. : монография / Ю.А. Агафонов, С.В. Алексеев, Л.П. Алексеева, и др. //под общ. ред. проф. А.Г. Вахромеева. – Иркутск: Изд-во ИРНИТУ, 2022. – 632 с.

23. Рябцев А.Д. Переработка литиеносного поликомпонентного гидроминерального сырья на основе его обогащения по литию: автореф.. дис. ... д-ра техн наук. Томск, 2011. 48 с.

24. Сверкунов С.А., Вахромеев А.Г., Близиуков В.Ю. Управление гидродинамическим и пластовым давлением при бурении скважин в сложных горно-геологических условиях // «Технологические решения строительства скважин на месторождениях со сложными геолого-технологическими условиями их разработки: материалы III Международной научно-практической конф. памяти В.И. Муравленко / отв. ред. В.П. Овчинников. – Тюмень: ТИУ, 2023. – 431 с. – С. 291–295. ISBN 978-5-9961-3165-5

25. Шварцев С.Л. О формировании крепких и предельно насыщенных подземных рассолов. Проблемы соленакопления. Т.1. Новосибирск: Наука, 1977. – С. 192–195.\

26. S.V. Alexeev, L.P. Alexeeva, A.G. Vakhromeev. Brines of the Siberian platform (Russia): Geochemistry and processing prospects // Applied Geochemistry, 117(6) 2020.

© А. Г. Вахромеев, М. А. Данилова, Д. П. Гладкочуб, С. А.Сверкунов, Д. О. Мамаков,  
Д. А. Погребная, А. С. Смирнов, А. В. Сергеева, Д. Сурмаажав, 2024