

Выявление потенциала эффективного извлечения лития из попутно добываемых вод

Булгаков С.А.¹, Перегоедова Д.В.¹, Кузнецов М.Е.¹, Гилаев Г.Г.²

¹ООО «СамараНИПИнефть» (ОГ ПАО «НК «Роснефть»), Самара, Россия;

²ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет», Краснодар, Россия
peregoedovadv@samnipi.rosneft.ru

Аннотация

Представлен обзор истории и технологии добычи литиевого сырья и его применение. Рассмотрены перспективы отрасли извлечения лития из попутных вод нефтяных месторождений на примере технологий, заявленных ведущими нефтегазовыми компаниями.

Материалы и методы

В данной работе был проведен анализ и обобщение статистических данных производства и потребления литиевого сырья, в качестве материалов были использованы открытые источники. Проведено сравнение современных технологий извлечения литиевого сырья из попутных вод.

Ключевые слова

литий, гидроминеральные ресурсы, осаждение, концентрирование, сорбционный метод

Для цитирования

Булгаков С.А., Перегоедова Д.В., Кузнецов М.Е., Гилаев Г.Г. Выявление потенциала эффективного извлечения лития из попутно добываемых вод // Экспозиция Нефть Газ. 2024. № 8. С. 150–153.

Введение

Извлечение лития является важным процессом для производства литий ионных батарей, используемых в различных устройствах, от мобильных телефонов до электромобилей. Именно поэтому на сегодняшний день литиевое сырьё — один из наиболее востребованных производственных ресурсов. В связи с этим встаёт вопрос обеспечения стабильной поставки лития в условиях роста потребности в нём.

Стремительное развитие литиевой промышленности вылилась в так называемую скоростную добычу. Крупнейшие добывающие компании развернули масштабные кампании по поиску новых месторождений и разработке рентабельной технологий добычи лития [5]. Одним из наиболее перспективных методов добычи данного ресурса является его извлечение из попутных вод, в перспективе способствующий увеличению доступности лития.

История развития добычи лития

Литий — самый легкий и один из самых реактивных металлов на нашей планете. Энергия, запасаемая 1 граммом лития всего лишь в 3 раза меньше, чем энергия тротила,

можно сделать вывод, что он близок по потенциалу запасаемой энергии к взрывчатым веществам.

Взрывоопасность литиевых аккумуляторов, сложность добычи, относительная редкость металла и постоянный рост цен на него заставляет ученых искать альтернативу ему. Два наиболее близких химических элемента — это два щелочных металла: магний и калий — они более хрупкие и мягкие металлы. Натрий — это шестой по распространенности элемент на земле, он более активный, чем литий. Однако натриевые аккумуляторы не смогут полностью заменить литиевые, особенно в мобильных устройствах, так как натрий тяжелее лития в 3 раза и активнее, в следствии, менее стабильный и взрывоопасный. Калий — следующий аналог лития в таблице Менделеева — он ещё более тяжелый и подходит только для стационарных энергетических источников.

В природе его практически невозможно встретить в твердом виде, ведь это очень реакционноспособный металл, мгновенно вступающий в реакцию с другими элементами. В составе соединений он содержится во всех системах земли: в горных породах, морской воде, солончаках, глинах и живых

организмах. Поэтому он не был обнаружен человечеством вплоть до первой половины 19 века.

Литий был открыт в 1817 году А. Афретсоном при исследовании минерала пилалита. При его растворении А. Афретсон обнаружил расхождения в массе элемента и предположил, что оставшееся количество соленого раствора является неизвестным щелочным элементом подобным калию и натрию. Литий первый из щелочных металлов, обнаруженный в твердых минералах. Долгое время добыча лития производилась исключительно из сподуменовых руд, сейчас этот метод добычи используется в США, Австралии и России.

Технология заключается в нагревании сподуменовой руды до 1 300 °С пока минералы не станут хрупкими и растрескавшиеся частицы металла не рассыплются в порошок. Грохочением и воздушной сепарацией пустую породу отделяют от сподуменового концентрата, из которого в ходе гидрометаллургической переработки выделяются соли карбоната лития. Изначально в сподуменовом концентрате содержание лития не превышает 6 %, полученный после гидрометаллургической переработки карбонат лития уже на 25 % состоит из искомого металла.



Рис. 1. Доли использования литиевого сырья

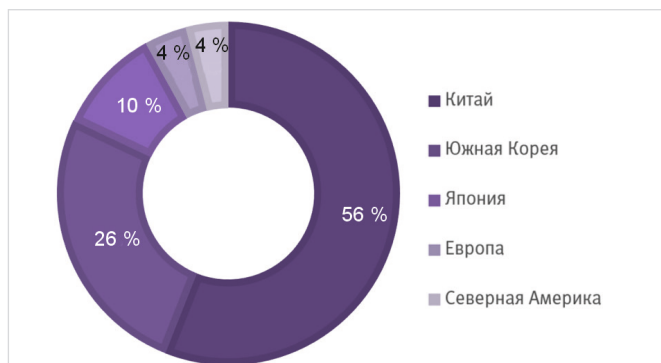


Рис. 2. Структура потребления лития для производства аккумуляторов по странам в 2022 году, тыс. TlCE

Полученный порошок очень агрессивен не только в металле, но и в своих соединениях. Для подавления активности карбоната лития Li_2CO_3 его разбавляют комплексным активом металлов лития и алюминия LiAlO_2 и чистый парашек алюминия. Затем данная смесь помещается в вакуум, там при определенных условиях происходит химическая реакция, в результате которой образуется металлический литий. Данный процесс непростой, но существует другой способ добычи — из солончаков.

В пресной и морской воде лития содержится в тысячи раз больше, чем в земной коре. Так в солончаках — подземных озерах, в основном сосредоточенных в Южной Америке (Боливия, Аргентина, Чили) по данным службы геологии, геодезии и картографии США, одна только озерная котловина Салор де Атакама содержит 27 % мировых запасов лития, кроме этого литиевые солончаки разведаны не только в странах латинской Америки, но и в Тибете и на Северном Кавказе. В пределах восточного предкавказского артезианского бассейна сейчас разведано 92 участка с промышленной концентрацией лития. За сутки на одном только Турумском месторождении можно добыть примерно 240 килограммов карбоната лития Li_2CO_3 .

Одним из основных мировых источников литиевого сырья являются поверхностные рассолы, дающие 65 % мировой добычи лития.

В промышленных месторождениях рапы литий присутствует в основном в виде хлорида. Средняя концентрация лития в крупных месторождениях колеблется от 0,04 % в Силвер Пик (Silver Peak), штат Невада, США, до 0,14 % в Салар-де-Атакама на севере Чили. В процессе добычи рапы конечной продукцией является карбонат лития, который частично перерабатывается в гидроксид [3].

Применение лития

Литий и его соединения имеют широкую область применения в различных отраслях производства. Наибольшая доля использования литиевого сырья приходится на производство литий-ионных аккумуляторов для электромобилей. К 2040 г прогнозируемое увлечение спроса на данный металл за счет увеличения объема спроса на электромобили находится в интервале от 3,4 млн. т. до 6,1 млн. т. LCE карбонат лития эквивалент по сравнению с 0,7 млн т в 2022 г. [9].

На втором месте по количеству применяемого литий содержащего сырья находится производство керамики и стекла. Также литий и его соединения применяют при непрерывном литье, производстве консистентных смазок, синтетического каучука и др.

Литий, являясь стратегическим металлом, также нашел применение в таких отраслях индустрии, как производство мощных химических источников тока, металлургии легких конструкционных сплавов, производство химических компонентов для ядерных энергетических реакторов. Кроме того, по-прежнему актуально получение алюминий-литиевых сплавов для авиастроения. Одним из основных мировых источников литиевого сырья являются поверхностные рассолы, дающие 65% мировой добычи лития.

Основным производителем аккумуляторов является Китай с долей 56 % мирового производства LiB. В тоже время Южная Корея имеет долю в 26%, а Япония — 10 %. Европа и Северная Америка остаются небольшими производителями имея доли в 4 % мирового производства [6].

Перспективы развития отрасли добычи лития из попутных вод нефтяных месторождений

На сегодняшний день крупнейшими производителями литиевого сырья и его добычи являются Чили, Аргентина, Боливия, Китай и Австралия. Каждая из стран по своему методу добывает литий, так, например, Австралия ведёт добычу из руды, что даёт сырьё ниже по качеству и по стоимости.

В сравнении с другими странами добыча лития в России ведётся на данный момент в минимальных объемах, а импортируется до 9 тыс.т карбоната лития. Но разработки по новым способам получения этого сырья ведутся.

Специалисты научных институтов Роснефти в г. Санкт-Петербурге и г. Красноярске провели успешные опытно-промышленные испытания технологии получения карбоната лития из гидроминерального сырья, добываемого на Юрубчено-Тохомском и Куюмбинском месторождениях [11]. На Ковыктинском месторождении «Газпром», «Иркутская нефтяная компания» (ИНК) и Минпромторг реализуют проект добычи лития из пластовых рассолов.

Крупные нефтегазовые компании мира заинтересованы в производстве лития

в надежде на технологический прорыв, потому что литий необходим в аккумуляторах электромобилей. В ближайшие годы автокомпаниям потребуются огромные объемы лития для электрификации машин, поскольку западные страны запрещают продажи новых автомобилей с бензиновыми и дизельными двигателями, а использование электромобилей в Китае стремительно растет [10].

Спрос на литиевое сырье растет, поэтому затруднения с поиском новых способов добычи лития и с развитием этой отрасли в России встаёт всё острее и острее. По прогнозам экспертов, к 2025 г. спрос на литий в мире может достичь 1,5 млн т, а к концу 10-летия — более 3 млн т. Литиевая индустрия стала одной из самых быстрорастущих в области добычи полезных ископаемых.

Согласно данным «Смарт Консалт», в России в настоящее время отрасль по производству очищенного лития активно развивается. На сегодняшний день объем залежей лития в перерасчете на чистый металл оценивается приблизительно в 900 тыс. т, что является весьма перспективным для развития собственной добычи данного ресурса. Перспективными источниками лития могут стать литийсодержащие руды и хвосты обогащения флюоритовых месторождений Пограничное и Вознесенское, а также литийсодержащие рассолы артезианских бассейнов в Иркутской области. Шанс выйти по производству литиевого сырья на мировую арену и составить конкуренцию крупным производителям есть. Геологоразведочные работы и проектирование по плану завершатся через несколько лет, а к 2030 году будет выход на проектную мощность [4].

Роснефть предлагает способ добычи лития из попутных вод, что имеет ряд преимуществ и перспективен. В основе их технологий лежит использование сорбентов, которые способны избирательно поглощать ионы лития. Такой сорбционный метод является экологически чистым, что даёт этому методу большее преимущество над другими методами. Также, эта технология наиболее эффективна в извлечении лития из гидроминерального сырья, а извлекаемое сырьё, карбонат лития, обладает характеристиками, подходящими для использования его в батареях. Используя мобильную опытную установку российского производства, специалисты компании в короткие сроки получили более 300 кг карбоната лития [11].



Рис. 3. Технология добычи лития из попутных вод



Рис. 4. Динамика объема производства лития

Все проведенные испытания Роснефти нацелены на налаживание производства карбоната лития в процессе нефтегазодобычи. Это позволит повысить эффективность эксплуатации месторождений и снизить себестоимость добычи углеводородного сырья, тем самым покрывая 10 % прогнозируемого мирового спроса на литий.

Себестоимость добычи лития из пластовых вод может оказаться сопоставимой с рудными проектами, а на готовой нефтегазовой инфраструктуре показатель может быть даже ниже из-за сокращения CAPEX.

Под влиянием сложной геополитической ситуации в 2023–2024 гг. вероятно снижение отечественного выпуска гидроксида и карбоната лития ввиду возможного дефицита зарубежного сырья и снижения спроса со стороны ведущих иностранных потребителей.

Тем не менее уже к 2025 году вероятно восстановление позитивной динамики производства и дальнейшее наращивание в перспективе до 2027 года. В качестве драйверов будут выступать как развитие отраслей потребления внутри РФ и дружественных странах, так и улучшение обеспеченности сырьем [6].

Ориентируясь на данные «ВЫГОН Консалтинг», перспективы развития отрасли добычи лития из попутных вод таковы:

1. Ресурсы лития в России могут быть увеличены в 23 раза за счёт рассолов. Для этого требуется подсчёт рентабельно извлекаемых запасов.
2. Себестоимость добычи и производства литиевого сырья будет снижена с помощью комплексной добычи компонентов из рассолов. Это же производство возможно будет сопоставить с ключевыми проектами Южной Америки — 4,0–5,0 тыс. долл./т LCE против 4,9 6,2 тыс. долл./т LCE соответственно.
3. Объем производства лития в России к 2040 году предположительно составит около 0,25–0,6 млн т LCE или до 15 % от возможного мирового спроса, а ежегодная экспортная выручка российских производителей — 8,8 20 млрд долл.

Также, по данным «ВЫГОН Консалтинг», к 2030 году спрос на литий в России вырастет более чем в 2 раза.

По предварительным данным ресурсы лития в рассолах в России составляют около 109 млн т LCE. В границах Лено-Тунгусской зоны находится основная часть ресурсов лития, что делает её перспективной за счёт высоки концентраций лития в водоносных горизонтах. [6]

Используя нынешние технологии добычи лития из попутных вод к 2040 году объем его производства может составить 15 % от мирового спроса.

В возможном сценарии темп отбора составляет 0,6%, что гораздо ниже технического потенциала (до 4,7 %). Реальный потенциал производства лития будет определяться экономической российскими проектами, их конкурентоспособностью на мировом рынке. [6]

Введение технологии добычи лития непосредственно в процессе нефтегазодобычи имеет значительные экономические и экологические преимущества. Во-первых, это позволяет повысить эффективность эксплуатации месторождений, так как добыча лития осуществляется параллельно с добычей углеводородного сырья. Во-вторых, это способствует снижению себестоимости добычи углеводородов, что в условиях современных рыночных реалий является важным конкурентным преимуществом. В-третьих, развитие собственной добычи лития значительно снижает зависимость от импорта, обеспечив стратегическую автономию в этом важнейшем сегменте. Причем нефтегазовые компании, по оптимистичным прогнозам, могут добывать:

- к 2030 г. — 56 тыс. т/год LCE;
- к 2035 г. — по 206 тыс. т/год.

В любом случае, данные проекты демонстрируют экономическую привлекательность [1]. Перспективы развития метода добычи лития из попутных вод имеют ряд вышеописанных преимуществ, делающих его конкурентоспособным. Можно предположить, что в условиях роста спроса на литиевое сырьё в ближайшем будущем в отрасли можно ожидать появление новых игроков.

Новейшие технологии

Добыча лития стала одним из приоритетных направлений развития современной промышленности, поэтому новейшие технологии и разработки очень важны для данной отрасли.

Одной из самых перспективных и новых технологий является добыча лития из попутных вод, которые являются продуктом добычи нефти и газа.

Сотрудники «Газпром нефти», авторы статьи «Извлечение лития из попутных вод на примере Оренбургского нефтегазоконденсатного месторождения», отмечают три способа извлечения лития из рассолов.

Во-первых, это осаждение с концентрированием. Здесь происходит упаривание

жидкости с последующим осаждением лития. Однако у этого метода есть ограничения: реакция возможна только при низких концентрациях магния и кальция в рассоле. Следующий способ — осаждение без концентрирования с помощью аморфного гидроксида алюминия.

Существует еще один метод - сорбционный метод с применением сорбента ДГАЛ-С1. Метод заключается в сорбции лития сорбентом (ДГАЛ-С1) из высокоминерализованных вод с последующей промывкой насыщенного сорбента пресной водой и получением рассола. Рассол концентрируют с осаждением лития в его товарную форму — карбонат лития. [5]

Заключение

Выявление потенциала эффективного извлечения лития из попутно добываемых вод является важной задачей для ресурсосберегающих технологий. Этот процесс позволит не только уменьшить негативное влияние на окружающую среду, но и обеспечить дополнительный источник питания для производства батарей.

Использование существующей инфраструктуры и низкие операционные расходы делают добычу лития из попутных вод экономически привлекательным направлением. Развитие инновационных технологий извлечения лития повышает эффективность и открывает новые перспективы для роста отрасли. Растущий спрос на сырьё создаёт благоприятные условия для дальнейшего развития отрасли добычи лития из попутных вод. Соблюдение экологических норм является ключевым фактором успеха для проектов по извлечению лития.

Таким образом, следует отметить, что литий и его соединения являются одним из наиболее востребованных ресурсов в различных отраслях производства. Исследование возможностей эффективного извлечения его из попутных вод, активно развивается. На сегодняшний день объем залежей лития является весьма перспективным для развития добычи данного ресурса в России. Крупные нефтегазовые компании заинтересованы в производстве лития, в статье рассмотрены основные способы и извлечения лития из попутных вод, предложенные ими: осаждение с концентрированием, без концентрирования с помощью аморфного гидроксида алюминия, сорбционный метод с применением сорбента, отмеченные сотрудниками «Газпром нефть». Приведена технология

ГИДРОМИНЕРАЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ ЛИТИЯ РОССИИ

■ Лено-Тунгусская ■ Оренбургско-Самарская ■ Дагестано-Чеченская ■ Татарская

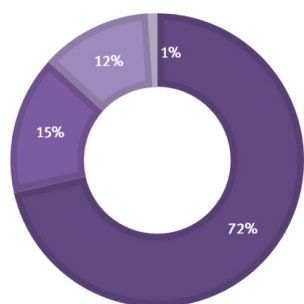


Рис. 5. Структура гидроминеральных ресурсов лития России

Сценарный прогноз добычи лития в России, тыс. т LCE

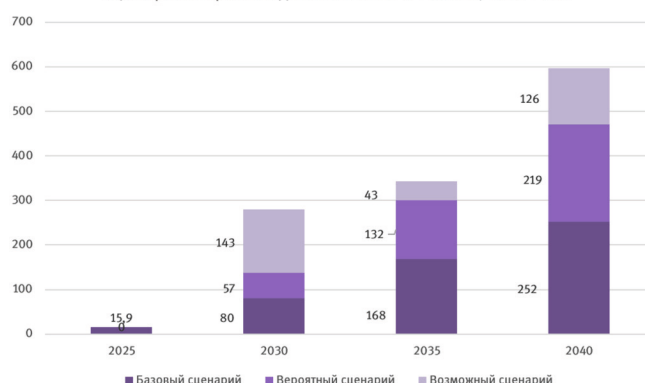


Рис. 6. Сценарный прогноз добычи лития в России

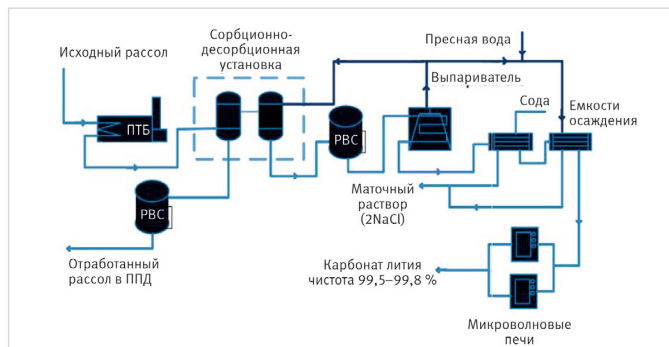


Рис. 7. Технологическая схема установки извлечения лития: ПТБ — печь трубчатая блочная, РВС — резервуар вертикальный стальной [2]

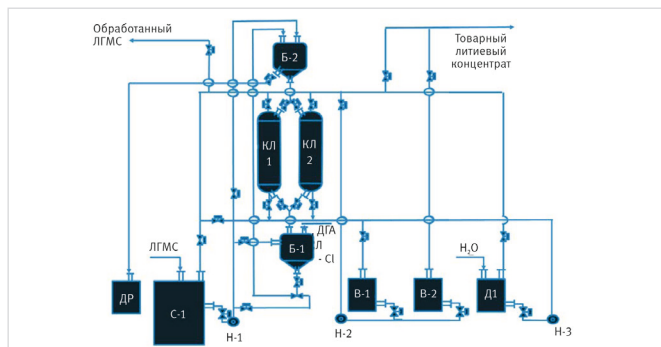


Рис. 8. Схема сорбционно-десорбционной установки [2]

использования сорбентов, предложенная ПАО «НК «Роснефть».

Использование существующей инфраструктуры, описанной в данной работе, низкие операционные расходы делают добычу лития из попутных вод экономически привлекательным направлением. Растущий спрос на сырьё и развитие технологии извлечения лития повышает эффективность и открывает новые перспективы для роста отрасли.

Литература

1. Алифорова Е. Добыча лития из пластовых рассолов может дать российским нефтегазовым компаниям дополнительно 13 млрд долл. США/год дохода // Neftegaz.RU URL: <https://neftgaz.ru/news/dobycha/777870-dobycha-litiya-iz-plastovykh-vod-mozhet-dat-rossiyskim-neftegazovym-kompaniyam-dopolnitelno-13-mlrd/> (дата обращения: 28.06.2024).
2. Бандалетова А.А., Гаврилов А.Ю., Галин Е.В. Извлечение лития из попутных вод на примере Оренбургского НГКМ // ПРОНЕФТЬ. Профессионально о нефти: журнал. 2021. Т. 6. № 1. С. 29–32.
3. Бондаренко С.С., Куликов Г.В.,

Лубенский Л.А. Геолого-экономическая оценка месторождений подземных промышленных вод. Москва: Недра, 1988. 128 с.

4. Валуева А. Мировой и российский рынок лития: реалии и перспективы. Презентация ООО «Смарт Консалт». 2023.
5. Добыча лития: промышленный «флешмоб» // Добывающая промышленность. URL: <https://dprom.online/mtindustry/dobycha-litiya-promyshlennyj-fleshmob/> (Дата обращения: 28.06.2024).
6. Заруба Е. Себестоимость и перспективы разворота литиевой индустрии в нашей стране, включая добычу жидкого лития из пластовых вод на российских нефтегазовых месторождениях // Презентация ООО «ВЫГОН Консалтинг». 2023.
7. Извлечение лития из нефтяных рассолов: есть ли будущее у технологии в России? // Добывающая промышленность. URL: <https://dprom.online/mtindustry/eezvyechyeneeye-leeteeya-eez-nyeftyanih-rassolov/> (Дата обращения: 28.06.2024).
8. Изменения, которые вносятся

- в Государственную программу Российской Федерации «Развитие промышленности и повышение ее конкурентоспособности». Утверждена постановлением Правительства РФ от 15 апреля 2014 г. № 328 (в редакции постановления правительства РФ от 12 ноября 2021 г. № 1933). Литий как металл будущего, потому что «домашняя электричка» становится популярнее в разы // Энергия единой сети. 2012. URL: <https://энергия-единой-сети.рф/novosti/litij-kak-metall-budushhego/> (дата обращения: 28.06.2024).
9. Петров Е. В добыче лития из попутной пластовой воды в РФ ожидается прорыв через 2–3 года. ROGTEC: цифровой информационный отраслевой портал. URL: <https://www.rogtectmagazine.com/роснедра-ожидают-начала-добычи-лития/?lang=ru> (Дата обращения: 28.06.2024).
 10. Роснефть успешно испытала технологию получения карбоната лития из пластовой воды. URL: <https://www.rosneft.ru/press/news/item/219569/>. (Дата обращения: 28.06.2024).



Рис. 9. Мобильный комплекс полного цикла получения карбоната лития

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Булгаков Сергей Александрович кандидат технических наук, начальник управления разработки месторождений Волго-Уральской НГП, ООО «СамараНИПИнефть» (ОГ ПАО «НК «Роснефть»), Самара, Россия
Для контактов: bulgakovsa@samnipi.rosneft.ru

Перегаедова Дарья Владимировна инженер 2 категории, ООО «СамараНИПИнефть» (ОГ ПАО «НК «Роснефть»), Самара, Россия

Кузнецов Максим Евгеньевич главный специалист, ООО «СамараНИПИнефть» (ОГ ПАО «НК «Роснефть»), Самара, Россия

Гиалаев Гани Гайсинович доктор технических наук, профессор, директор институт нефти, газа и энергетики, заведующий кафедрой нефтегазового дела имени профессора Г.Т. Вартумяна, ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет», Краснодар, Россия