

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

**«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ
Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»**

Кафедра нефтехимии и техногенной безопасности

**Технологические особенности получения карбоната лития
из гидроминерализованного сырья**

АВТОРЕФЕРАТ МАГИСТЕРСКОЙ РАБОТЫ

студента 2 курса 252 группы _____

направления 18.04.01 «Химическая технология» _____

код и наименование направления, специальности

 Института химии _____

Бессонова Алексея Игоревича

Научный руководитель

 д.х.н., профессор _____

должность, уч. ст., уч. зв.подпись, дата

 Р.И. Кузьмина _____

инициалы, фамилия

Заведующий кафедрой

 д.х.н., профессор _____

должность, уч. ст., уч. зв.подпись, дата

 Р.И. Кузьмина _____

инициалы, фамилия

Саратов 2025

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР.....	6
ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ.....	9
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	11

Работа выполнена на 70 страниц, содержит 9 таблиц и 11 рисунков

ВВЕДЕНИЕ

Литий и его соединения широко используются в производстве стекла, керамики, смазок, аккумуляторов, хладагентов, химических реагентов и других отраслях промышленности. Мировые запасы лития составляют около 14 млн. тонн, в основном 70–80% хранится в рапе соленых озер, геотермальной воде и твердом литии, содержащемся в литиевой руде. В настоящее время многие исследователи обращают внимание на 2600 млрд. тонн литийсодержащих морских вод, что примерно в 15 000 раз больше, чем твердых литиевых руд.

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 [1]. На Ковыктинском месторождении «Газпром», «Иркутская нефтяная компания» (ИНК) и Минпромторг реализуют проект добычи лития из пластовых рассолов.

Полномасштабными исследованиями и практическими результатами испытаний на природных рассолах подтвержден основной метод адсорбции для выделения лития из вод мирового океана, рассолов озер, вод глубоких горизонтов, геотермальных вод, попутных вод добычи углеводородов, с использованием в качестве сорбентов алюминийсодержащих материалов.

Целью работы являлась оптимизация и увеличение эффективности технологического процесса производства карбоната лития из гидроминерализованных рассолов.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить **следующие задачи:**

1. Анализ литературных и патентных данных по основным способам извлечения лития из гидроминерализованных рассолов.

2. Анализ научно-технической литературы и рассмотрение современного оформления процесса производства карбоната лития путём адсорбции гидроминерального сырья

3. Исследование особенностей синтеза носителя и адсорбента для процесса адсорбции хлорида лития в динамическом режиме

4. Экспериментально обоснованное предложение технологического процесса переработки гидроминерализованного сырья с получением карбоната лития.

Практическая значимость работы заключается в следующих ключевых аспектах:

1. Технологические преимущества

· **Улучшение качества продукта** – оптимизация позволяет получать карбонат лития с более высокой чистотой, что важно для его применения в литий-ионных батареях и других высокотехнологичных отраслях.

· **Снижение энергопотребления** – например, за счет оптимизации температурных режимов, использования более эффективных сорбентов или регенерации растворителей.

· **Автоматизация и управление процессом** – внедрение современных систем контроля (например, с использованием AI и IoT) повышает стабильность производства.

2. Экологическая устойчивость

· **Минимизация отходов** – эффективная адсорбция снижает потери лития и уменьшает объемы отходов рассола.

· **Снижение вредных выбросов** – оптимизация может включать замену токсичных реагентов на более экологичные альтернативы.

· **Экономия водных ресурсов** – улучшенные методы адсорбции могут снизить потребление воды или обеспечить ее рециркуляцию.

3. Рыночная конкурентоспособность

. **Удовлетворение растущего спроса** – литий критически важен для аккумуляторов электромобилей и возобновляемой энергетики. Оптимизация производства позволяет быстрее реагировать на рыночные потребности.

. **Снижение зависимости от импорта** – эффективные технологии делают добычу лития из местных рассолов более привлекательной, уменьшая reliance на зарубежных поставщиков.

4. Научно-технический прогресс

. **Разработка новых сорбентов** – исследования в этой области могут привести к созданию более селективных и долговечных материалов для адсорбции лития.

. **Методология для других металлов** – оптимизированные процессы могут быть адаптированы для извлечения других ценных элементов (магния, калия и т. д.).

ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

1 Особенности использования лития

Литий - это легкий и реакционноспособный металл, который является основным компонентом в одной из наиболее перспективных форм батарей с высокой плотностью энергии [2-4]. Современная технология для полностью электрических транспортных средств основана на литий-ионных аккумуляторах, и ожидается, что электромобили будут занимать все большую долю автомобильного рынка, поэтому спрос на литий и его производство будут расти пропорционально спросу на транспортные средства [2,3]. В дополнение к использованию в аккумуляторах электромобилей, литиевые батареи планируется использовать в сетевых хранилищах для периодического производства возобновляемой энергии, такой как ветер и солнце [5]. Литий также является важным компонентом для металлургии, производства керамики, стекла, продуктов для очистки воздуха, фармацевтических препаратов и полимеров [5]. Литий используется для изготовления сплавов с другими металлами, включая свинец, медь, серебро, магний, кремний и алюминий.

Литий содержится в трех основных типах отложений: соленых подземных водах (континентальные рассолы), гидротермально измененных глинах (осадочные отложения) и пегматитах (кристаллическая твердая порода).

Методы и технологии, применяемые для прямого извлечения лития из рассолов, включают осаждение, хорошо зарекомендовавшие себя сорбционные технологии, такие как ионообменные смолы, появляющиеся новые сорбенты, такие как оксиды металлов, разделение растворителей с использованием растворителей, обычно используемых для извлечения металлов, и новых растворителей, специфичных для лития, таких как краун-эфиры. Методы прямой экстракции лития могут использовать мембраны и электрохимические процессы для усиления экстракции лития.

Большая часть лития извлекается из рассола или морской воды с высокой концентрацией карбоната лития. В земной коре есть рассолы, называемые континентальными рассолами/подземными рассолами, которые являются основ-

ным источником производства лития (карбоната лития). В литературе сообщается, что литий также присутствует в морской воде в количестве около 0,17 мг л⁻¹. Литий содержится в значительных количествах в рассолах нефтяных скважин и геотермальных водах. Эти источники рассола и морской воды считаются менее дорогостоящими, чем добыча полезных ископаемых из таких пород, как сподумен, лепидолит, амблигонит и петалит, содержащие литий.

Из-за истощения литиевых руд недавние исследования показали извлечение лития из морской воды, рассола и геотермальной воды. Производство лития из водных ресурсов стало более важным из-за его широкой доступности, простоты процесса и рентабельности по сравнению с его производством из различных ресурсов [6].

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.

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 в 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].

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Литий относится к числу наиболее дефицитных металлов, востребованных в различных отраслях промышленности. Рост потребления электронных устройств и гибридных электромобилей обуславливает увеличение спроса на литий, что делает актуальной задачу разработки эффективных методов его извлечения из водных источников.

В рамках исследования проведён анализ научных и патентных данных, посвящённых способам извлечения лития из гидроминерализованных рассолов. Установлено, что наиболее перспективным методом является ионообменная адсорбция с использованием литий-селективных сит, обеспечивающих высокую степень извлечения. Разработана технологическая схема получения карбоната лития из гидроминерального сырья, подтвердившая эффективность адсорбционно-десорбционного метода для переработки пластовых вод.

В лаборатории был синтезирован $\text{LiCl} \cdot 2\text{Al}(\text{OH})_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ – адсорбент, изучены его физико-химические свойства, исследован адсорбционно-десорбционный процесс извлечения хлорида лития из пластовой воды с адсорбентом ДГАЛ-С1 и предложено технологическое усовершенствование стадии водоподготовки исходного гидроминерализованного сырья с учетом уникальных свойств $\text{LiCl} \cdot 2\text{Al}(\text{OH})_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ - адсорбента.

Адсорбент был приготовлен на основе бемита ($\text{LiCl} \cdot 2\text{Al}(\text{OH})_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) при температурах 10, 15 и 20 °С. Показано, что его динамическая адсорбционно-десорбционная ёмкость достигает 89%. Исследование структуры адсорбента выявило наличие макропор с размерами от 50 нм и более, что способствует высокой сорбционной активности.

Промышленные исследования стадии водоподготовки осуществлялись на основе исходного гидроминерального сырья, содержащего до 60 мг/дм³ солей железа. Показано, что соединения железа не осложняют работу сорбционно-десорбционного модуля, что позволяет осуществить водооборот пластовой воды обратно в скважину.

Таким образом, проведённые исследования подтверждают перспективность адсорбционно-десорбционного метода для извлечения лития из гидроминерализованных рассолов, а также возможность его масштабирования в промышленных условиях.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 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.

2 Energy Critical Elements: Securing Materials for Emerging Technologies // American Physical Society, Materials Research Society URL: <https://www.aps.org/policy/reports/popa-reports/energy-critical.cfm> (дата обращения: 31.04.2025).

3 Grosjean, C.; Miranda, P.H.; Perrin, M.; Poggi, P. Assessment of world lithium resources and consequences of their geographic distribution on the expected development of the electric vehicle industry // Renew. Sustain. Energy Rev. - 2012. - №16. - С. 1735–1744.

4 Ambrose, H.; Kendall, A. Understanding the future of lithium: Part 1, resource model // J. Ind. Ecol. - 2020. - №24. - С. 80–89.

5 Munk, L.; Hunek, S.; Bradley, D.C.; Boutt, D.; Labay, K.A.; Jochens, H. Chapter 14: Lithium brines: A global perspective // Rev. Econ. Geol. - 2016. - №18. - С. 339–365.

6 Вахромеев А.Г. Закономерности формирования и концепция освоения промышленных рассолов: на примере юга Сибирской платформы: дис. д-р геолого-минералогических наук: 25.00.07. - Иркутск, 2009. - 380 с.