

УТВЕРЖДАЮ



Проректор по учебной работе
ФГАОУ ВО «Сибирский
федеральный университет»

Денис Сергеевич Гуц

«23» июня 2026 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

федерального государственного автономного образовательного
учреждения высшего образования «Сибирский федеральный университет»

Диссертация «Разработка технологических решений по извлечению лития из литийсодержащего сырья с использованием сорбционных процессов» выполнена на кафедре металлургии цветных металлов.

В период подготовки диссертации соискатель Алейников Сергей Александрович работал научным сотрудником в лаборатории получения редких и редкоземельных соединений Акционерного общества «Аксион – Редкие и Драгоценные Металлы», и обучался в очной аспирантуре федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Сибирский федеральный университет», кафедра фотоники и лазерных технологий.

Алейников Сергей Александрович в 2011 году окончил ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет» по направлению подготовки 150109 «Металлургия техногенных и вторичных ресурсов» с присвоением квалификации «инженер». В 2022 году с отличием окончил магистратуру ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет» по направлению подготовки 22.04.02 – «Металлургия».

Научный руководитель – Белоусова Наталья Викторовна, доктор

химических наук, профессор, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский федеральный университет», кафедра металлургии цветных металлов, заведующий.

На заседании присутствовали:

Кафедра металлургии цветных металлов:

1. Белоусова Наталья Викторовна – зав. кафедрой, д-р хим. наук, профессор;
2. Васюнина Наталья Валерьевна – доцент каф., канд. техн. наук, доцент;
3. Олейникова Наталья Васильевна – профессор каф., д-р техн. наук, доцент;
4. Поляков Петр Васильевич – профессор каф., д-р хим. наук, профессор;
5. Рюмин Анатолий Иннокентьевич – доцент каф., канд. техн. наук, с.н.с.;
6. Чекушин Владимир Семенович – профессор каф., д-р техн. наук, профессор;

Кафедра композиционных материалов и физико-химии металлургических процессов:

7. Васильева Мария Николаевна – зав. кафедрой, канд. техн. наук, доцент;
8. Еромасов Роман Георгиевич – доцент каф., канд. техн. наук;
9. Симонова Наталья Сергеевна – доцент каф., канд. техн. наук, доцент;

Кафедра металловедения и термической обработки металлов имени В.С. Биронта:

10. Юшкова Ольга Васильевна – зав. лабораторией, канд. техн. наук;

Кафедра общей металлургии:

11. Ковтун Ольга Николаевна – доцент каф., канд. техн. наук, доцент;
12. Марченко Наталья Владимировна – доцент каф., канд. техн. наук, доцент;

Кафедра обогащения полезных ископаемых:

13. Брагин Виктор Игоревич – профессор каф., д-р техн. наук, профессор;
14. Бурдакова Екатерина Александровна – зав. кафедрой, канд. техн. наук, доцент.

Были заданы вопросы:

1. Расскажите о механизме сорбции лития.
2. Чем обусловлена селективность литий-селективного сорбента?
3. Сравнивали ли вы емкость синтезированного литий селективного сорбента с емкостью коммерческих сорбентов?
4. Проводилась ли статистическая обработка данных?
5. Как интерпретировать результаты аппроксимации экспериментальных данных по сорбции лития с помощью модели Еловича?
6. Какой период окупаемости проекта получения карбоната лития из пластового рассола без учета дисконтирования?
7. Какие положения выносятся на защиту?

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

Представленная Алейниковым Сергеем Александровичем диссертация обобщает самостоятельные исследования автора и является завершенным научным трудом, выполненным по специальности 2.6.2 Metallургия черных, цветных и редких металлов.

Актуальность темы диссертации

Современный этап развития мировой экономики, характеризующийся стремительной трансформацией энергетики и транспорта, привел к резкому росту спроса на литий. В России эта тенденция усугубляется острым дефицитом литиевой продукции, которая практически полностью импортируется. Сложившаяся зависимость от внешних поставок создает прямые риски для технологической безопасности и конкурентоспособности отечественных высокотехнологичных предприятий.

Особую актуальность проблеме придает специфика российской сырьевой базы. В отличие от стран-лидеров, где литий добывается из рассолов соляных озер, в России его запасы сосредоточены в пластовых водах нефтегазовых месторождений. Высокая обводненность нефтедобычи делает эти воды широкодоступным, но технологически сложным ресурсом, требующим разработки специализированных методов переработки. Параллельно с этим в

стране ожидается накопление значительных объемов вторичного сырья - «черной массы» от отработавших литий-ионных аккумуляторов, переработка которого соответствует принципам циркулярной экономики и снижению экологической нагрузки.

Таким образом, актуальность работы обусловлена необходимостью решения комплекса взаимосвязанных задач: преодоления импортозависимости, освоения специфических отечественных ресурсов и создания технологий для их переработки. Наиболее перспективным методом для извлечения лития из таких многокомпонентных рассолов является сорбционная технология, позволяющая интегрировать процесс в существующий цикл нефтедобычи. При этом отсутствие в России опытно-промышленных технологий извлечения лития диктует необходимость разработки универсальных гидрометаллургических схем, адаптированных как для первичного, так и для вторичного сырья.

Актуальность работы подтверждается ее соответствием приоритетным направлениям развития науки, технологий и техники РФ, Стратегии развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации до 2035 года (распоряжение Правительства РФ от 22.12.2018 № 2914-р) и Стратегии развития промышленности по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов производства и потребления на период до 2030 года (распоряжение Правительства РФ от 25.01.2018 № 84-р) в части создания новых высокоэффективных технологий переработки литийсодержащих рассолов и вторичного сырья («черной массы» литий-ионных аккумуляторов) для обеспечения технологического суверенитета и минерально-сырьевой безопасности Российской Федерации.

Целью работы соискателя является разработка научно-обоснованных технологических решений получения карбоната лития из первичного (пластовые воды) и вторичного («черная масса» отработанных литий-ионных аккумуляторов) сырья с использованием сорбционных процессов.

Основные научные результаты и их новизна

1. Установлено влияние связующего из класса полисахаридов (альгинат

натрия) и его производного (карбоксиметилцеллюлоза) при синтезе гранулированного литий-селективного сорбента (на основе слоистого двойного гидроксида алюминия-лития) на достижение высоких механических свойств сорбента.

2. Установлены кинетические закономерности сорбции лития в условиях высокоминерализованной пластовой воды литийселективным сорбентом (на основе двойного слоистого гидроксида алюминия-лития), отвечающие модели псевдвторого порядка (модели Еловича).

3. Установлено, что процесс водного выщелачивания лития из «черной массы» является высокоселективным и отвечает кинетической модели Еловича) кинетической моделью Еловича.

Личное участие автора в получении результатов научных исследований, изложенных в диссертации, заключается в формулировке цели и задач диссертации; в подготовке проб для аналитических исследований; организации и проведении экспериментальных исследований; проведении моделирования, математической обработки экспериментальных данных; апробации результатов исследования на конференциях различного уровня; подготовке материалов к публикации; разработке технологических и аппаратурных схем переработки литийсодержащего сырья; составлении материальных балансов; формулировке выводов и рекомендаций для дальнейшего направления развития исследований.

Степень достоверности исследований полученных результатов обеспечивается необходимым объемом теоретических и экспериментальных исследований. Степень достоверности результатов исследования обусловлена их соответствием известным тенденциям развития литейной отрасли, ранее полученным результатам и разработкам, а также доказываемая с позиции теории металлургических процессов и практики аналогичных процессов, применением высокотехнологических аналитических методов исследований и сертифицированного оборудования.

Теоретическая и практическая значимость работы

1. Получены новые фундаментальные данные о кинетике и механизмах сорбционного извлечения лития из сложных многокомпонентных рассолов и растворов водного выщелачивания лития из техногенного сырья. Результаты дополняют теорию гидрометаллургических процессов редких металлов и могут быть использованы при моделировании аналогичных систем.

2. Разработаны и научно обоснованы технические решения гидрометаллургического получения карбоната лития из «черной массы» отработанных литий-ионных аккумуляторов и пластовой воды Кембрийского водоносного горизонта.

3. Разработаны аппаратурно-технологические схемы производственных процессов для обоих видов сырья с расчетом материальных балансов и подбором коррозионностойких материалов.

4. Выполнена комплексная оценка технико-экономической эффективности проекта получения карбоната лития из пластовой воды Кембрийского водоносного горизонта производительностью по рассолу 100 м³/ч с расчетом капитальных (1,424 млрд руб.) и операционных затрат (665 тыс. руб/т Li₂CO₃), а также ключевых показателей инвестиционной привлекательности проекта (чистый дисконтированный доход, индекс доходности, дисконтированный срок окупаемости, внутренняя норма доходности).

5. Получен акт внедрения от АО «Аксион – Редкие и Драгоценные Металлы», подтверждающий использование результатов диссертации в реальной технологической разработке предприятия.

Соответствие диссертации паспорту специальности 2.6.2

Металлургия черных, цветных и редких металлов: №1 (Рудное, нерудное, техногенное и энергетическое сырье); № 7 (Рециклинг материалов, переработка отходов производства и потребления); № 19 (Гидрометаллургические процессы и агрегаты); №26 (Математическое моделирование процессов производства черных, цветных и редких металлов, формирования техногенных

месторождений и способов их утилизации. Управление и оптимизация металлургическими процессами).

Апробация работы. Основные положения работы были представлены на международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Перспектив Свободный – 2023» и «Перспектив Свободный – 2024». (Красноярск, 2023, 2024), XIV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Перспективы развития, совершенствования и автоматизации высокотехнологичных производств» (Иркутск, 2024), двенадцатом Международном конгрессе «Цветные металлы и минералы-2024» (Красноярск, 2024).

Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем. Основные результаты диссертационной работы полностью отражены в следующих научных работах автора:

Статьи из Перечня изданий, рекомендованных ВАК РФ

1. **Алейников, С.А.** Получение карбоната лития из «черной массы» литий-ионных аккумуляторов / **С.А. Алейников, Н.В. Белоусова** // Известия вузов. Цветная металлургия. – 2024. – № 3. – С. 34–44.

2. **Алейников, С.А.** Сорбционное извлечение лития из рассола / **С.А. Алейников, Н. В. Белоусова** // IPolytech Journal. – 2025. – Т. 29, № 3. – С. 376–388.

3. **Алейников, С.А.** Изучение кинетики водного выщелачивания лития из «черной массы» литий-ионных аккумуляторов / **С.А. Алейников, Н. В. Белоусова** // Известия вузов. Цветная металлургия. – 2026. Т. 32, № 2. – С. 25–34.

4. **Алейников, С.А.** «Изучение кинетики сорбции лития сорбентом на основе слоистого двойного гидроксида алюминия-лития» / **С.А. Алейников, Н.В. Белоусова** // IPolytech Journal. – 2026 Т. 30, № 3. С. 545–558.

Публикация в издании, входящем в международную базу данных Scopus

5. **Алейников, С.А.** Выбор сорбента для очистки литийсодержащих рассолов от ионов кальция и магния / **С.А. Алейников, Н.В. Белоусова, М.Р.**

Кастюк, Т.С. Неделина // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Химия. = Journal of Siberian Federal University. Chemistry – 2024. – Т. 17, № 1. – С. 96–104.

Патенты

6. Патент №2837934, Российская Федерация, C01D 15/08; C22B 26/12; C22B 3/24; B01D 15/00; B01D 61/02; F25B 15/16 (2024.08). Способ получения карбоната лития из литийсодержащего раствора и установка для его осуществления / П.В. Корнев, К.Ю. Кочмарев, **С.А. Алейников**, М.Р. Кастюк, Т.С. Неделина, Н. Р. Яруллин, А.М. Джумагалиев, И.В. Пономаренко; заявитель и патентообладатель АО «Аксион Редкие и Драгоценные Металлы». № заявки 2024118819, заявл. 05.07.2024; опубл. 07.04.2025. Бюл. № 10.

7. Патент №2850802, Российская Федерация, B01J 20/3042; B01J 20/04; B01J 20/08 (2025.05). Способ получения гранулированного сорбента для извлечения лития из литийсодержащих рассолов / **С.А. Алейников**; заявитель и патентообладатель **С.А. Алейников**. № заявки 2025105965, заявл. 14.03.2025; опубл. 13.11.2025. Бюл. № 32.

Другие публикации:

8. **Aleinikov, S.A.** Removal of calcium and magnesium ions from lithium-containing brines / **S.A. Aleinikov** // Проспект Свободный – 2023 : Материалы XIX Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (Красноярск, 24–29 апреля 2023 года). – Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2023. – Р. 93–95.

9. **Алейников, С.А.** Сорбционная очистка литийсодержащих растворов / **С.А. Алейников** // Проспект Свободный – 2023 : Материалы XIX Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Красноярск, 24–29 апреля 2023 года. – Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2023. – С. 1644–1646.

10. **Алейников, С.А.** Получение карбоната лития из «черной массы» литий-ионных аккумуляторов / **С.А. Алейников**, Н.В. Белоусова // Перспективы развития, совершенствования и автоматизации

высокотехнологичных производств : материалы XIV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием (Иркутск, 24–26 апреля 2024 года). – Иркутск: Иркутский национальный исследовательский технический университет, – 2024. – С. 75–78.

11. **Алейников, С.А.** Сорбция ионов алюминия из щелочных литийсодержащих растворов / **С. А. Алейников** // Проспект Свободный - 2024 : материалы юбилейной XX Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых: в 4 частях (Красноярск, 15–20 апреля 2024 года). – Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2024. – С. 10–13.

12. **Алейников, С.А.** Получение карбоната лития из «черной массы» литий-ионных аккумуляторов / **С.А. Алейников, Н.В. Белоусова** // Цветные металлы и минералы - 2024 : сборник тезисов докладов двенадцатого международного конгресса (Красноярск, 09–13 сентября 2024 года). – Красноярск: Научно-инновационный центр, 2024. – С. 989–994.

Диссертация «Разработка технологических решений по извлечению лития из литийсодержащего сырья с использованием сорбционных процессов» Алейникова Сергея Александровича рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.2 Metallurgy черных, цветных и редких металлов.

Заключение принято на расширенном заседании кафедры металлургии цветных металлов. Присутствовало на заседании 14 чел.

Результаты голосования: «за» – 14 чел., «против» – 0 чел., «воздержалось» – 0 чел., протокол № 1 от «15» июня 2026 г.

Председатель расширенного заседания,
профессор кафедры металлургии цветных металлов, д-р техн. наук, доцент

Секретарь заседания,
доцент кафедры МЦМ, канд. техн. наук, с.н.с.

ФГАОУ ВО СФУ
Рюмина А.И.
Подпись Алейникова Н.В. заверяю
Делопроизводитель Губанова М.И.
« 15 » 06 20 26 г.



Н. В. Олейникова

А.И. Рюмин