

## АННОТАЦИЯ

диссертационной работы **Уразкелдиевой Дилбар Абдихамидовны** на тему: **«Совершенствование технологии переработки природных натриевых и калийных солей Казахстана»**, представленной на соискание степени доктора философии (PhD) по специальности 8D07160 -«Химическая технология неорганических веществ»

**Актуальность темы.** В условиях высокой потребности Республики Казахстан в натриевых солях и необходимости эффективного использования отечественной минерально-сырьевой базы в современных экономических реалиях особую актуальность приобретает разработка ресурсосберегающих и технологически эффективных методов получения хлоридов, сульфатов, фосфатов, кальцинированной соды, каустической соды и других неорганических продуктов из природных доступных хлоридных солей.

На территории республики выявлены значительные запасы природных натрийсодержащих солей, богатых хлоридом натрия и содержащих различные примеси. К таким месторождениям относятся Индер и Сатимола в Атырауской области, Ащыколь в Жамбылской области и залежи в Сузакском районе Туркестанской области. Однако до настоящего времени вследствие отсутствия в Казахстане технологий глубокой переработки подобных комплексных солевых ресурсов указанные месторождения не были вовлечены в промышленное использование.

В последние десятилетия различными компаниями изучалась целесообразность коммерческого освоения месторождения Сатимола. Первичные исследования были направлены на оценку запасов калия и разработку технологий его добычи и переработки. В 2011 году Комитетом государственного резерва Республики Казахстан был утверждён отчёт по оценке запасов. В настоящее время калийное месторождение рассматривается как перспективная сырьевая база для производства калийных удобрений для сельского хозяйства Казахстана и зарубежных стран.

Хлорид натрия широко используется в химической промышленности, что определяет необходимость увеличения объёмов его производства. Рост спроса на натрий хлорид в химическом секторе связан с использованием его в качестве основного сырья в производстве хлора, соды и других продуктов. В промышленности NaCl применяется как в виде кристаллического продукта, так и в форме растворов галита.

Помимо этого, потребность в натрий хлориде постоянно увеличивается в энергетике, нефтегазовой отрасли, лёгкой промышленности, животноводстве и других секторах экономики. Это приводит к ужесточению требований к качеству, химической чистоте и гранулометрическому составу производимого продукта, что обуславливает необходимость совершенствования технологий получения поваренной соли и решения ряда новых научно-технических задач.

Поваренная соль широко применяется в различных отраслях народного хозяйства. В химической промышленности она служит основным сырьём для

получения натрия, хлора и их важнейших неорганических соединений. Кроме того, хлорид натрия используется в технологиях консервирования и при приготовлении пищевых продуктов. Продукция, представленная на рынке, представляет собой вещество с кристаллической структурой заданной гранулометрии, состоящее преимущественно из NaCl.

Калийные месторождения Казахстана обладают значительным стратегическим потенциалом. Одним из наиболее перспективных объектов является Сатимольское месторождение в Западно-Казахстанской области, где планируется переработка руды с получением концентрата хлорида калия с содержанием до 95 %. В Актюбинской области расположено Жилинское месторождение с несколькими промышленными горизонтами, что открывает возможности для комплексной переработки. В качестве значимых калийсодержащих ресурсов также выделяются Челкарское и Индерское месторождения. Казахстан объявил о планах строительства завода по производству калийных удобрений мощностью до 94 тыс. тонн KCl в год на базе Сатимолы, что позволит снизить зависимость от импорта.

Актуальность переработки калийных руд в Казахстане определяется как внутренними, так и внешними факторами. Во-первых, развитие сельского хозяйства требует устойчивого обеспечения минеральными удобрениями для повышения урожайности и продовольственной безопасности. Во-вторых, современные технологии переработки позволяют не только получать калийные удобрения, но и извлекать сопутствующие элементы, что повышает экономическую эффективность и уменьшает экологическую нагрузку. На фоне роста мирового спроса на калийные соли Казахстан обладает потенциалом стать крупным производителем и экспортёром солевой продукции.

В настоящее время совершенствование технологий переработки природных натриевых и калийных солей Казахстана, а также разработка процессов очистки солей от примесей с получением высококачественного хлорида натрия является одной из актуальных научно-практических задач.

**Цель исследования** - совершенствование технологий переработки натриевых и калийных солей в Казахстане с целью получения высококачественных продуктов – хлорида натрия и хлорида калия, а также разработки оптимальной технологической схемы очистки солей месторождений Сатимолы и Бахыт-Таны от примесей.

**Задачи исследования:**

- Определение химического и минералогического состава природных натриевых и калийных солей на территории Республики Казахстан;
- Исследование растворимости минерала сильвинита при температуре 100 °C в системе KCl–NaCl–H<sub>2</sub>O и процессов выделения хлорида калия и хлорида натрия из растворов;
- Определение эффективных технологических параметров очистки отходов (NaCl) после переработки природного хлорида натрия и руды сильвинита от примесей;

– Разработка эффективной технологии очистки отходов (NaCl) после переработки природного хлорида натрия и руды сильвинита от примесей.

**Объекты исследования.** Объектами исследований является природные натриевые соли месторождения Бахыт-Таны и калийсодержащие соли месторождения Сатимола.

**Методы исследования.** Для выполнения основных задач исследования применялись химические и инструментальные методы анализа. Были проведены исследования по выделению натриевой соли из калийной руды путём растворения в маточном растворе. Содержание калия и натрия в изучаемых системах определялось с помощью атомно-абсорбционного спектрометра «Квант-2» и пламенно-фотометрического анализатора ПФА-378. Анализ сырья и продуктов проводился спектрально-микроскопическими, рентгенографическими, дифференциально-термическими и ИК-спектроскопическими методами. Полуколичественный рентгенографический анализ твёрдых фаз осуществлялся на приборе D8 Advance компании Bruker, а обработка полученных дифрактограмм и вычисление межплоскостных расстояний выполнялись с помощью программного обеспечения ЭВМ. Седиментационный анализ нерастворимого остатка проводился с использованием фотоседиментометра ФСК-6. Математическое моделирование экспериментальных данных выполнялось в программе Excel, а значимость коэффициентов регрессии определялась путём расчёта по критерию Фишера.

**Основные положения диссертационной работы выносимые на защиту:**

- химический и минералогический составы сильвинитовых и галитовых руд месторождений Сатимола и Бахыт-таңы;
- математическая обработка экспериментальных данных по очистке хлорида натрия от кальция и магния с определением значимых коэффициентов уравнений регрессии;
- определение параметров процесса растворения сильвинитовой соли месторождения Сатимола;
- расчет энергии Гиббса реакций взаимодействия солей кальция и магния, карбонатов натрия и бария, а также фосфата натрия с галитовой солью месторождения Бахыт-таңы;
- разработка усовершенствованной технологии очистки галитовой соли месторождения Бахыт-таңы и переработки сильвинитовой руды месторождения Сатимола;
- разработка усовершенствованной технологии переработки сильвинитовой руды месторождения Сатимола.

**Основные результаты исследования:**

- химический и минералогический составы сильвинитовых и галитовых минеральных солей месторождений Бахыт-Таңы и Сатимола;
- результаты экспериментальных данных по очистке хлорида натрия от кальция и магния с определением значимых коэффициентов регрессионных уравнений;

– установленные параметры процесса растворения сильвинитовой соли месторождения Сатимола в тройной системе  $KCl-NaCl-H_2O$ ;

– расчёт свободной энергии Гиббса реакций взаимодействия кальциевых и магниевых примесей с карбонатами натрия и бария, а также с фосфатом натрия при переработке галитовой соли месторождения Бахыт-Таңы на основе термодинамических расчётов;

– усовершенствованная технология очистки галитовой соли месторождения Бахыт-Таңы и переработки сильвинитовой руды месторождения Сатимола.

### **Обоснование новизны и значимости полученных результатов**

Проведены исследования физико-химических основ переработки хлорида натрия, получаемого из натриевых и калиевых солей с целью получения высококачественной и экологически безопасной химической продукции.

– установлен химический и минералогический состав природных соляных месторождений Бахыт-таңы и Сатимола, в соли Бахыт-Таны преобладает галит с присутствием гипса и хлорида магния а в соли Сатимола - сильвин и галит с небольшим содержанием ангидрита, кизерита, полигалита и нерастворимых остатков.

– установлены кинетические закономерности процесса очистки минерала галита от примесных компонентов. На основе анализа температурной зависимости скорости процесса по уравнению Аррениуса показано, что в исследуемом интервале температур процесс протекает в диффузионной области, что свидетельствует о лимитировании скорости стадией массопереноса.

– на основе рассчитанных значения энергии Гиббса, для процесса удаления примесей, показано, что при заданных температурных условиях данные реакции являются термодинамически возможными и сопровождаются образованием комплексных соединений  $CaCO_3 \cdot MgCO_3$ ,  $Mg(OH)_2$ ,  $CaSO_4$ ,  $CaCO_3$ ,  $Ca_3(PO_4)_2$ ,  $Mg_3(PO_4)_2$  и  $BaSO_4$ , обеспечивающих селективное удаление примесных компонентов из структуры галита, а также смещением равновесия реакций в сторону исходных веществ.

– Впервые установлены оптимальные параметры технологии очистки хлорида натрия от примесей. Отличие усовершенствованной технологии от традиционной заключается в том, что при соотношении Ж:Т = 3:1 проводится очистка от механических примесей, а в насыщенный раствор хлорида натрия для очистки добавляют фосфат натрия в количестве 95% от стехиометрического соотношения, необходимого для полного осаждения нерастворимых фосфатов, а также исключаются стадии выпаривания и центрифугирования. Установлено, что степень очистки натриевой соли от кальция и магния достигает 99,2%, при температуре перемешивания 25 °С и продолжительности взаимодействия реагентов 30 минут. По разработанной методике получен патент на изобретение (№37341 от 30.05.2025).

– для процесса очистки хлорида натрия от кальциевых и магниевых примесей на основе дробного факторного эксперимента предложена модель, позволяющая не только описывать, но и прогнозировать степень очистки в зависимости от совокупности технологических параметров, что обеспечивает обоснованный выбор оптимальных условий процесса. Полученные коэффициенты уравнений регрессии получены на основе математической обработки данных дробного факторного эксперимента. Адекватность моделей подтверждена выполнением условия  $F_{\text{табл}} > F_{\text{расч}}$  ( $5,1 > 4,5$  для кальция и  $5,1 > 4,1$  для магния), что свидетельствует о статистической значимости и прогностической пригодности разработанных уравнений регрессии.

– впервые для сильвинита месторождения Сатимолы рассчитан выход теоретический выход кристаллического KCl на основе анализа диаграммы растворимости в системе NaCl–KCl–H<sub>2</sub>O, что позволило обосновать оптимальные температурные и временные параметры стадий растворения и кристаллизации, включая температуру растворения 100<sup>0</sup>C, температуру кристаллизации 25<sup>0</sup>C, соотношение раствора и соли - 1:1 и продолжительность процесса 120 минут.

– впервые с целью совершенствования технологии переработки природных натриевых и калиевых солей определены оптимальные параметры очистки отвальных остатков (хлорида натрия), образующихся при переработке сильвинитовой руды месторождения Сатимолы, от примесных компонентов, а также получены новые данные по взаимодействию натриевой соли с фосфатом натрия. Очистка отвальных остатков от хлорида калия рассчитана на основе анализа системы растворимости NaCl–KCl–H<sub>2</sub>O, что позволило обосновать условия выделения калий хлорида. Разработана технология очистки отвальных остатков фосфатным методом и разделения калия путем его растворения в системе NaCl–KCl–H<sub>2</sub>O, в результате чего степень очистки от кальция достигает 99%, а от магния — 98%. Предложенный метод позволяет довести содержание примесей Ca<sup>2+</sup> и Mg<sup>2+</sup> в хлориде натрия до уровня не более 0,1% и обеспечивает эффективное выделение хлорида калия в раствор. Полученные результаты позволили усовершенствовать технологическую схему переработки природных натриевых и калиевых солей.

#### **Теоретическая и практическая значимость исследования:**

Теоретическая значимость диссертационной работы заключается в развитии и углублении физико-химических представлений о процессах очистки природных натриевых и калиевых солей от кальциевых и магниевых примесей. В работе получены термодинамические данные по взаимодействию ионов Ca<sup>2+</sup> и Mg<sup>2+</sup> с фосфатом натрия, обоснована направленность и механизм протекания реакций с образованием труднорастворимых соединений и фосфатов кальция и магния, а также установлены закономерности влияния температурных и концентрационных факторов на эффективность процессов очистки. Разработанные регрессионные модели и результаты анализа фазовых равновесий в системе NaCl–KCl–H<sub>2</sub>O расширяют теоретические основы моделирования, прогнозирования и оптимизации процессов переработки солевого минерального сырья.

Практическая значимость исследования:

– на основе результатов исследования разработана технология очистки от примесей галитовой соли месторождения Бахыт-Таны. Разработанная технология направлена на получение соли, пригодной для использования в пищевой и фармацевтической промышленности. Определён оптимальный режим очистки хлорида натрия с помощью фосфата натрия, что обеспечивает полное удаление примесей из продукта. Также обоснован процесс промывки натриевой соли от механических примесей.

– предложена технологическая схема производства калийных и натриевых солей с определением коэффициентов расхода сырья. По разработанной технологии получен патент на изобретение «Способ очистки хлорида натрия» (№37341, 30.05.2025).

Преимущество разработанной технологии заключается в значительном упрощении технологического процесса. Кроме того, технология обеспечивает повышение степени очистки натрия хлорида от водорастворимых примесей, а также упрощение технологического процесса за счёт исключения стадий выпаривания и центрифугирования. Предложенная технология может стать основой для создания отечественного производства калийных и натриевых солей, которое в настоящее время практически отсутствует в Казахстане.

#### **Связь с планом научно-исследовательских работ.**

Работа выполнена в рамках государственного бюджетного научно-исследовательского плана Южно-Казахстанского университета имени М. Ауэзова по кафедре «Химическая технология неорганических веществ» на 2016–2020 годы по теме Б-16-02-03 «Исследования по получению продуктов синтеза неорганических соединений из природного рудно-минерального сырья и техногенных отходов различных отраслей промышленности, а также разработка альтернативно-инновационных технологий обогащения сырья».

Кроме того, работа проводилась в рамках научного проекта на 2021–2025 годы по теме Б-21-03-02 «Разработка новых перспективных технологий получения неорганических продуктов, экологически безопасных удобрений и регуляторов роста растений на основе минерального сырья и техногенных отходов, а также совершенствование традиционных технологий».

Отдельные этапы диссертационного исследования выполнены при финансовой поддержке грантового проекта «Жас ғалым» ЮКУ2024-005, реализуемого в рамках программы грантового финансирования научных исследований молодых ученых ЮКУ имени М.Ауэзова.

#### **Личный вклад докторанта в подготовку каждой публикации.**

Автором диссертации самостоятельно выполнены экспериментальные и аналитические исследования, включая физико-химический анализ, расчёты и обобщение полученных результатов. Подготовка и публикация материалов по теме исследования осуществлялись автором при консультационной поддержке научных руководителей.

По теме диссертации опубликовано 9 научных работ, в том числе: 1 статья в международном научном издании, входящем в базу данных *Scopus*; 3 статьи в журналах, рекомендованных КОКШВО МНВО РК; 4 статьи в

сборниках международных и республиканских конференций; получен 1 патент на изобретение РК. По результатам исследований был получен акт о проведении опытно-лабораторных испытаний по совершенствованию технологии переработки природных натриевых и калиевых солей Казахстана (от 24.11.2025 г. № 1). Результаты работы внедрены в учебный процесс: 22.03.2025 г. № 3. Авторский вклад в подготовку и публикацию научных материалов раскрыт в диссертации и подтверждается соответствующими публикациями.

1. В статье «The development of a technology for the purification of sodium chloride by removing impurities using the phosphate method», опубликованной в журнале The Open Chemical Engineering Journal (Процентиль 29%, Q3), приведены сведения об очистке хлорида натрия фосфатным методом и разработке усовершенствованной технологической схемы.

2. В статье «Purification Of Technical Sodium Chloride From The Tasty Tuz Deposit Of The Republic Of Kazakhstan», опубликованной в журнале Вестник НАН РК, представлены данные по очистке руды хлорида натрия карбонатом бария, а также по определению оптимальных параметров процесса.

3. В журнале «Kompleksnoe Ispolzovanie Mineralnogo Syra» в статье «Methods for purifying table salt from the Bakhyt-Tany deposit» приведены сведения о подготовке литературного обзора, результатах физико-химического анализа минерала галита, а также о сравнении степеней очистки хлорида натрия от ионов магния и кальция при использовании известкового, известково-содового и фосфатного методов.

4. В журнале «Kompleksnoe Ispolzovanie Mineralnogo Syra» в статье «Potash Ore Processing: Technology Research and Physicochemical Properties» приведены результаты физико-химического анализа сильвинитовой руды, полученной с месторождения Сатимолы, а также данные о процессе и результатах галургической переработки руды.

**Структура и объём диссертации.** Диссертационная работа состоит из 106 страниц, включает 5 раздела, 45 рисунков и 33 таблиц. Список использованных источников насчитывает 122 наименования. В приложениях приведено 5 дополнительных материалов.