Краткая информация о проекте

Наименование	«Выделение серебра, меди и халькогенов (Se, Te) из отработанных промышленных растворов методом электролиза на суспензионных электродах»
Актуальность	В Республике Казахстан действуют химические и металлургические предприятия, которые сбрасывают в окружающую среду не полностью очищенные от ионов различных элементов, отработанные растворы или сточные воды. В составе таких растворов содержатся химические элементы, представляющие опасность для биосферы и, в равной степени, являющиеся ценными для вторичного использования. В настоящее время отсутствуют эффективные методы выделения таких элементов из растворов. В этой связи разработка способов выделения ценных элементов из отработанных растворов является актуальной проблемой, которой посвящен предлагаемый проект.
Цель	Создание нового электрохимического способа выделения серебра, меди и халькогенов (селена и теллура) из отработанных растворов и сточных вод химических, гидрометаллургических и других производств методом электролиза с использованием суспензионных электродов.
Задачи	1. Исследование характера изменения величины потенциала раствора в области суспензионных объемно-порошковых электродов в катодном пространстве в зависимости от различных параметров: от плотности тока на токоподводе, скорости перемешивания, концентрации частиц в суспензии, состава электролита в гальваностатических условиях электролиза 2. Определение характера влияния различных параметров на процесс выделения серебра и меди из отработанных растворов и сточных вод химических и гидрометаллургических производств методом электролиза в гальваностатических условиях с использованием суспензионных объемно-порошковых электродов. 3. Определение характера влияния различных параметров на процесс выделения селена, теллура из отработанных растворов и сточных вод химических, гидрометаллургических и некоторых других производств методом электролиза в гальваностатических условиях с использованием суспензионных объемно-порошковых электродов.
Ожидаемые и достигнутые результаты	***Ожидаемые результаты :*** В результате выполнения поставленных задач ожидается получение следующих результатов: -Будет установлен характер изменения величины потенциала раствора в области суспензионных электродов в катодном пространстве в зависимости от различных параметров: от плотности тока на токоподводе, скорости перемешивания, концентрации частиц в суспензии, состава электролита в гальваностатических условиях электролиза. -Будет установлен характер влияния различных параметров на выход по току и степень извлечения серебра и меди из разбавленных растворов с использованием объемно-порошковых электродов. Будут установлены закономерности процесса восстановления ионов серебра и меди в условиях присутствия их в электролитах в малых концентрациях. Будет показана возможность наиболее полного восстановления ионов серебра и меди на заряженных частицах суспензионных электродов при катодной поляризации. -Будет установлен характер влияния различных параметров на выход по току и степень извлечения селена и теллура из разбавленных растворов с использованием объемно-порошковых электродов. Будут установлены закономерности процесса восстановления селенат-ионов, теллурат-ионов, являющихся «трудновосстанавливаемыми» в условиях присутствия их в

	электролитах в малых концентрациях. Будет показана возможность полного восстановления селенат- и теллурат, селенит- и теллурит-ионов на заряженных частицах суспензионных электродов при катодной поляризации. -Будут опубликованы 2 (две) научной статьи и (или) обзора в рецензируемых научных изданиях, индексируемых в Science Citation Index Expanded базы Web of Science и (или) имеющих процентиль по CiteScore в базе Scopus не менее 50 (пятидесяти), 1 (один) патент, включенный в базу данных Derwent Innovations Index (Web of Science, Clarivate Analytics) и 1 (одна) статья или обзор в рецензируемом зарубежном или отечественном издании, рекомендованном КОКНВО. ***Достигнутые результаты:*** В рамках проведённых исследований методом электролиза в гальваностатических условиях установлен характер изменения потенциала раствора в области суспензионных электродов в катодном пространстве в зависимости от ключевых технологических параметров, включая плотность тока, скорость перемешивания, концентрацию твёрдой фазы в суспензии и состав электролита. Установлено, что частицы графита обладают способностью к переносу заряда, что проявляется в смещении потенциала в область более отрицательных значений и приводит к повышению эффективной электропроводности суспензионного электрода. Частицы меди, являясь проводниками первого рода, выполняют функцию дополнительных токоприёмников, обеспечивая перераспределение электрического заряда в системе. Показано, что частицы серы и диоксида титана (TiO_2), обладая диэлектрическими свойствами, не участвуют в переносе заряда и выполняют роль инертных компонентов. В ходе исследований разработан метод получения диоксида титана электрохимическим способом с использованием переменного тока. Подтверждена возможность использования вторичного титансодержащего сырья (лом, стружка) для синтеза TiO_2, что имеет важное значение с точки зрения ресурсосбережения и экологической устойчивости. Полученные результаты свидетельствуют о том, что дисперсные частицы в электролитических системах являются активными элементами, увеличивающими суммарную площадь электрохимического взаимодействия. Это создаёт предпосылки для разработки эффективных технологий в области очистки сточных вод, извлечения металлов из разбавленных растворов, электрохимического синтеза и систем накопления энергии. На основе выявленных закономерностей частицы графита были использованы в дальнейших исследованиях в качестве активного компонента суспензионных электродов. Экспериментально установлено влияние технологических параметров на выход по току и степень извлечения ионов серебра и меди из разбавленных растворов. Подтверждена высокая эффективность восстановления указанных ионов на заряженных частицах суспензионных графитовых электродов в условиях катодной поляризации. Применение таких систем обеспечивает извлечение металлов даже при их низких концентрациях, что расширяет возможности их промышленного использования. Проведены исследования по восстановлению селенат- и селенит-ионов, относящихся к категории трудноизвлекаемых соединений. Установлена возможность их полного восстановления в условиях катодной поляризации на суспензионных электродах. Разработан новый способ восстановления селенат-ионов, защищённый патентом Республики Казахстан на полезную модель. Результаты исследований имеют практическую значимость для внедрения в экологические и промышленные технологии, в том числе в системах очистки сточных вод и переработки техногенных растворов.

	По итогам работы опубликована статья в международном рецензируемом журнале *Open Chemistry* (2024, индексируется в базе Scopus). Дополнительно одна статья находится на стадии рассмотрения в журнале *Results in Chemistry* (2026). Результаты также апробированы на международных научных конференциях (Россия, Казахстан, Греция).
Имена и фамилии членов исследовательской группы с их идентификаторами (Scopus Author ID, Researcher ID, ORCID, при наличии) и ссылками на соответствующие профили	1. Баешова Ажар Қоспановна, доктор технических наук, профессор (руководитель проекта): Индекс Хирша по Scopus – 2. Индекс хирша по Web of Science – 1, (https://www.webofscience.com/wos/author/record/4331634), Researcher ID Web of Science: X-3470-2019, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9076-8130, Scopus Author ID: 56177619400 2. Баешов Абдуали, доктор химических наук, профессор, академик НАН РК: Индекс Хирша по Scopus – 4. Индекс Хирша по Web of Science – 3, (https://www.webofscience.com/wos/author/record/4331634), Researcher ID Web of Science: X-3470-2019, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0745-039X, Scopus Author ID: 55829870400 3. Турлыбекова Макпал Нышангалиевна, магистр: ORCID ID: 0000-0002-9030-159X. 4. Жұмабай Фатима Мұхамбетжанқызы, PhD: ORCID ID: 0000-0002-8914-9375 5. Ораз Ұлжан, магистр 6. Баймуханова Жанар, специалист
Использование	Разработанный способ может быть использован для очистки сточных вод, извлечения металлов из разбавленных растворов и переработки техногенных отходов.
Приоритет в сравнении с реальными аналогами	Предлагаемый способ обладает рядом существенных преимуществ по сравнению с существующими аналогами, применяемыми в электрохимической обработке растворов. В отличие от традиционных электролитических систем с фиксированными электродами, в предлагаемом подходе используются суспензионные электроды, в которых дисперсные частицы выступают в качестве активных центров переноса заряда. Это обеспечивает значительное увеличение эффективной электрохимически активной поверхности без усложнения конструкции оборудования. Ключевым отличием является высокая эффективность извлечения и восстановления ионов металлов (Ag, Cu, Se) из разбавленных растворов, где традиционные методы либо малорезультативны, либо экономически нецелесообразны. При этом достигаются повышенные значения выхода по току и степени извлечения. Дополнительным преимуществом является возможность восстановления «трудновосстанавливаемых» соединений (в частности, селенат-ионов), что в существующих технологиях требует многостадийных процессов или применения дорогостоящих реагентов. Таким образом, разработанный подход превосходит известные аналоги по следующим ключевым параметрам: эффективность извлечения при низких концентрациях; универсальность по отношению к различным ионам; снижение материальных и энергетических затрат; технологическая простота и масштабируемость.
Список публикаций со ссылками на них	1. Bayeshova A., Bayeshov A., Zhumabay F., Osińska M., Łęska B. *Electrochemical dissolution of titanium under alternating current polarization to obtain its dioxide* // Open Chemistry 2024; 22: 20240104. received May 2, 2024 (46%). https://doi.org/10.1515/chem-2024-0104 2. Баешов А., Баешова А.К., Алимжанова А. *Каталитическое восстановление селенат-ионов из отработанных растворов и сточных вод в присутствии ионов*

	титана (IV) // XXII Международный съезд по общей и прикладной химии, 7-12 октября,2024, Федеральная территория «Сириус», Россия. Сборник тезисов докладов в 7 томах. Том 2. – М.:000 «Адмирал Принт»,2024.-С.128. 3. Баешова А.К., Баешов А.Б., Турлыбекова М.Н., Кенесов Е.Н. *Интенсификация электрохимических процессов с применением объемно-порошковых суспензионных электродов* // XII Международный Бередмжановский съезд по химии и химической технологии, 4-6 декабря, 2024, Алматы, Казахстан. Сборник тезисов дкладов [Электронное издание]. -Алматы: НАО «КазНУ имени аль-Фараби, 2024. С.158. 4. А.К. Баешова, А.Б.Баешов. *Формирование дисперсных порошков меди в двух полупериодах переменного тока.* Тезисы докладов III Международной конференции «Фундаментальные и прикладные вопросы электрохимического и химико-каталитического осаждения и защиты металлов и сплавов», памяти чл.-корр. РАН Ю.М. Полукарова. 26-27 ноября 2024 г. – М.: ИФХЭ РАН, 2024. – 137 с. ISBN 978-5-6040217-5-0. 5. Bayeshov A., Bayeshova A.K. *New electrochemical methods for obtainig ultradispersed metal powders* // Abstract book 13th International Conference on Nanomaterials and Advanced Energy Storage Systems (INESS-2025), held in celebration of two significant milestones — the 15th anniversary of Nazarbayev University and the 100th anniversary of the Academician Yevnei Buketov. – Auqust 6-8,2025, Nazarbayev University, Astana, Kazakhstan. – P.53. 6. Bayeshova A.K., Bayeshov A. *New methods for recovering and extracting copper ions from industrial solutions and wastewater* // «Silk road chemistry: Современные химические технологии и наука». – Collection of abstracts of the 1 st International Scientific and practical Conference, dedicated to the 100th anniverversary of the Academician Ye. A. Buketov. September 25-27, 2025. 7. Bayeshova A., Bayeshov A., Turlybekova M., Zhumabay F. *Production of Cathodic Potential of Suspension Particles during Electrolysis* // International Conference on Applied Chemistry. Athens, Greece, November 10-11, 2025 8. Баешова А.К., Баешов А., Лахбаева Ж.А. *Способ восстановления шестивалентного селена* // Патент РК на полезную модель № по заявке № 2025/1341.2. Опубл. 28.11.2025. бюл. № 48 9. A. Bayeshova, A. Bayeshov, M. Turlybekova, F. Zhumabay. *Charge transfer behavoir of suspended particles under cathodic polarization in aqueous solutions* // Results in Chemistry, 2026. https://doi.org/10.2139/ssrn.6357953 Статус: Submission being processed (на стадии рассмотрения) 10. Баешов А., Баешова А.К., Тулешова Э.Ж. *Извлечение меди из отработанных растворов при восстановлении цинком в присутствии ионов титана (IV)* // В сб. трудов IV Международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы электрохимии, экологии и защиты от коррозии», посвященной памяти профессора, заслуженного деятеля науки и техники РФ В.И.Вигдоровича. 15-17 октября 2025 года. Тамбов, 2025 г. – С. 33-37.
Информация о патентах	Баешова А.К., Баешов А., Лахбаева Ж.А. *Способ восстановления шестивалентного селена* // Патент РК № 11476 на полезную модель по заявке № 2025/1341.2. Опубл. 28.11.2025. бюл. № 48