

АННОТАЦИЯ

Диссертационная работа Кунарбековой Махаббат Сеит-Задаевны на тему: “Получение модифицированных углеродных материалов для удаления радионуклидов из загрязненной воды”, представленной на соискание ученой степени доктора философии (PhD) по образовательной программе 8D07109 – Инновационные технологии и новые неорганические материалы.

Актуальность исследуемой темы.

Одной из наиболее острых экологических проблем во всем мире и в Казахстане является загрязнение воды радионуклидами, такими как цезий и йодид ионы, в результате прошлой ядерной деятельности и текущих промышленных операций. Семипалатинский испытательный полигон и районы добычи урана в Казахстане являются основными источниками долговременного радиоактивного загрязнения. Традиционные методы очистки воды часто неэффективны или слишком дороги для решения конкретной задачи по удалению этих радионуклидов. Поэтому разработка эффективных, недорогих и масштабируемых сорбирующих материалов имеет важное значение для снижения радиоактивного загрязнения и защиты экосистем и здоровья человека. Использование модифицированного активированного угля, получаемого из сельскохозяйственной биомассы, представляет собой устойчивый и практичный подход к решению этих проблем.

Объект исследования: Радионуклиды йода (I_3^-) и цезия (Cs^+); модифицированные сорбенты из активированного угля, полученные из рисовой шелухи, гречневой шелухи и скорлупы грецкого ореха.

Цель и задачи исследования.

Целью исследования является разработка модифицированных углеродных сорбентов, способных эффективно удалять радиоактивный йод и цезий из загрязненной воды.

Для достижения этой цели были поставлены следующие задачи:

- Синтез углеродных материалов из биомассы и их модификация мочевиной и ферроцианидом.
- Исследование структурных, морфологических и физико-химических характеристик сорбентов.
- Изучение механизмов сорбции с помощью передовых методов спектроскопического, компьютерного и кинетического моделирования.
- Оценка эффективности сорбции как в модельных, так и в реальных системах с загрязненной водой.

Научная новизна:

- Впервые углеродные сорбенты на основе биомассы были модифицированы гидротермальным методом с использованием мочевины и ферроцианида для повышения сорбционной способности по целевым ионам.

- Модифицированные сорбенты продемонстрировали эффективность до 95-97% в отношении Cs^+ и более чем на 40% в отношении поглощения I_2^- по сравнению с коммерческими активированными углями.

- Для формирования механизмов сорбции на молекулярном уровне было использовано моделирование методом Гаусса мощностью 16 Вт с использованием DFT.

- Разработанные материалы были успешно протестированы на промышленных образцах с полигона Дегелен, подтвердив их практическую применимость.

Практическая значимость:

- Исследование предлагает устойчивый подход к использованию сельскохозяйственных отходов в качестве высокоэффективных сорбентов для восстановления окружающей среды.

- Модифицированные сорбенты были проверены как в лабораторных условиях, так и в реальных условиях ядерного загрязнения.

- Технология масштабируема, экономически эффективна и совместима со стратегиями экологической безопасности Казахстана.

- В результате этой работы был получен патент на полезную модель.

Методы исследования

Для получения активированных углей использовалась печь для высокотемпературного химического осаждения из газовой фазы (CVD), которая обеспечивала подачу инертных газов и включала в себя парогенератор. Синтез углеродов проводился при различных температурах и включал использование химических активаторов. Пропитку модифицирующими веществами, такими как азотистые группы и ферроцианид, проводили в автоклаве и микрореакторе высокого давления Microreactor (PR 250), для обеспечения инерционности среды.

Сорбционную способность модифицированных сорбентов по йоду оценивали с помощью ультрафиолетовой и видимой спектроскопии (UV-Vis), а содержание цезия измеряли с помощью методов масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ICP MS). Остаточную активность сорбентов оценивали с помощью гамма-спектрометрии (автоматический гамма-счетчик 2480) для определения присутствия радиоактивного изотопа ^{137}Cs .

Физико-химические свойства модифицированных углеродных сорбентов были проанализированы с использованием различных современных методов и дополнительных методик, включая сканирующую электронную микроскопию - с использованием энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии (SEM/EDS), азотно-порометрии, рентгеновской флуоресценции (XRF), рентгеновской флуоресценции воды (FT-IR). угловая смачиваемость, зета-потенциал, поверхностный заряд и рамановская спектроскопия.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Активированные угли, полученные из биомассы и подвергнутые гидротермальной модификации (площадь поверхности: 1600-2200 м²/г), обогащены азотными группами. Это улучшает сорбционную емкость I₃⁻ до 35% для сорбентов модифицированных мочевиной по сравнению с немодифицированными активированными углями.

2. Модифицированные берлинской лазурью активированные угли демонстрируют высокую селективность в адсорбции Cs⁺, снижая общую активность с 120 до <5 Бк/л в многоионных системах (⁹⁰Sr²⁺, Ca²⁺, Na⁺) из реальных грунтовых вод, загрязненных радионуклидами.

3. Механизмы сорбции были сформулированы на основе углеродов с различной структурой пор и их функционирования с использованием аналитических методов. Рассмотрены типичные структуры фрагментов и вклад физической сорбции, хемосорбции и электростатического взаимодействия.

Связь с государственными программами:

Работа проводилась в рамках проектов, финансируемых Министерством образования и науки Республики Казахстан. BR21881939 "Разработка ресурсосберегающих энергогенерирующих технологий для горно-металлургического комплекса и создание инновационного инжинирингового центра", AP19577049 "Синтез, характеристика и физико-химическое исследование сорбентов биомассового происхождения для очистки промышленных вод от радионуклидов".

Структура и объем диссертации:

Диссертация состоит из 136 страниц машинописного текста, содержит 25 таблиц и 49 рисунков. Она включает введение, три главы, заключение, список литературы (199 наименований) и два приложения.

Публикации:

Результаты работы отражены в: обзорной статье — в научном журнале, индексируемом в базе данных Scopus, 1 главе книги, патенте и 3 статьях в журналах, рекомендованных Комитетом по обеспечению качества

в образовании и науке Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан.

1. M. Kunarbekova, R. Busquets, Ye. S. Sailaukhanuly, S.V. Mikhailovsky, Toshtay K., K. Kudaibergenov, S. Azat. «Carbon adsorbents for the uptake of radioactive iodine from contaminated water effluents: A systematic review», Journal Of Water Process Engineering-Q1, 92% percentile

2. Kunarbekova, M., Busquets, R., Sapargali, I., Seimukhanova, L., Zhantikeev, U., Kudaibergenov, K., & Azat, S. (2025). Innovative materials for industrial application: Book Chapter 11. Synthesis and Characterization of Activated Carbon from Biomass (1st ed.). IGI Global Scientific. <https://doi.org/10.4018/979-8-3693-7505-1.ch011>

3. K.K. Kudaibergenov, S. Azat, Zhantikeev U.E., M.S. Kunarbekova, I.O. Sapargali, L.N. Seymukhanova. "Method of obtaining sorption material for water purification from radionuclides". Patent for Utility model, No. 9470

Публикации в журналах, рекомендованных Комитетом по обеспечению качества в образовании и науке Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан:

1. M.S. Kunarbekova, I.O. Sapargali, L.N. Seymukhanova, K.K. Kudaibergenov, S. Azat. "Synthesis of nanofiber composite doped with nitrogen groups from biomass by chemical activation". Combustion and plasmochimistry journal, 22(1), 3-11. [https://doi.org/10.18321/cpc22 \(1\)3-11](https://doi.org/10.18321/cpc22 (1)3-11).

2. Kunarbekova, M., Seymukhanova, L., Sapargali, I., Zhantikeev, Y., Kudaibergenov, K., & Azat, S. (2024). Synthesis and characterization of activated carbon from biomass for the sorption of radioactive iodine. Combustion and plasmochimistry journal, 22(4), 331-341. [https://doi.org/10.18321/cpc22 \(4\)331-341](https://doi.org/10.18321/cpc22 (4)331-341)

3. Seimukhanova L.N., Zhantikeev U.Ye., Bexetova K.S., Kunarbekova M.S., Rakhimova B.U., Fazylov B.D., Zagitova A.M., Kudaibergenov K.K., Azat S. Production Of Nanocellulose For Water Purification From Dyes. NNC RK Bulletin. 2024;(4):181-190. (In Russ.) <https://doi.org/10.52676/1729-7885-2024-4-181-190>