

ISSN 1999-4125 (Print)

ISSN 2949-0642 (Online)

**ТЕХНОЛОГИЯ НЕОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ
TECHNOLOGY OF INORGANIC SUBSTANCES**

Научная статья

УДК 621.9.04533.583.2:615.322

DOI: 10.26730/1999-4125-2025-1-5-13

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ КИНЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АДСОРБЦИИ ИОНОВ
КАДМИЯ (II) И СВИНЦА (II) ИЗ ВОДНОГО РАСТВОРА С
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАСТИТЕЛЬНЫХ ОТХОДОВ**Салищева Олеся Владимировна ^{1*},
Тарасова Юлия Викторовна ¹,
Ченская Валентина Васильевна ²¹ Кемеровский Государственный Университет² Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева

* для корреспонденции: onh@kemsu.ru

**Информация о статье**

Поступила:

01 декабря 2024 г.

Одобрена после
рецензирования:

22 января 2025 г.

Принята к публикации:

30 января 2025 г.

Опубликована:

12 марта 2025 г.

Ключевые слова:

адсорбция, тяжелые металлы, биосорбенты, скорлупа кедровой шишки, скорлупа грецкого ореха, скорлупа граната, кинетические характеристики, порядок реакции.

Аннотация.

Огромное количество различных загрязняющих веществ, в особенности тяжелых металлов, накопилось за последние несколько десятилетий в окружающей среде. К этим негативным последствиям привел непрерывный рост производства и интенсивная промышленная и сельскохозяйственная деятельность человечества, которая представляет реальную угрозу для биосферы. Важность исследования адсорбции ионов тяжелых металлов нельзя недооценивать, особенно в условиях ухудшающейся экологической обстановки. Естественные адсорбенты, такие как скорлупа грецкого ореха и кедровой шишки, могут стать эффективным средством для удаления токсичных веществ из сточных вод и загрязненных экосистем. Эффективность их использования обусловлена уникальной структурой и химическим составом, что позволяет связывать ионы металлов и минимизировать их вредное воздействие. Получены кинетические и равновесные данные по адсорбции ионов тяжелых металлов кадмия(II), свинца(II) различными природными материалами: скорлупа грецкого ореха, скорлупа кедровой шишки, отходы граната. На основе полученных данных можно выделить ключевые факторы, влияющие на процесс адсорбции — это pH раствора, температура и время контакта. Проведенные эксперименты продемонстрировали, что оптимальные условия способствуют максимальной задержке ионов свинца именно на скорлупе кедровой шишки. Рассчитаны кинетические характеристики процесса адсорбции, выявлен механизм его протекания. Дальнейшие исследования в этой области могут открыть новые перспективы использования природных адсорбентов для очистки водоемов и почвы. Разработка технологий на основе местных ресурсов может значительно снизить затраты на очистку и улучшить экологическую ситуацию в регионах, подверженных загрязнению.

Для цитирования: Салищева О.В., Тарасова Ю.В., Ченская В.В. Определение кинетических характеристик адсорбции ионов кадмия (II) и свинца (II) из водного раствора с использованием растительных отходов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2025. № 1 (167). С. 5-13. DOI: 10.26730/1999-4125-2025-1-5-13, EDN: BHFYQK

Введение

Наиболее распространенными и опасными химическими загрязнениями в современном и высокотехнологичном мире являются загрязнения тяжелыми металлами.

Путей загрязнения воды тяжелыми металлами два. Естественным образом это происходит либо за счет эрозии почвы, в результате которой талые или дождевые потоки переносят ее частицы, либо при растворении входящих в состав горных пород минералов пластовыми водами. Другая часть вредных примесей попадает в поверхностные и подземные источники из запыленного воздуха с дождем или снегом.

Однако самое прямое негативное влияние на окружающую среду оказывает индустриализация и урбанизация общества, развитие которых ведет к ускоренному разрушению природного окружения. Если раньше экологические проблемы носили локальный характер, то развитие производств увеличило нагрузку на природу в десятки раз. Огромные площади земель, вовлеченные в сельскохозяйственный оборот, добыча полезных ископаемых приводят к загрязнению экосистем и быстрому истощению природных ресурсов. Несут ответственность за загрязнение биосферы тяжелыми металлами как добывающая, так и перерабатывающая отрасли промышленности.

Входя в состав многих ферментов, тяжелые металлы активно участвуют в биологических процессах. С другой стороны, тяжелые металлы и их соединения ввиду аккумулятивного действия оказывают и вредное воздействие на организм. Эти металлы относят к классу ксенобиотиков, то есть чуждых живому. Тяжелые металлы считаются приоритетными загрязнителями из-за их высокого уровня токсичности и мобильности в природных потоках отходов.

Среди металлов-токсикантов выделены наиболее опасные для здоровья человека и животных: кадмий, медь, мышьяк, никель, ртуть, свинец, цинк и хром. Из них наиболее токсичны ртуть, свинец и кадмий.

На сооружениях водоочистки используют несколько методов удаления тяжелых металлов из воды, выбор которых зависит от концентрации металлов в воде и степени ее загрязнения. Увеличивающиеся масштабы производства и повышение требований к качеству воды диктуют поиск более эффективных способов их удаления из природных и сточных вод.

Наиболее эффективным методом, успешно применяемым для решения этой проблемы, можно назвать сорбцию на активированных углях и других сорбционных материалах,

позволяющую снизить содержание в воде токсичных примесей до практически безопасной концентрации.

Адсорбция в жидкой фазе объективно показывает себя как один из наиболее значимых методов извлечения токсикантов по сравнению с другими технологиями и методами, главным образом из-за того, что она высокоэффективна и имеет большую конкурентоспособность по стоимости [1].

Проведенные обширные исследования по адсорбции различных загрязняющих веществ различными адсорбентами показали, что по сравнению с другими методами удаления загрязняющих веществ адсорбция (процесс в технологическом плане) проще, приводит к меньшему образованию осадка и считается экологичным процессом с низкими инвестиционными затратами [2]. Однако, поскольку это фазово-изменяющая технология, основанная на улавливании загрязнителей на поверхности или в порах твердого материала, она не обязательно приводит к химическому разложению или трансформации загрязняющих веществ и предполагает последующий процесс утилизации или регенерации использованного адсорбента.

Углеродсодержащие материалы являются предпочтительными адсорбентами для удаления химических загрязнителей из-за их высокой пористости, большого разнообразия функциональных групп, настраиваемой функциональности поверхности при модификации и большой адсорбционной емкости. Кроме того, углеродные материалы имеют низкую стоимость, высокую доступность и обладают химической стойкостью. Преобладающим механизмом адсорбции, который имеет место при удалении химических веществ с помощью углей, является электростатическое взаимодействие и, в меньшей степени, физическая сорбция, хемосорбция, π -электронные дисперсионные взаимодействия [3-6].

Применение нетрадиционных, доступных и дешевых материалов как искусственного, так и естественного происхождения является приоритетным в процессах доочистки воды.

Значительная адсорбционная способность, большая площадь поверхности, подходящие поверхностные функциональные группы, способные к модификации, и соответствующий диаметр пор активированных углей делают их эффективными адсорбентами, а возможность переработки биомассы растений и различных органических отходов [7] – еще и легкодоступными и дешевыми.

Биосорбция или биоремедиация использует биомассу в качестве адсорбентов или других

материалов, созданных из биомассы. Учитывая широкий спектр доступных биоматериалов, этот тип сорбции дешевле, чем другие передовые технологии, а также представляет собой альтернативный способ утилизации сельскохозяйственных отходов. Использование биомассы в качестве адсорбентов подразумевает несколько механизмов удаления, таких как ионный обмен, реакции комплексообразования, электростатическое взаимодействие и метаболические процессы, такие как внутриклеточное поглощение [8-10].

В качестве сорбентов можно использовать природные пористые углеродосодержащие материалы, как промышленные отходы, так и модифицированное дешевое углеродное сырье. Исследования биосорбентов, таких как бактерии, водоросли, грибы, растительная биомасса,

хитозан, кожура и семена фруктов, лигноцеллюлозные материалы, короткие конопляные волокна, скорлупа креветок, рис или ореховая скорлупа, показали большой потенциал данных материалов в удалении загрязняющих веществ различной природы. Биосорбенты, в состав которых входит целлюлоза, лигнин, хитин, клетчатка, пектин, проявляют высокую эффективность и селективность. Они способны прочно связывать такие опасные вещества, как антибиотики, радионуклиды, пестициды [11-17].

В [18] исследована возможность использования полученной из отходов зернового производства технической целлюлозы, а также поверхностно-модифицированных сорбентов на ее основе для очистки радиоактивно-загрязненных природных вод и сточных вод от радионуклидов цезия, стронция и иттрия.

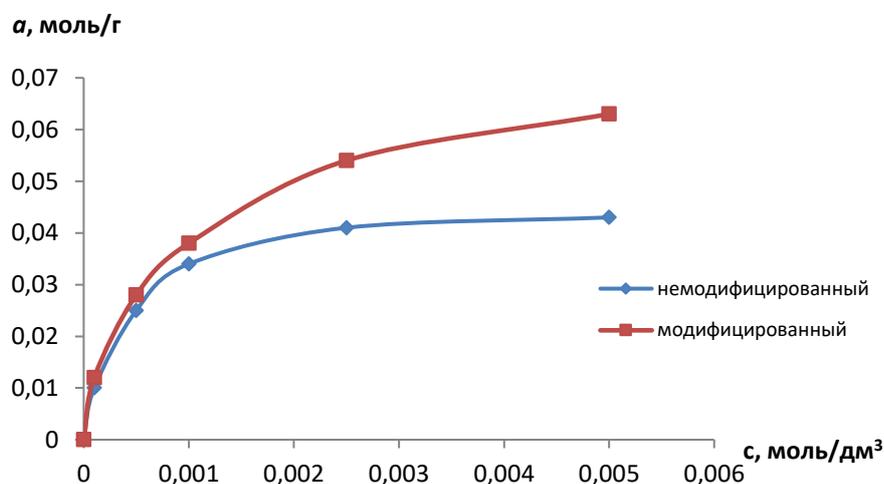


Рис. 1. Изотерма адсорбции ионов кадмия на адсорбенте из скорлупы кедровой шишки
Fig. 1. Cadmium ion adsorption isotherm on cedar cone shell adsorbent

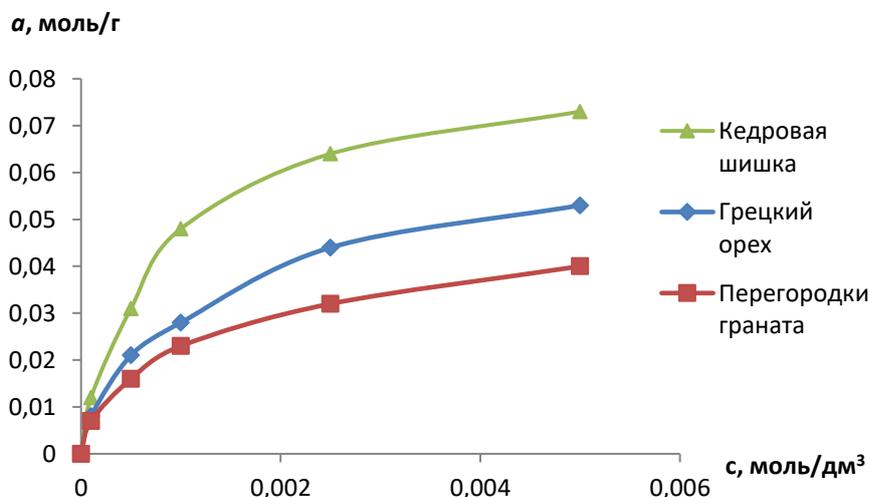


Рис. 2. Изотерма адсорбции ионов свинца на различных растительных адсорбентах
Fig. 2. Isotherm of adsorption of lead ions on various plant adsorbents

В работе [12] изучена адсорбционная емкость верхового торфа и древесных опилок. Эффективность адсорбционной очистки воды от ионов хрома(VI) с применением торфа составила 90%, от ионов железа(III) – 98% при продолжительности процесса 20 минут. Время наступления адсорбционного равновесия в случае применения древесных опилок составило 40-60 минут, степень очистки составила 80%.

Процессы адсорбции из разбавленных растворов обеспечивают полное удаление или процентное содержание, близкое к 100%; однако на эффективность процесса влияют условия эксплуатации, соотношение твердой и жидкой фаз, сродство адсорбата к поверхности адсорбента, время контакта, ионная сила и конкурентные реакции с фоновыми компонентами матрицы.

В качестве потенциального адсорбента для очистки синтетических сточных вод от металлов Cu, Co, Ni и Pb в работе [19] была использована природная глина. Установлены факторы, влияющие на процесс очистки: масса адсорбента, время адсорбции, pH раствора, начальное содержание ионов.

Исследован механизм связывания ионов металлов с пектиновыми веществами дикорастущих ягодных кустарников Сибири [20], гибридными и композиционными материалами на основе пектина [21]. Удаление ионов тяжелых металлов происходит в основном за счет поверхностной координации многочисленными карбоксильными и гидроксильными функциональными группами.

В качестве биосорбента для удаления ионов тяжелых металлов Cr, Pb, Zn, присутствующих в водных растворах, в работе [22] рассмотрена возможность применения рисовой шелухи. Биосорбент был приготовлен из порошка рисовой шелухи с последующей модификацией раствором HCl для внедрения функциональных групп и увеличения удельной поверхности.

Однако применение сорбционных материалов на основе растительных отходов: скорлупы кокосового и кедрового орехов, шелуха риса, гречихи, древесной щепы, солома и многого другого [23, 24] имеет некоторые недостатки, такие как низкая степень очистки, невозможность повторного использования, поэтому все еще возникает необходимость в разработке новых доступных и дешевых пористых адсорбирующих материалов для улучшения способности поглощения ионов металлов из водных растворов [25].

Цель настоящей работы заключалась в исследовании адсорбционной способности растительных отходов грецкого ореха, кедровой шишки и граната.

Методы

Объекты исследования: скорлупа грецкого ореха, скорлупа кедровой шишки, отходы граната, растворы солей кадмия(II), свинца(II).

Методы исследования: Изучение кинетики адсорбции ионов проводили при температуре 25°C на немодифицированных и модифицированных путем карбонизации образцах адсорбентов. Для кинетических экспериментов отбирали образцы растворов через определенные промежутки времени и измеряли концентрации ионов свинца (II) и ионов кадмия (II) с течением времени. Определение равновесной концентрации ионов кадмия и свинца в растворах осуществлялось комплексонометрическим методом с использованием трилона Б. Для исследования адсорбции ионов тяжелых металлов в статических условиях использовали модельные растворы их солей с переменными концентрациями. Изучение адсорбции ионов тяжелых металлов на исследуемых адсорбентах основано на определении концентрации раствора до контакта с адсорбентом (c_0) и после наступления адсорбционного равновесия (c_{eq}). Величину удельной адсорбционной емкости выражали через количество вещества, адсорбированного единицей массы адсорбента, учитывая массу адсорбента (m_s) и объем раствора (V), из которого идет адсорбция [25].

Для контроля концентрации ионов металла до, во время и после сорбционных партий брали фундаментальный принцип, используемый для понимания процесса удаления, основанный на общей адсорбционной способности сорбентов через массовый баланс:

$$a = \frac{(c_0 - c_{eq}) \times V}{m_s}$$

Процентное удаление ионов металла из водных синтетических сточных вод рассчитывали как отношение количества адсорбированного иона металла к количеству иона металла в исходном растворе:

$$R (\%) = \frac{(c_0 - c_{eq})}{c_0} \times 100$$

Результаты исследования

Результаты адсорбции на примере катионов кадмия на модифицированных и немодифицированных отходах скорлупы кедровой шишки приведены на Рис. 1.

Среди исследованных образцов наилучшую адсорбционную способность показала скорлупа кедровой шишки по отношению к ионам свинца (Рис. 2). Наименьшую связывающую способность проявили отходы граната.

Таблица 1. Результаты исследований

Table 1. Research results

Материал для адсорбции	Степень извлечения Pb ²⁺ , %	Степень извлечения Cd ²⁺ , %
Скорлупа грецкого ореха	67	58
Скорлупа грецкого ореха после спекания	98	96
Скорлупа кедровой шишки	74	77,2
Скорлупа кедровой шишки после спекания	99	99
Отходы граната	48	32
Отходы граната после спекания	68	55

Таблица 2. Результаты обработки кинетических зависимостей

Table 2. The results of processing kinetic dependencies

Модель кинетики	Показатель	Грецкий орех	Кедровая шишка
Псевдопервый порядок	k ₁	0,0261	0,0312
	R ²	0,9807	0,9854
Псевдвторой порядок	k ₂	1,3366	2,4624
	R ²	0,9673	0,9358

Постоянству концентраций ионов тяжелых металлов в растворе соответствует время установления адсорбционного равновесия, которое составило около 45 минут. Следует отметить, что в случае разбавления модельных растворов время наступления адсорбционного равновесия уменьшается. Было замечено, что скорость удаления ионов быстро возрастала вплоть до первых 30 мин процесса, что, скорее всего, связано с наличием высокого градиента концентраций в водном растворе адсорбата и сорбционными центрами адсорбента. Так, при концентрации соли свинца, равной 0,02 моль/дм³, постоянная концентрация в растворе ионов Pb²⁺ при извлечении на шелухе кедровой шишки установилась через 45 минут. При концентрации соли свинца, равной 0,002 моль/дм³, равновесное состояние было достигнуто через 30 минут.

Обсуждение

Анализ полученных кинетических и равновесных данных по адсорбции ионов тяжелых металлов показал, что природные отходы от переработки растительного углеродсодержащего сырья являются перспективным ресурсом для производства дешевых адсорбционных материалов.

Показано, что за счет изменения свойств поверхности исходного сырья в результате модификации и появления на поверхности адсорбента дополнительных активных центров адсорбции или новых функциональных групп, способных к ион-координационному взаимодействию с ионами тяжелых металлов, адсорбционная емкость природных материалов увеличивается на 20-40% (Таблица 1).

Это увеличение емкости сорбента связано с тем, что находящийся в исходном сырье углерод

при проведении декарбонизации частично выгорает, формируя более развитую пористую структуру образующегося модифицированного материала.

Для описания кинетики сорбции тяжелых металлов были использованы кинетические модели первого и второго порядков, позволяющие выявить лимитирующую стадию данного явления.

Полученные результаты (Таблица 2) позволяют утверждать, что кинетика адсорбции на растительных материалах достаточно корректно описывается моделью как псевдопервого порядка, так и псевдвторого.

Объяснить данный факт можно тем, что адсорбция ионов тяжелых металлов, как правило, сопровождается различными процессами – физической и химической сорбцией, ионным обменом, хелатированием и др.

Выводы

Полученные кинетические и равновесные данные по адсорбции ионов тяжелых металлов показали, что природные отходы переработки растительного углеродного сырья являются перспективным ресурсом для дешевого производства адсорбционного материала. Использование модификаций позволяет повысить адсорбционную емкость природных материалов за счет создания дополнительных активных адсорбционных центров или введения функциональных групп, способных ионно-координационно реагировать с ионами тяжелых металлов. Выявленные в результате исследования характеристики позволяют подобрать сорбенты с хорошими кинетическими показателями, что гарантирует поглощение

сорбтива за короткое время пребывания вещества в адсорбере.

Показано, что применение отходов растительных материалов целесообразно использовать в качестве адсорбентов для доочистки воды из разбавленных растворов

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ferreira R.C. [et al.] Multi-component adsorption study by using bone char: modelling and removal mechanisms // *Environmental Technology*. 2022. Vol. 43 (6). Pp. 789–804. DOI: 10.1080/09593330.2020.1805026.

2. Hashmi Z. [et al.] Comparative analysis of conventional to biomass-derived adsorbent for wastewater treatment: a review // *Biomass Conversion and Biorefinery*. 2022. DOI: 10.1007/s13399-022-02443-y.

3. Chiang Y. C., Juang R. S. Surface modifications of carbonaceous materials for carbon dioxide adsorption: A review // *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*. 2017. Vol. 71. Pp. 214–234. DOI: 10.1016/j.jtice.2016.12.014.

4. Marques S. C. R. [et al.] Pharmaceuticals removal by activated carbons: role of morphology on cyclic thermal regeneration // *Chemical Engineering Journal*. 2017. Vol. 321. Pp. 233–244. DOI: 10.1016/j.cej.2017.03.101.

5. Rodriguez-Narvaez O. M. [et al.] Treatment technologies for emerging contaminants in water: A review // *Chemical Engineering Journal*. 2017. Vol. 323. Pp. 361–380. DOI: 10.1016/j.cej.2017.04.106.

6. Xiang Y. [et al.] Carbon-based materials as adsorbent for antibiotics removal: mechanisms and influencing factors // *Journal of environmental management*. 2019. Vol. 237. Pp. 128–138. DOI: 10.1016/j.jenvman.2019.02.068.

7. Babich O. [et al.] Miscanthus plants processing in fuel, energy, chemical and microbiological industries // *Foods and Raw Materials*. 2019. Vol. 7(2). Pp. 403–411.

8. Chaukura N. [et al.] Biosorbents for the removal of synthetic organics and emerging pollutants: opportunities and challenges for developing countries // *Environmental Development*. 2016. Vol. 19. Pp. 84–89. DOI: 10.1016/j.envdev.2016.05.002.

9. Sadeek S. A. [et al.] Metal adsorption by agricultural biosorbents: adsorption isotherm, kinetic and biosorbents chemical structures // *International journal of biological macromolecules*. 2015. Vol. 81. Pp. 400–409. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2015.08.031.

10. Zeraatkar A. K. [et al.] Potential use of algae for heavy metal bioremediation, a critical review // *Journal of environmental management*. 2016. Vol. 181. Pp. 817–831. DOI: 10.1016/j.jenvman.2016.06.059.

11. Alekseeva O. V., Bagrovskaya N. A., Noskov A. V. Sorption of heavy metal ions by cellulose modified with fullerene // *Russian Journal of Applied Chemistry*. 2015. Vol. 88(3). Pp. 436–441.

12. Дремичева Е. С. Использование торфа и

древесных опилок для очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов // *Вестник Научного центра промышленной и экологической безопасности* [Вестник НИЦ ВостНИИ]. 2021. № 3. С. 80–91. DOI: 10.25558/VOSTNI.2021.74.78.009.

13. Gorgievski M. [et al.] Kinetics, equilibrium and mechanism of Cu²⁺, Ni²⁺ and Zn²⁺ ions biosorption using wheat straw // *Ecological Engineering*. 2013. № 58. Pp. 113–122. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2013.06.025.

14. Imamoglu M. [et al.] Efficient Removal of Cd(II) from Aqueous Solution by Dehydrated Hazelnut Husk Carbon // *Journal of Dispersion Science and Technology*. 2015. Vol. 36(2). Pp. 284–290. DOI: 10.1080/01932691.2014.890109.

15. Jalali M., Aboulghazi F. Sunflower stalk, an agricultural waste, as an adsorbent for the removal of lead and cadmium from aqueous solutions // *Journal of Material Cycles and Waste Management*. 2013. Vol. 15. Pp. 548–555. DOI: 10.1007/s10163-012-0096-3.

16. Priya A. K. [et al.] Investigation of mechanism of heavy metals (Cr⁶⁺, Pb²⁺ and Zn²⁺) adsorption from aqueous medium using rice husk ash: Kinetic and thermodynamic approach // *Chemosphere*. 2022. Vol. 286(3). P. 131796. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2021.131796.

17. Wang J., Chen C. Biosorbents for heavy metals removal and their future // *Biotechnology advances*. 2009. – Vol. 27(2). Pp. 195–226. DOI: 10.1016 / j.biotechadv.2008.11.002.

18. Voronina A.V. [et al.] Sorbents based on commercial cellulose intended for radioactively contaminated waters and natural water bodies rehabilitation // *Water sector of Russia: problems, technologies, management*. 2013. № 5. Pp. 45–53.

19. Es-sahbany H. [et al.] Investigation of the adsorption of heavy metals (Cu, Co, Ni and Pb) in treatment synthetic wastewater using natural clay as a potential adsorbent (Sale-Morocco) // *Materials Today: Proceedings*. 2021. Vol. 45(8). Pp. 7290–7298.

20. Salishcheva O., Donya D. A study of the complexing and gelling abilities of pectic substances // *Foods and Raw Materials*. 2014. Vol. 1(2). Pp. 76–84. DOI: 10.12737/2172.

21. Li J. [et al.] The role of surface functional groups of pectin and pectin-based materials on the adsorption of heavy metal ions and dyes // *Carbohydrate Polymers*. 2022. Vol. 276. P. 118789. DOI: 10.1016/j.carbpol.2021.118789.

22. Priya A. K. Investigation of mechanism of heavy metals (Cr⁶⁺, Pb²⁺ and Zn²⁺) adsorption from aqueous medium using rice husk ash: Kinetic and thermodynamic approach // *Chemosphere*. 2022. Vol. 286(3). P. 131796.

23. Hoai N. T. [et al.] Oil spill cleanup using stearic-acid-modified natural cotton // *Environ. Sci*. 2016. № 7. Pp. 2498–2504.

24. Zhashueva K. A. [et al.] Purification of water from heavy metal ions by adsorbents based on plant waste // *Herald of Technological University*. 2017. Vol. 20(7). Pp. 142–143.

25. Салищева О. В., Неверов Е. Н. Исследование эффективности процесса адсорбционной очистки сточных вод с использованием природных материалов в качестве

адсорбентов // Вестник Научного центра ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности. 2022. № 3. С. 87–97. DOI: 10.25558/VOSTNI.2022.58.66.009.

© 2025 Авторы. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Об авторах:

Салищева Олеся Владимировна, заведующий кафедрой общей и неорганической химии, Кемеровский государственный университет (650000, Россия, г. Кемерово, ул. Красная, 6), д.х.н., доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1885-2060>, e-mail: onh@mail.ru

Тарасова Юлия Викторовна, старший преподаватель кафедры общей и неорганической химии, Кемеровский государственный университет (650000, Россия, г. Кемерово, ул. Красная, 6), к.т.н., ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4492-3985>, e-mail: tarasova_jv@mail.ru

Ченская Валентина Васильевна, заведующий кафедрой химии, технологии неорганических веществ и наноматериалов, Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева (650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28), к.х.н., доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9840-1969>, e-mail: cvv.htnv@kuzstu.ru

Заявленный вклад авторов:

Салищева Олеся Владимировна – постановка исследовательской задачи, научный менеджмент, концептуализация исследования, сбор и анализ данных, обзор соответствующей литературы, выводы, написание текста.

Тарасова Юлия Викторовна – постановка исследовательской задачи, концептуализация исследования, сбор и анализ данных, обзор соответствующей литературы, выводы, написание текста.

Ченская Валентина Васильевна – обзор соответствующей литературы, выводы.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Original article

ARTICLE TITLE DETERMINATION OF KINETIC CHARACTERISTICS OF ADSORPTION OF CADMIUM(II) AND LEAD(II) IONS FROM AQUEOUS SOLUTION USING PLANT WASTE

Olesya V. Salishcheva^{1*}, Yulia V. Tarasova¹,
Valentina V. Chenskaya²

¹ Kemerovo State University

² T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University

* for correspondence: onh@mail.ru



Article info

Received:

01 December 2024

Accepted for publication:

22 January 2025

Accepted:

30 January 2025

Abstract.

A huge number of different pollutants, especially heavy metals, have accumulated in the environment over the past few decades. These negative consequences have been caused by the continuous growth of production and intensive industrial and agricultural activities of mankind, which pose a real threat to the biosphere. The importance of studying the adsorption of heavy metal ions cannot be underestimated, especially in a deteriorating environmental situation. Natural adsorbents, such as walnut shells and pine cones, can be an effective means of removing toxic substances from wastewater and polluted ecosystems. The effectiveness of their use is due to their unique structure and chemical composition, which allows you to bind metal ions and minimize their harmful effects. Kinetic and equilibrium data on the adsorption of heavy metal ions cadmium(II), lead(II) by various

Published:
12 March 2025

Keywords: adsorption, heavy metals, biosorbents, cedar cone shell, walnut shell, pomegranate shell, kinetic characteristics, reaction order.

natural materials were obtained: walnut shells, cedar cone shells, pomegranate wastes. Based on the data obtained, it is possible to identify the key factors affecting the adsorption process - the pH of the solution, temperature and contact time. Experiments have demonstrated that optimal conditions contribute to the maximum retention of lead ions on the shell of a cedar cone. The kinetic characteristics of the adsorption process were calculated, and the mechanism of its course was revealed. Further research in this area may open up new prospects for the use of natural adsorbents for cleaning water bodies and soil. Developing technologies based on local resources can significantly reduce clean-up costs and improve the environmental situation in pollution-prone regions.

For citation: Salishcheva O.V., Tarasova Yu.V., Chenskaya V.V. Article title determination of kinetic characteristics of adsorption of cadmium(II) and lead(II) ions from aqueous solution using plant waste. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*=Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2025; 7(167):5-13. (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1999-4125-2025-1-5-13, EDN: BHFYQK

REFERENCES

1. Ferreira R.C., Dias D., Fonseca I., Bernardo M., Willmann Pimenta J.L.C., Lapa N., de Barros M.A.S.D. Multi-component adsorption study by using bone char: modelling and removal mechanisms. *Environmental Technology*. 2022; 43(6):789-804 DOI: 10.1080/09593330.2020.1805026.
2. Hashmi Z. [et al.] Comparative analysis of conventional to biomass-derived adsorbent for wastewater treatment: a review. *Biomass Conversion and Biorefinery*. 2022. DOI: 10.1007/s13399-022-02443-y.
3. Chiang Y.C., Juang R.S. Surface modifications of carbonaceous materials for carbon dioxide adsorption: A review. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*. 2017; 71:214-234. DOI: 10.1016/j.jtice.2016.12.014.
4. Marques S.C.R. [et al.] Pharmaceuticals removal by activated carbons: role of morphology on cyclic thermal regeneration. *Chemical Engineering Journal*. 2017; 321:233-244. DOI: 10.1016/j.cej.2017.03.101.
5. Rodriguez-Narvaez O.M. [et al.] Treatment technologies for emerging contaminants in water: A review. *Chemical Engineering Journal*. 2017; 323:361-380. DOI: 10.1016/j.cej.2017.04.106.
6. Xiang Y. [et al.] Carbon-based materials as adsorbent for antibiotics removal: mechanisms and influencing factors. *Journal of environmental management*. 2019; 237:128-138. DOI: 10.1016/j.jenvman.2019.02.068.
7. Babich O. [et al.] Miscanthus plants processing in fuel, energy, chemical and microbiological industries. *Foods and Raw Materials*. 2019; 7(2):403-411.
8. Chaukura N. [et al.] Biosorbents for the removal of synthetic organics and emerging pollutants: opportunities and challenges for developing countries. *Environmental Development*. 2016; 19:84-89. DOI: 10.1016/j.envdev.2016.05.002.
9. Sadeek S.A. [et al.] Metal adsorption by agricultural biosorbents: adsorption isotherm, kinetic and biosorbents chemical structures. *International journal of biological macromolecules*. 2015; 81:400-409. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2015.08.031.
10. Zeraatkar A.K. [et al.] Potential use of algae for heavy metal bioremediation, a critical review. *Journal of environmental management*. 2016; 181:817-831. DOI: 10.1016/j.jenvman.2016.06.059.
11. Alekseeva O.V., Bagrovskaya N.A., Noskov A.V. Sorption of heavy metal ions by cellulose modified with fullerene. *Russian Journal of Applied Chemistry*. 2015; 88(3):436-441.
12. Dremicheva E.S. Ispol'zovanie torfa i drevesnyh opilok dlya ochistki stochnyh vod ot ionov tyazhelyh metallov. *Vestnik Nauchnogo centra VostNII po promyshlennoj i ekologicheskoy bezopasnosti*. 2021; 3:80-91. DOI: 10.25558/VOSTNII.2021.74.78.009.
13. Gorgievski M. [et al.] Kinetics, equilibrium and mechanism of Cu²⁺, Ni²⁺ and Zn²⁺ ions biosorption using wheat straw. *Ecological Engineering*. 2013; 58:113-122. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2013.06.025.
14. Imamoglu M. [et al.] Efficient Removal of Cd(II) from Aqueous Solution by Dehydrated Hazelnut Husk Carbon. *Journal of Dispersion Science and Technology*. 2015; 36(2):284-290. DOI: 10.1080/01932691.2014.890109.
15. Jalali M., Aboulghazi F. Sunflower stalk, an agricultural waste, as an adsorbent for the removal of lead and cadmium from aqueous solutions. *Journal of Material Cycles and Waste Management*. 2013; 15:548-555. DOI: 10.1007/s10163-012-0096-3.
16. Priya A.K. [et al.] Investigation of mechanism of heavy metals (Cr⁶⁺, Pb²⁺ and Zn²⁺) adsorption from aqueous medium using rice husk ash: Kinetic and thermodynamic approach. *Chemosphere*. 2022; 286(3):131796. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2021.131796.
17. Wang J., Chen C. Biosorbents for heavy metals removal and their future. *Biotechnology advances*. 2009; 27(2):195-226. DOI: 10.1016/j.biotechadv.2008.11.002.
18. Voronina A.V. [et al.] Sorbents based on commercial cellulose intended for radioactively contaminated waters and natural water bodies rehabilitation. *Water sector of Russia: problems, technologies, management*. 2013; 5:45-53.

19. Es-sahbany H. [et al.] Investigation of the adsorption of heavy metals (Cu, Co, Ni and Pb) in treatment synthetic wastewater using natural clay as a potential adsorbent (Sale-Morocco). *Materials Today: Proceedings*. 2021; 45(8):7290–7298.

20. Salishcheva O., Donya D. A study of the complexing and gelling abilities of pectic substances. *Foods and Raw Materials*. 2014; 1(2):76–84. DOI: 10.12737/2172.

21. Li J. [et al.] The role of surface functional groups of pectin and pectin-based materials on the adsorption of heavy metal ions and dyes. *Carbohydrate Polymers*. 2022; 276:118789. DOI: 10.1016/j.carbpol.2021.118789.

22. Priya A.K. [et al.] Investigation of mechanism of heavy metals (Cr⁶⁺, Pb²⁺ and Zn²⁺) adsorption from

aqueous medium using rice husk ash: Kinetic and thermodynamic approach. *Chemosphere*. 2022. 286(3):131796.

23. Hoai N.T. [et al.] Oil spill cleanup using stearic-acid-modified natural cotton. *Environ. Sci.* 2016; 7:2498–2504.

24. Zhashueva K. A. [et al.] Purification of water from heavy metal ions by adsorbents based on plant waste. *Herald of Technological University*. 2017; 20(7):142–143.

25. Salishcheva O.V., Neverov E.N. Issledovanie effektivnosti processa adsorbicnoy oчитки stochnyh vod s ispol'zovaniem prirodnyh materialov v kachestve adsorbentov. *Vestnik Nauchnogo centra VostNII po promyshlennoy i ekologicheskoy bezopasnosti*. 2022; 3:87–97. DOI: 10.25558/VOSTNII.2022.58.66.009.

© 2025 The Authors. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

The authors declare no conflict of interest.

About the authors:

Olesya V. Salishcheva, Head of the Department of General and Inorganic Chemistry, Kemerovo State University, (650000, Russian Federation, Kemerovo, Krasnaya Street, 6), Doctor of Chemical Sciences, Associate Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1885-2060>, e-mail: salishchevaov@mail.ru

Yuliya V. Tarasova, Senior Lecturer of the Department of General and Inorganic Chemistry, Kemerovo State University, (650000, Russian Federation, Kemerovo, Krasnaya Street, 6), Cand. Sci. (Eng.), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4492-3985>, e-mail: tarasova_jv@mail.ru

Valentina V. Chenskaya, Head of the Department of Chemistry, Technology of Inorganic Substances and Nanomaterials, T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, (650000, Russian Federation, Kemerovo, Vesennyya Street, 28), Cand. Sci. (Chem.), Associate Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9840-1969>, e-mail: cvv.htnv@kuzstu.ru

Contribution of the authors:

Olesya Vladimirovna Salishcheva – research problem statement; scientific management, conceptualisation of research, data collection, data analysis, reviewing the relevant literature, drawing the conclusions, writing the text.

Yuliya Victorovna Tarasova – research problem statement; conceptualisation of research, data collection, data analysis, reviewing the relevant literature, drawing the conclusions, writing the text.

Valentina Vasilevna Chenskaya – reviewing the relevant literature; drawing the conclusions.

All authors have read and approved the final manuscript.

