

DOI: 10.25558/VOSTNII.2026.75.84.008

УДК 66.067.8.081.3

© Н. А. Воронин, В. А. Сомин, 2026

Н. А. ВОРОНИН

преподаватель международной кафедрой
ЮНЕСКО «Инженерная экология»
Алтайский государственный технический
университет им. И. И. Ползунова, г. Барнаул
e-mail: voroninna00@gmail.com

**В. А. СОМИН**

д-р техн. наук, доцент,
заведующий международной кафедрой
ЮНЕСКО «Инженерная экология»
Алтайский государственный технический
университет им. И.И. Ползунова, г. Барнаул
e-mail: vladimir_somin@mail.ru



ИЗУЧЕНИЕ СОРБЦИИ ИОНОВ ХРОМА ПАНЦИРЕМ МОЛЛЮСКОВ HELIX P.

Соединения кобальта являются одними из наиболее токсичных загрязнений водных объектов, которые могут попадать в них вследствие сбросов недостаточно очищенных сточных вод. В природной среде кобальт накапливается в тканях растений и животных и по трофической цепи может попасть в организм человека, вызывая токсическое и мутагенное воздействие. Поэтому актуальным является использование технологий, позволяющих эффективно извлекать кобальт из воды. В данной работе представлены результаты исследований по изучению сорбции ионов кобальта из воды панцирем моллюска *Helix p.* Использовался панцирь как в нативном виде, так и модифицированный раствором гидроксида натрия концентрацией 10 % и обработанный ультразвуком частотой 40 кГц. Для всех материалов определена статическая сорбционная емкость, которая составила для нативного материала 59,14 мг/г, модифицированного гидроксидом натрия — 3,76 мг/г, ультразвуком — 4,30 мг/г. Построены линеаризованные изотермы сорбции ионов кобальта по моделям Ленгмюра, Фрейндлиха, Дубинина-Радушкевича и Темкина. Рассчитаны константы сорбционного равновесия и величины предельной сорбции по указанным моделям. Выявлено, что сорбция ионов кобальта удовлетворительно описывается моделями Ленгмюра, Фрейндлиха и Темкина как для нативного панциря, так и для модифицированного и имеет физический характер. Модель Дубинина-Радушкевича не подходит для описания сорбции исследуемых материалов. Проведение активации гидроксидом натрия и ультразвуком нецелесообразно, поскольку приводит к снижению сорбционной емкости материала в 15,7 и 13,8 раза соответственно.

Ключевые слова: АДСОРБЦИЯ, ИОНЫ ХРОМА, ЗАГРЯЗНЕНИЕ ВОДЫ, МОЛЛЮСКИ, ХИТИН, ПАНЦИРЬ.

Загрязнение водных ресурсов соединениями тяжелых металлов представляет одну из наиболее острых проблем современности. Существующие в настоящее время методы очистки воды, в том числе реагентные, биологические, электрохимические и некоторые физико-химические, не всегда позволяют производить снижение концентрации металлов до норм, допустимых для сброса в водоемы, поэтому применение адсорбционных технологий является актуальным и перспективным направлением.

Глубокая степень извлечения, простота аппаратного оформления, экономическая привлекательность способствуют применению адсорбционных методов для очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов. Однако промышленно выпускаемые сорбенты характеризуются высокой стоимостью, достигающей нескольких сотен тысяч рублей за тонну. Поэтому разработка дешевых сорбционных материалов имеет большое практическое значение. Такие материалы должны удовлетворять требования по доступности, высокой механической прочности, способности к регенерации, устойчивости к агрессивным средам. Сорбенты можно изготавливать из различного сырья, в том числе вторичного, например, из отходов деревообрабатывающей, пищевой промышленности, сельского хозяйства. Создание таких материалов является наиболее перспективным направлением совершенствования систем водоподготовки и очистки стоков.

Кобальт относится к числу наиболее распространенных тяжелых металлов, загрязняющих биосферу вследствие сбросов недостаточно очищенных сточных вод предприятий машиностроения, химической промышленности. В природной среде соединения кобальта могут накапливаться в тканях растений [1–5], донных отложениях водоёмов [6,7], рыбе, особенно ее костной ткани [8], а также в моллюсках [9]. Накопление кобальта в организмах приводит к изменению биохимических процессов в них и, как следствие, к снижению биоразнообразия экосистем.

Естественная способность моллюсков и ракообразных накапливать тяжелые металлы

может быть обусловлена наличием в них хитина, который может выступать в роли биополимера с высокой способностью к поглощению поллютантов, что может быть основанием для получения на их основе сорбционных материалов для удаления металлов из воды.

Авторы [10] установили, что хитозан, выделенный из биомассы *Aspergillus niger* в результате последовательного четырехступенчатого кислотно-щелочного гидролиза, в статических условиях способен сорбировать нитрат-, нитрит-, сульфат-, хлорид-, фосфат- ионы с эффективностью от 32 до 55 %, ионы кальция и магния — до 69 %.

Известны технологии выделения хитина из панциря морских ракообразных [11, 12], гаммаруса азовского [13], речных раков [14], грибов [15, 16]. Выделение хитина из нативного сырья может осуществляться с использованием химических реагентов, ферментов, микробной ферментации и другими способами. Наиболее широко применяется способ, предусматривающий удаление белков, минеральных веществ и перевод хитина в хитозан. Для этого панцири измельчаются до получения однородной массы, затем обрабатываются раствором щелочи низкой концентрации, после производят очистку хитозана от примесей и других веществ и высушивают выделенный хитозан. Процесс является трудоемким и дорогостоящим, поэтому вопрос получения хитозана из других источников характеризуется все большей актуальностью. Перспективным сырьевым источником производства хитозана как с экономической, так и с экологической точки зрения являются панцири наземных моллюсков, образующихся в качестве отходов в пищевой промышленности, в частности моллюск *Helix p.*

Выделенный хитозан может являться эффективным сорбентом металлов из водных растворов. В частности, авторы [17] установили, что сорбенты из хитозана обладают высокой сорбционной активностью в отношении ионов железа. Сорбция происходит за счет образования химических связей между функциональными группами хитозана и ионами тяжелых металлов, что приводит

к образованию нерастворимых соединений, которые выпадают в осадок.

Авторами настоящей статьи изучался процесс сорбции ионов кобальта на нативном и модифицированном панцире сухопутного моллюска *Helix p.* Панцирь предварительно измельчался, после чего рассеивался на вибросите и для исследований отбиралась фракция с размером частиц 2–5 мм. Отдельно проводилось модифицирование панцирей двумя способами — выдерживанием в растворе гидроксида натрия концентрацией 10 % и активация ультразвуком частотой 40 кГц.

Изучение сорбционной способности производилось на модельных растворах сульфата кобальта, который готовили растворением навески кристаллогидрата $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. Концентрацию ионов кобальта в растворах определяли колориметрически по методике [18] с помощью предварительно построенного калибровочного графика.

Сорбционная емкость в статических условиях определялась на растворах с концентрацией ионов кобальта от 10 мг/дм³ до 2500 мг/дм³ при постоянной температуре. В колбы с раствором сульфата кобальта добавлялось по одному грамму сорбента, после чего производилось перемешивание в течение 60 минут до установления химического равновесия. Количество поглощенных ионов кобальта

высчитывали по разнице между исходными и равновесными концентрациями в жидкой фазе.

Величину сорбционной ёмкости (A) высчитывали по формуле:

$$A = \frac{(C_s - C_e)V}{m}, \quad (1)$$

где C_s — начальная концентрация ионов кобальта, мг/дм³; C_e — равновесная концентрация сорбата, мг/дм³; m — масса навески панциря, г; V — объем раствора (0,1 дм³).

Процесс адсорбции панцирем моллюсков металлов, в частности кобальта, является сложным для описания, поскольку в состав панциря, помимо минеральной части, чаще всего представленной кальцитом, входит несколько сложных органических соединений, в частности полисахариды (хитин), липиды и белки (конхиолин), углеводы [19].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные экспериментальные данные по сорбции ионов кобальта панцирем *Helix p.* были использованы для построения изотерм сорбции (рис. 1).

Как видно из рисунка 1, нативный материал обладает наиболее высокой сорбционной ёмкостью по отношению к кобальту (58 мг/г), активация гидроксидом натрия уменьшает её

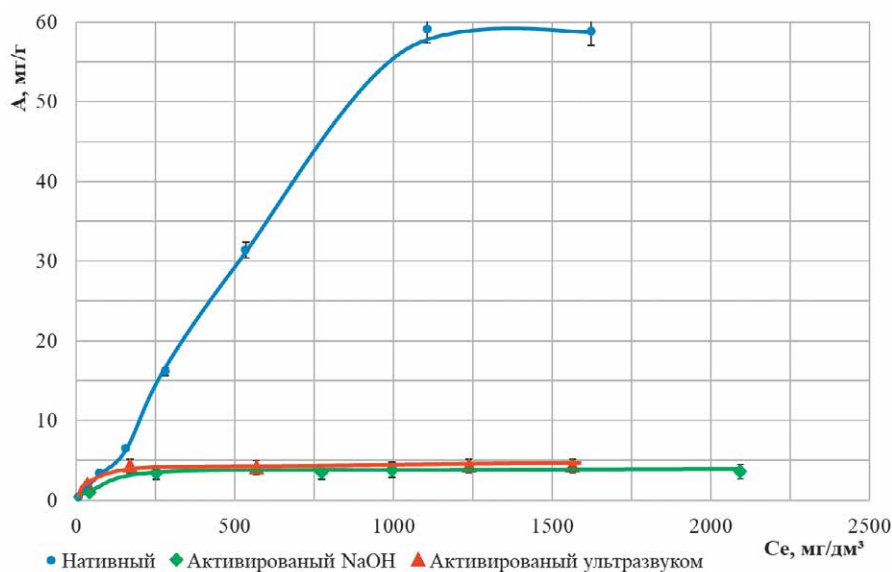


Рис. 1. Зависимость сорбционной ёмкости (A) от равновесной концентрации (Ce) ионов кобальта на панцире моллюска *Helix p.*

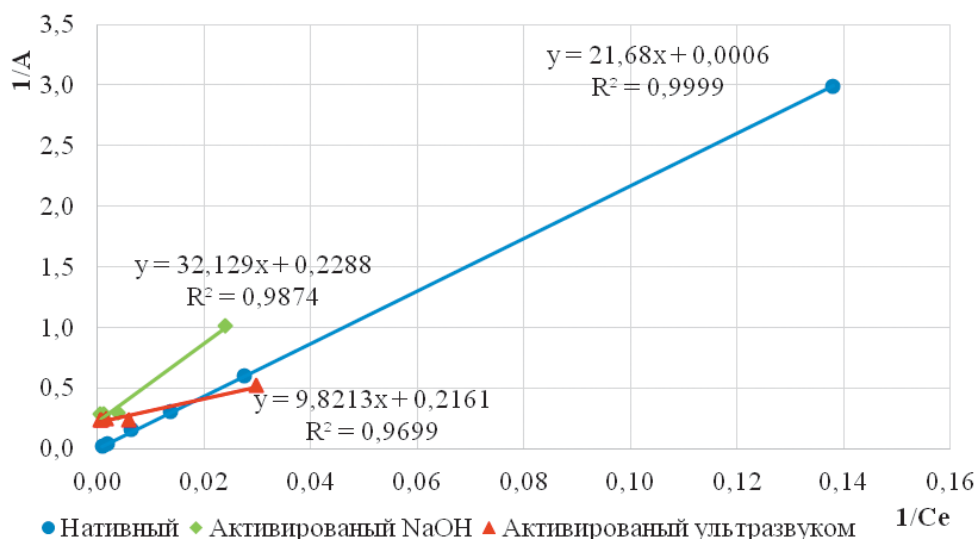


Рис. 2. Линейризованные изотермы сорбции ионов кобальта панцирем моллюска *Helix p.* по модели Ленгмюра

до 4,3 мг/г, а ультразвуком — до 3,6 мг/г. Снижение ёмкости модифицированного панциря может быть связано с потерей активных центров, ответственных за связывание ионов металлов. Полученные изотермы имеют резко возрастающий характер при низких равновесных концентрациях, что предполагает сильное межмолекулярное взаимодействие в веществе сорбата и позволяет отнести их к типу L2 по классификации Гильса [20].

При исследовании механизма адсорбции следует отметить сложившуюся тенденцию использования нескольких моделей, что позволяет более объективно характеризовать явления на границе сорбент-сорбат. Описание сорбционного процесса проводилось с применением моделей Ленгмюра, Фрейндлиха, Дубинина-Радушкевича и Тёмкина. Адекватность моделей оценивали по величине коэффициента аппроксимации R^2 .

Описание процесса сорбции с использованием изотермы Ленгмюра основано на предположении, что элементарные участки, имеющиеся на поверхности адсорбента, могут сорбировать только одну молекулу сорбата, а количество сорбционных центров эквивалентно количеству сорбируемого вещества. Процесс при этом является обратимым и равновесным. Уравнение Ленгмюра обычно используют в следующем виде:

$$A = \frac{A_{\infty} \cdot K \cdot c_e}{(1 + K_L \cdot c_e)} \quad (2)$$

где A — сорбционная ёмкость, мг/г, C_e — равновесная концентрация сорбата, мг/дм³; K_L — константа сорбционного равновесия, характеризующая интенсивность сорбции, дм³/мг; A_{∞} — предельное количество сорбированного вещества, мг/г.

Уравнение (2) линейризуется в координатах $1/A = f(1/C_e)$ и может быть представлено следующим образом:

$$\frac{1}{A} = \frac{1}{A_{\infty}} + \frac{1}{K_L \cdot A \cdot C_e} \quad (3)$$

В результате обработки экспериментальных данных по модели Ленгмюра были получены зависимости, представленные на рис. 2.

Как видно из рисунка 2, значения коэффициента аппроксимации R^2 линейных зависимостей достаточно высоки, что позволяет предполагать мономолекулярный характер сорбции. Значения рассчитанных при этом максимальной адсорбции и константы сорбционного равновесия приведены в табл. 1.

Рассчитанное значение максимальной адсорбции A_{∞} для натурального панциря оказалось значительно выше экспериментально найденного. Константы адсорбционного равновесия K_L оказались невысокими, что характеризует слабое взаимодействие ионов кобальта с адсорбентом.

Таблица 1

Рассчитанные значения максимальной сорбционной ёмкости (A_{∞}), найденной экспериментально (A) и константы сорбционного равновесия (K_L) по модели Ленгмюра

Вид материала	A_{∞} , мг/г	A , мг/г	K_L , дм ³ /мг
Нативный	1666,7	59,14	0,00003
Активированный NaOH	4,4	3,76	0,00712
Активированный ультразвуком	4,6	4,30	0,02200

Модель Фрейндлиха используется для описания сорбции на гетерогенной поверхности и исходит из предположения, что сорбционные центры обладают различными величинами энергии и в первую очередь происходит заполнение тех из них, которые обладают максимальной энергией. Данная модель математически выражается следующим образом:

$$A = K_F C_e^n; \quad (4)$$

где K_F — константа равновесия уравнения Фрейндлиха, которая отражает относительную сорбционную способность, n — параметр, указывающий на интенсивность взаимодействия адсорбент-адсорбат.

Уравнение 4 линеаризуется в координатах $\lg A = f(\lg C_e)$ и может быть представлено в виде:

$$\lg A = \lg K_F + n \cdot \lg C_e. \quad (5)$$

Построенные в координатах $\lg A$ от $\lg C_e$ линеаризованные изотермы сорбции ионов

кобальта на нативном и модифицированном панцире моллюска представлены на рис. 3.

Достаточно высокие значения коэффициентов аппроксимации свидетельствуют об удовлетворительном соответствии экспериментальных данных с теоретическими положениями модели Фрейндлиха. Рассчитанная константа сорбционного взаимодействия K_F значительно больше у активированного ультразвуком панциря, наименьшие — у нативного материала (табл. 2), что несколько противоречит полученным экспериментальным данным, т.к. наибольшая адсорбционная способность выявлена у нативного панциря.

Для всех зависимостей рассчитанные значения коэффициента n оказались больше 1, что позволяет предполагать, что катионы кобальта в первую очередь заполняют сорбционные центры с более высокой связывающей способностью, и прочность сцепления уменьшается с увеличением степени заполнения. Значение параметра $1/n$ даёт представление

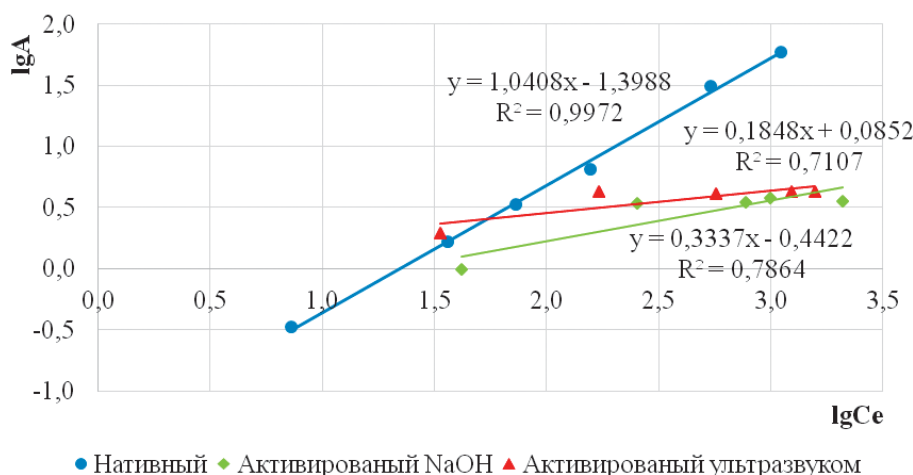


Рис. 3. Линеаризованные изотермы сорбции ионов кобальта панцирем моллюска Helix p. по модели Фрейндлиха

Таблица 2

Рассчитанные значения константы сорбционного равновесия K_F и параметра n по модели Фрейндлиха

Вид материала	K_F	n	$1/n$
Нативный	0,040	0,961	1,041
Активированный NaOH	0,361	2,997	0,334
Активированный ультразвуком	1,217	5,411	0,185

о том, насколько интенсивны процессы адсорбции: рассчитанные значения данного параметра находятся в диапазоне от 0,185 до 1,041, следовательно, процесс протекает довольно сложно [21]. При этом величину $1/n$ можно рассматривать как показатель неоднородности сорбционных центров, и при приближении её к 1 их неоднородность возрастает. Из полученных данных видно, что наибольшей неоднородностью сорбционных центров обладает нативный панцирь.

Для процесса сорбции на твёрдых микропористых сорбентах используется модель Дубинина-Радушкевича, которая описывается уравнением 6 и линеаризуется в координатах $\ln A = f(\ln(C_s/C_e)^2)$:

$$A = A_{\infty} \exp\left(-\frac{R \cdot T}{E} \frac{C_s}{C_e}\right)^2 \quad (6)$$

где C_s — начальная концентрация адсорбата, мг/дм³; R — универсальная газовая

постоянная; T — абсолютная температура, °К; E — энергия адсорбции.

Модель позволяет установить физический или химический характер сорбции и является более общей по отношению к модели Ленгмюра, так как не предполагает гомогенности поверхности и постоянства адсорбционного потенциала. Обработка изотерм сорбции по модели Дубинина-Радушкевича позволяет определять природу адсорбционных сил, удерживающих частицы сорбата в порах сорбента, по величине вычисленной средней свободной энергии адсорбции [22].

Линеаризованные изотермы сорбции ионов кобальта на нативном и модифицированном панцире представлены на рисунке 4.

Отмечено, что модель Дубинина-Радушкевича является наименее репрезентативной при описании равновесия сорбции ионов кобальта на панцире моллюска *Helix p.*,

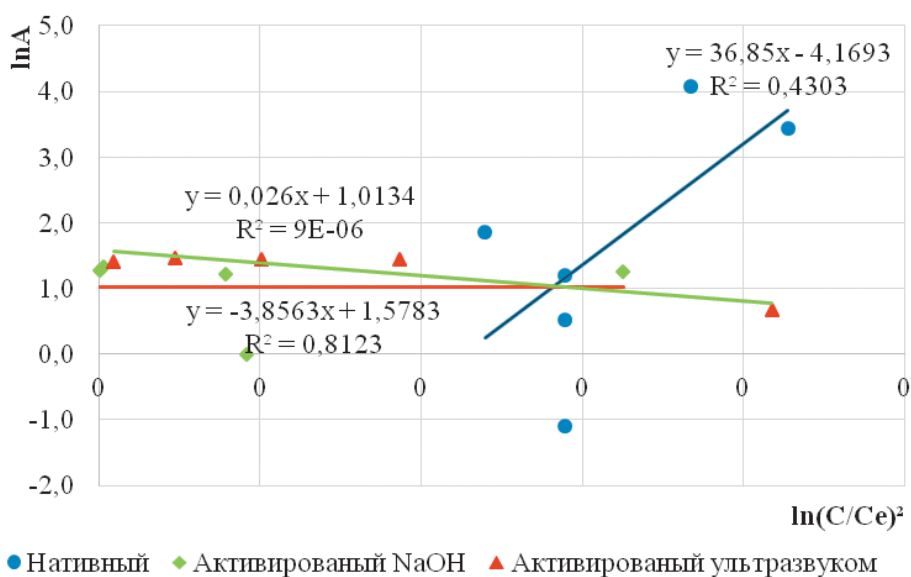


Рис. 4. Линеаризованные изотермы сорбции ионов кобальта панцирем моллюска *Helix p.* по модели Дубинина-Радушкевича

Таблица 3

Рассчитанные значения предельной адсорбции A_{∞} и энергии адсорбции E по модели Дубинина-Радушкевича

Материал	A_{∞} , мг/г	E , кДж/моль
Нативный	0,0155	411
Активированный NaOH	2,7550	-
Активированный ультразвуком	4,8467	15468

поскольку коэффициенты корреляции составили от 0,000009 до 0,8123 (рис. 4). Таким образом, сорбция катионов кобальта не может быть объяснена объёмным заполнением микропор в панцире моллюсков. Тем не менее, для данной модели были рассчитаны значения предельной адсорбции и энергии адсорбции (табл. 3). Как видно, предельная адсорбция значительно меньше, чем зафиксированная экспериментально и полученная расчётным путём по модели Ленгмюра. Рассчитанная энергия адсорбции во всех случаях оказалась значительно превышает 16 кДж/моль, что не позволяет использовать модель Дубинина-Радушкевича для данных материалов.

Модель Тёмкина относится к случаю мономолекулярной адсорбции на неоднородной поверхности адсорбента. Она предполагает, что теплота адсорбции всех молекул линейно снижается по мере заполнения слоя из-за отталкивания адсорбатом, при этом адсорбция происходит с равномерным распределением

максимальной энергии связывания. Кроме того, модель предполагает, что снижение теплоты адсорбции происходит в большей степени по линейному закону, чем по логарифмическому, и в линеаризованном виде описывается следующим образом:

$$A = \frac{R \cdot T}{K} \ln K_T + \frac{R \cdot T}{K} \ln C_{\infty} \quad (7)$$

где K — константа, характеризующая теплоту адсорбции (Дж/моль); K_T — константа Тёмкина (константа сорбционного равновесия, соответствующая максимальной энергии связывания, $\text{дм}^3/\text{мг}$).

Построение изотерм сорбции в линейных координатах уравнения Тёмкина (рис. 5) показало невысокую применимость модели всех образцов панцирей (коэффициент аппроксимации составил 0,73–0,92) для описания сорбции кобальта из водных растворов в области начальных концентраций ионов кобальта 200–2100 мг/л. Теоретически рассчитанные

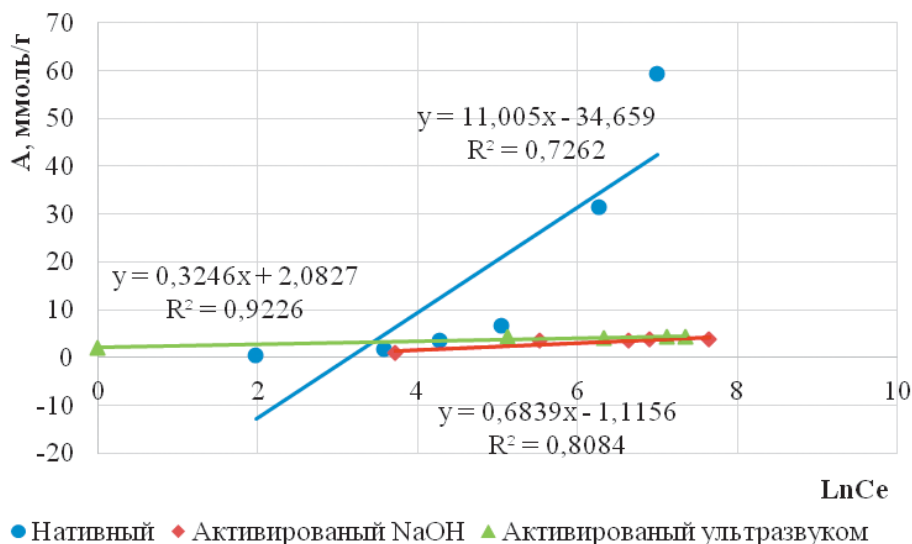


Рис. 5. Линеаризованные изотермы сорбции ионов кобальта панцирем моллюска *Helix p.* по модели Тёмкина

Рассчитанные значения коэффициентов K_T и K по модели Тёмкина

Вид материала	K_T	K
Нативный	0,043	226,6
Активированный NaOH	611,677	7683,9
Активированный ультразвуком	0,252	3085,4

константы адсорбции K для каждого материала представлены в табл. 4. В расчётах температура была принята равной 300 К.

Невысокие значения коэффициента аппроксимации для линеаризованных изотерм свидетельствуют о слабом взаимодействии между адсорбированными ионами кобальта и энергетической гетерогенностью адсорбционных центров.

ВЫВОДЫ

На основании проведённых исследований можно сделать вывод о возможности

использования панциря моллюска *Helix p.* для извлечения ионов кобальта из воды. Проведение активации сорбента гидроксидом натрия и ультразвуком нецелесообразно, поскольку приводит к снижению сорбционной ёмкости материала в 15,7 и 13,8 раза соответственно.

Сорбция ионов кобальта удовлетворительно описывается моделями Ленгмюра, Фрейндлиха и Тёмкина как для нативного панциря, так и для модифицированного и имеет физический характер. Модель Дубинина-Радускевича не подходит для описания сорбции исследуемых материалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Немершина О. Н., Петрова Г. В., Филиппова А. В. Содержание кобальта и кадмия в тканях растений техногенной зоны // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2020. № 4(52). С. 80–87.
2. Немершина О. Н., Гусев Н. Ф. Накопление кобальта и кадмия в растительном сырье и почвах техногенных зон // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2020. № 3(83). С. 122–126.
3. Немершина О. Н., Гусев Н. Ф. Особенности поглощения и распределения тяжёлых металлов из почвы и сточных вод в техногенной зоне в тканях растений // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2024. № 5(109). С. 90–97.
4. Гусова М. С., Гиголаева Д. Б., Бигаева И. М. Изучение влияния ионов кобальта на систему почва-растение // Экологическая безопасность и сохранение генетических ресурсов растений и животных России и сопредельных территорий : Материалы XIV Всероссийской научной конференции с международным участием, Владикавказ, 13–18 мая 2023 года. Том 3. Владикавказ: Северо-Осетинский государственный университет имени К. Л. Хетагурова, 2023. С. 36–46.
5. Сибиркина А. Р., Лихачев С. Ф. Сравнение содержания соединений кобальта в органах и тканях древесных растений // Самарский научный вестник. Т. 6. № 2(19). 2017. С. 84–87.
6. Чуйко Е. В. Влияние содержания тяжелых металлов в донных отложениях на их биоаккумуляцию в ихтиофауне // Астраханский вестник экологического образования. 2013. № 3(25). С. 139–144.
7. Зыкина Ю. Н., Бабина А. А., Фукс С. Л. Исследование условий попадания ионов кобальта в донные отложения из сточных вод металлургического производства // Экология родного края: проблемы и пути их решения : Материалы XVII Всероссийской научно-практической

конференции с международным участием, Киров, 26–27 апреля 2022 года. Том Книга 1. Киров: Вятский государственный университет, 2022. С. 193–197.

8. Грибовский Ю. Г., Нохрин Д. Ю., Давыдова Н. А., Торчицкий А. Н. Содержание тяжелых металлов в рыбе из минерализованных водоемов Урала // Российский журнал Проблемы ветеринарной санитарии, гигиены и экологии. 2019. № 4(32). С. 461–467.

9. Макаренко Т. В. Изучение накопления тяжелых металлов в тканях моллюсков в водоемах и водотоках Гомеля и прилегающих территорий // Экологический вестник. 2013. № 2. С. 116–121.

10. Ловкис З. В., Павлова О. В., Белова Е. А., Трусова М. М. Использование хитозана для очистки природных и сточных вод // Пищевая промышленность: наука и технологии. 2023. Т. 16. № 1(59). С. 53–61.

11. Патент № 2263079 С1 Российская Федерация, МПК С02F 1/66, С02F 103/22. Способ очистки сточных вод производства хитина из панциря ракообразных: / К. В. Реут, И. Г. Береза, П. Б. Василевский, С. Р. Деркач; заявитель Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Мурманский государственный технический университет — № 2004107962/15; заявл. 18.03.2004; опубл. 27.10.2005.

12. Солдатова С. Ю. Разработка технологии получения хитозана из панцирьсодержащего сырья // Вестник Нижневартковского государственного университета. 2015. № 1. С. 48–56.

13. Касьянов Г. И., Кубенко Е. Г. Разработка технологии получения хитозана из панциря гаммаруса азовского // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2013. № 1(331). С. 69–72.

14. Абдуллин В. Ф., Артеменко С. Е., Овчинникова Г. П. Технология и свойства хитозана из панциря речного рака. // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2006. Т. 4. № 1(16). С. 18–24.

15. Раевских В. М., Ельчанинова С. А., Гартман О. Р. Адсорбция хитозаном из вешенки обыкновенной *Staphylococcus epidermidis*, *Escherichia coli* и ионов тяжелых металлов // Журнал научных статей Здоровье и образование в XXI веке. 2018. Т. 20. № 11. С. 70–75.

16. Раевских В. М., Ельчанинова С. А. Исследование возможности извлечения из воды некоторых примесей хитозаном из вешенки обыкновенной // Современные наукоемкие технологии. 2004. № 2. С. 74–74.

17. Ловкис З. В., Павлова О. В., Белова Е. А., Трусова М. М. Использование хитозана для очистки природных и сточных вод // Пищевая промышленность: наука и технологии. 2023. Т. 16. № 1(59). С. 53–61.

18. ПНДФ 14.1:2.44-96. Методика измерений массовой концентрации ионов кобальта в природных и сточных водах фотометрическим методом с нитрозо-г-солью. Москва, 2016.

19. Silvia Maria de Paula, Marina Silveira. Studies on molluscan shells: Contributions from microscopic and analytical methods // Micron. 2009. P. 669–690.

20. Адсорбция из растворов на поверхностях твердых тел. М.: Мир, 1986. 488 с.

21. Математическое описание сорбции на модифицированной рисовой соломе // Инженерный вестник Дона [Электронный ресурс] <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2018/4650> (дата обращения 10.03.2025)

22. Шумилова М. А. Применение моделей адсорбции при исследовании поглощения ионов никеля почвой // Теоретическая и прикладная экология. 2024. № 3. 2024. С. 45–53

DOI: 10.25558/VOSTNII.2026.75.84.008

UDC 66.067.8.081.3

© N. A. Voronin, V.A. Somin, 2026

N. A. VORONIN

Lecturer at the UNESCO International department of «Engineering Ecology»
Polzunov Altai State Technical University, Barnaul
e-mail: voroninna00@gmail.com

V.A. SOMIN

Doctor of Technical Sciences, Associate Professor,
Head of the UNESCO International department of Engineering Ecology,
Polzunov Altai State Technical University, Barnaul
e-mail: vladimir_somin@mail.ru

STUDY OF CHROMIUM ION SORPTION BY THE SHELL OF MOLLUSKS HELIX P.

Cobalt compounds are among the most toxic pollutants of water bodies that can enter them due to discharges of insufficiently treated wastewater. In the natural environment, cobalt accumulates in plant and animal tissues and can enter the human body through the trophic chain, causing toxic and mutagenic effects. Therefore, it is important to use technologies that effectively extract cobalt from water. This paper presents the results of studies on the sorption of cobalt ions from water by the shell of the Helix p mollusk. The shell was used both in its native form and modified with a 10 % sodium hydroxide solution and treated with ultrasound at a frequency of 40 kHz. A static sorption capacity was determined for all materials, which was 59,14 mg/g for native material, 3,76 mg/g modified with sodium hydroxide, and 4,30 mg/g for ultrasound. Linearized isotherms of sorption of cobalt ions are constructed according to the Langmuir, Freundlich, Dubinin-Radzhdankevich, and Temkin models. The sorption equilibrium constants and the values of the limiting sorption are calculated according to these models. It is revealed that the sorption of cobalt ions is satisfactorily described by the Langmuir, Freundlich, and Temkin models for both native and modified shells and has a physical character. The Dubinin-Radostkevich model is not suitable for describing the sorption of the studied materials. Activation with sodium hydroxide and ultrasound is impractical, since it leads to a decrease in the sorption capacity of the material by 15,7 and 13,8 times, respectively.

Keywords: ADSORPTION, CHROMIUM IONS, WATER POLLUTION, MOLLUSKS, CHITIN, SHELL.

REFERENCES

1. Nemereshina O. N., Petrova G. V., Filippova A.V. The content of cobalt and cadmium in plant tissues of the technogenic zone // Bulletin of the Ulyanovsk State Agricultural Academy. 2020. No. 4(52). P. 80–87. [In Russ.].
2. Nemereshina O. N., Gusev N. F. Accumulation of cobalt and cadmium in plant raw materials and soils of technogenic zones // Proceedings Orenburg State Agrarian University. 2020. No. 3(83). P. 122–126. [In Russ.].
3. Nemereshina O. N., Gusev N. F. Features of absorption and distribution of heavy metals from soil and wastewater in man-made zone in plant tissues // Proceedings of the Orenburg State Agrarian University. 2024. No. 5(109). P. 90–97. [In Russ.].
4. Gusova M. S., Gigolaeva D. B., Bigaeva I. M. Study of the effect of cobalt ions on the soil-plant system // Environmental safety and conservation of genetic resources of plants and animals in Russia and adjacent territories: Proceedings of the XIV All-Russian Scientific Conference with International Participation, Vladikavkaz, May 13–18, 2023. Vol. 3. Vladikavkaz: K.L. Khetagurov North Ossetian State University, 2023. P. 36–46. [In Russ.].
5. Sibirkina A. R., Likhachev S. F. Comparison of the content of cobalt compounds in organs and tissues of woody plants // Samara Scientific Bulletin. Vol. 6. No. 2(19). 2017. P. 84–87. [In Russ.].

6. Chuiko E. V. Influence of heavy metals content in bottom sediments on their bioaccumulation in ichthyofauna // Astrakhan Bulletin of Ecological Education. 2013. No. 3(25). P. 139–144. [In Russ.].
7. Zykina Yu. N., Babina A. A., Fuchs S. L. Investigation of conditions for the ingress of cobalt ions into bottom sediments from wastewater from metallurgical production // Ecology of the native land: problems and ways to solve them: Proceedings of the XVII All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation, Kirov, April 26–27, 2022. Volume 1. Kirov: Vyatka State University, 2022. P. 193–197. [In Russ.].
8. Gribovsky Yu. G., Nokhrin D. Yu., Davydova N. A., Torchitsky A. N. The content of heavy metals in fish from mineralized reservoirs of the Urals // Russian Journal Problems of Veterinary Sanitation, Hygiene and Ecology. 2019. No. 4(32). P. 461–467. [In Russ.].
9. Makarenko T. V. Study of accumulation of heavy metals in mollusk tissues in reservoirs and watercourses of Gomel and adjacent territories // Ecological Bulletin. 2013. No. 2. P. 116–121. [In Russ.].
10. Lovkis Z. V., Pavlova O. V., Belova E. A., Trusova M. M. The use of chitosan for natural and wastewater treatment // Food industry: science and technology. 2023. Vol. 16. No. 1(59). P. 53–61. [In Russ.].
11. Patent No. 2263079 C1 Russian Federation, IPC C02F 1/66, C02F 103/22. Method of wastewater treatment for the production of chitin from the shell of crustaceans // K. V. Reut, I. G. Bereza, P. B. Vasilevsky, S. R. Derkach; applicant Federal State Educational Institution of Higher Professional Education Murmansk State Technical University. No. 2004107962/15: application 18.03.2004: published 27.10.2005. [In Russ.].
12. Soldatova S. Y. Development of technology for obtaining chitosan from shell-containing raw materials // Bulletin of Nizhnevartovsk State University. 2015. No. 1. P. 48–56. [In Russ.].
13. Kasyanov G. I., Kubenko E. G. Development of technology for obtaining chitosan from the shell of gammarus of Azov // News of higher educational institutions. Food technology. 2013. No. 1(331). P. 69–72. [In Russ.].
14. Abdullin V. F., Artemenko S. E., Ovchinnikova G. P. Technology and properties of chitosan from the shell of crayfish // Bulletin of Saratov State Technical University. 2006. Vol. 4. No. 1(16). P. 18–24. [In Russ.].
15. Rayevskikh V. M., Yelchaninova S. A., Hartman O. R. Chitosan adsorption of Staphylococcus epidermidis, Escherichia coli and heavy metal ions from oyster mushroom // Journal of scientific articles Health and Education in the 21st century. 2018. Vol. 20. No. 11. P. 70–75. [In Russ.].
16. Rayevskikh V. M., Yelchaninova S. A. Investigation of the possibility of extracting certain impurities from water with chitosan from oyster mushrooms // Modern high-tech technologies. 2004. No. 2. P. 74–74. [In Russ.].
17. Lovkis Z. V., Pavlova O. V., Belova E. A., Trusova M. M. The use of chitosan for natural and wastewater treatment // Food industry: science and technology. 2023. Vol. 16. No. 1(59). P. 53–61. [In Russ.].
18. PNDF 14.1:2.44-96. Method for measuring the mass concentration of cobalt ions in natural and wastewater using the photometric method with nitroso-r-salt. Moscow, 2016. [In Russ.].
19. Silvia Maria de Paula, Marina Silveira. Studies on molluscan shells: Contributions from microscopic and analytical methods // Micron. 2009. P. 669–690.
20. Adsorption from solutions on the surfaces of solids. Moscow: Mir, 1986. 488 p. [In Russ.].
21. Mathematical description of sorption on modified rice straw // Engineering Bulletin of the Don [Electronic resource] <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2018/4650> (date of request 10.03.2025). [In Russ.].
22. Shumilova M.A. Application of adsorption models in the study of nickel ion absorption by soil // Theoretical and applied ecology. 2024. No. 3. P. 45–53. [In Russ.].