

Научная статья

УДК 622.7/ 502/504

DOI: 10.21209/2227-9245-2023-29-3-35-44

Сорбционная технология очистки сточных и оборотных вод золоотвалов

Константин Константинович Размахнин¹, Алиса Николаевна Хатькова²,
Лидия Владимировна Шумилова³, Татьяна Сергеевна Номоконова⁴

^{1,2,3,4}Забайкальский государственный университет, г. Чита, Россия

¹constantin-const@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2944-7642>,

²alisa1965.65@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-6527-0026>,

³shumilovalv@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-5991-9204>,

⁴krutikova_1995@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0002-9096-864X>

Информация о статье

Статья поступила
в редакцию 28.06.2023

Одобрена после
рецензирования 07.08.2023

Принята к публикации
10.08.2023

Ключевые слова:

золошлаковые отходы,
гидрозолоотвал,
Читинская ТЭЦ-1, сточные
воды, оборотные воды,
загрязняющие вещества,
очистка, сорбция,
природные цеолиты,
динамическая ёмкость

Целью исследований является оценка возможности эффективной очистки сточных и оборотных вод золоотвала сорбционными методами. К задачам исследования следует отнести следующие: разработка схемы сорбционной установки с последовательным введением цеолита для очистки сточных и оборотных вод гидрозолоотвалов; разработка схемы непрерывной сорбционной установки с применением цеолитового сорбента для очистки сточных и оборотных вод гидрозолоотвалов; определение эффективности очистки сточных и оборотных вод посредством применения сорбционных методов, основанных на использовании природных цеолитов. Представлены результаты исследований по изучению возможности применения природных цеолитов Шивыртуйского месторождения для очистки сточных и оборотных вод гидрозолоотвала Читинской ТЭЦ-1 от загрязняющих компонентов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду. Предмет исследований – технологии и материалы, обеспечивающие очистку сточных и оборотных вод гидрозолоотвала. Выявлено, что применение природных цеолитов Шивыртуйского месторождения для очистки сточных и оборотных вод золоотвала является обоснованным и эффективным. При этом степень очистки от мышьяка составила 93,3 %, от фтора – 97 %, свинца – 87 %, марганца – 99,7 %. Разработана схема сорбционной установки с последовательным введением цеолита, а также непрерывной сорбционной установки на основе применения в качестве сорбента природных цеолитов. Проведённые в динамическом режиме экспериментальные исследования по извлечению мышьяка из сточных и оборотных вод гидрозолоотвала показали, что природные цеолиты обладают необходимыми характеристиками, позволяющими эксплуатировать адсорбент в промышленных условиях в течение длительного времени при сохранении достаточно высоких сорбционных способностей. Установлено, что природные цеолиты являются эффективным материалом для очистки сточных и оборотных вод от мышьяка. Преимуществом использования цеолитов в процессах ионообменной и сорбционной очистки сточных и оборотных вод является возможность осуществления процессов ионообмена и сорбции в динамическом режиме, высокая сорбционная избирательность и простота аппаратного оформления.

Благодарность: Работа выполнена в рамках реализации проекта РНФ 22-17-00040 «Научное обоснование и разработка экологически чистых безотходных технологий переработки природного и техногенного минерального сырья» (2022–2023 гг.).

Original article

Sorption Technology for the Treatment of Waste and Circulating Waters of Ash Dumps

Konstantin K. Razmakhnin¹, Alisa N. Khatkova²,
Lidia V. Shumilova³, Tatyana S. Nomokonova⁴

^{1,2,3,4}Transbaikal State University, Chita, Russia

¹constantin-const@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2944-7642>,

²alisa1965.65@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-6527-0026>,

³shumilovalv@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-5991-9204>,

⁴krutikova_1995@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0002-9096-864X>

Information about the article

Received 28 June, 2023

Approved after review
7 August, 2023

Accepted for publication
10 August, 2023

Keywords:

ash and slag waste, hydraulic ash dump, Chita CHPP-1, waste water, recycled water, pollutants, purification, sorption, natural zeolites, dynamic capacity

The purpose of the research is to assess the possibility of effective treatment of waste and recycled water from the ash dump by sorption methods. The objectives of the study include the following: development of a scheme of a sorption plant with the sequential introduction of zeolite for the treatment of waste and recycled water from hydraulic ash dumps; development of a scheme for a continuous sorption plant using a zeolite sorbent for the treatment of waste and recycled water from hydraulic ash dumps; determination of the efficiency of waste and recycled water treatment through the use of sorption methods based on the use of natural zeolites. The results of studies on the possibility of using natural zeolites of the Shivyrtuiskoye deposit for the treatment of waste and recycled water from the Chita CHP-1 hydraulic ash dump from polluting components that have a negative impact on the environment are presented. The subject of the research is the technologies and materials that ensure the treatment of waste and circulating waters of the hydraulic ash dump. It has been revealed that the use of natural zeolites of the Shivyrtuiskoye deposit for the treatment of waste and recycled water from the ash dump is reasonable and effective. At the same time, the degree of purification from arsenic was 93.3 %, from fluorine – 97 %, lead – 87 %, manganese – 99.7 %. A scheme of a sorption plant with sequential introduction of zeolite has been developed. A scheme of a continuous sorption plant based on the use of natural zeolites as a sorbent has been developed. Experimental studies carried out in dynamic mode on the extraction of arsenic from waste and circulating waters of the hydraulic ash dump showed that natural zeolites have the necessary characteristics that allow the adsorbent to be used in industrial conditions for a long time while maintaining sufficiently high sorption capacities. It has been established that natural zeolites are an effective material for the purification of waste and recycled water from arsenic. The advantage of using zeolites in the processes of ion-exchange and sorption purification of waste and circulating water is the possibility of implementing ion-exchange and sorption processes in a dynamic mode, high sorption selectivity and ease of instrumentation.

Acknowledgment: The work was carried out within the framework of the implementation of the RNF 22-17-00040 project “Scientific sub-stantiation and development of environmentally friendly waste-free technologies for processing natural and man-made mineral raw materials” (2022–2023).

Введение. В связи с широкой индустриализацией, в частности, развития горнопромышленного производства, сельского хозяйства, инфраструктуры городов и посёлков образуются большие массы стоков, загрязнённых различными примесями [8; 13]. При этом стоки тепловых станций и золоотвалов являются одним из наиболее масштабных загрязнителей окружающей среды, что определяет необходимость их очистки от содержащихся в них загрязняющих компонентов до уровня ПДК [10; 14]. Вместе с тем, организация оборотного водоснабжения тепловых электростанций

позволяет в значительной степени сократить расход воды за счёт вовлечения в производственный процесс осветлённых вод из золоотвалов. Обратные воды из золоотвалов для их эффективного и безопасного применения также требуют очистки [2; 10].

В этой связи, возникает необходимость разработки технологий и материалов для обеспечения максимального извлечения загрязняющих веществ из сточных и оборотных вод золоотвалов.

Актуальность темы исследования. К наиболее распространённым технологиям

очистки сточных и оборотных вод можно отнести механические, сорбционные, фильтрационные, химические, физико-химические, электрохимические, электроразрядные, биологические и др. [1; 9]. В случае присутствия в сточных водах золоотвалов весьма вредных веществ, могут применяться термические методы, позволяющие уничтожить данные примеси. При этом большей эффективностью и доступностью обладают сорбционные технологии с применением синтетических и природных адсорбентов, в частности, цеолитов, которые обеспечивают очистку, как от минеральных, так и от органических загрязняющих примесей [3; 8; 16]. Основные методы очистки сточных и оборотных вод ТЭЦ и гидрозолоотвалов представлены на рис. 1.

Необходимо отметить, что на территории Восточного Забайкалья сосредоточено до 70 % общероссийских запасов природных цеолитов, что определяет перспективу их широкого применения в природоохранных мероприятиях, в том числе, для очистки сточных и оборотных вод золоотвалов [2; 6; 11]. В этой связи проведены исследования по изучению возможности использования цеолитсодержащих пород Шивыртуйского месторождения для очистки сточных вод гидрозолоотвала

Читинской ТЭЦ-1 от загрязняющих компонентов сорбционным методом. Соответственно, **объектом исследований** являются сточные и оборотные воды гидрозолоотвала Читинской ТЭЦ-1. **Предметом исследований** являются технологии и материалы, обеспечивающие очистку сточных и оборотных вод гидрозолоотвала.

Золошлаковые отходы Читинской ТЭЦ-1 представлены агрегатами слипшихся частиц дегидротезированного глинистого сланца, и содержат частицы кварца, полевых шпатов и аморфные карбонаты кальция.

Выполненная авторами [1; 5] комплексная микробиологическая и санитарно-химическая оценка исходного состава сточных вод ТЭЦ и прилегающих к гидрозолоотвалу Читинской ТЭЦ-1 поверхностных вод, позволила выявить входящие в их состав основные загрязняющие вещества. Следует отметить, что состав золошлаковых отходов данной теплоэлектростанции, влияющий на содержание и концентрацию веществ в сточных и оборотных водах, характеризуется существенным разнообразием компонентов, обусловленным широким спектром сжигаемых на ней углей, включающим наиболее крупные месторождения Забайкальского края [4].

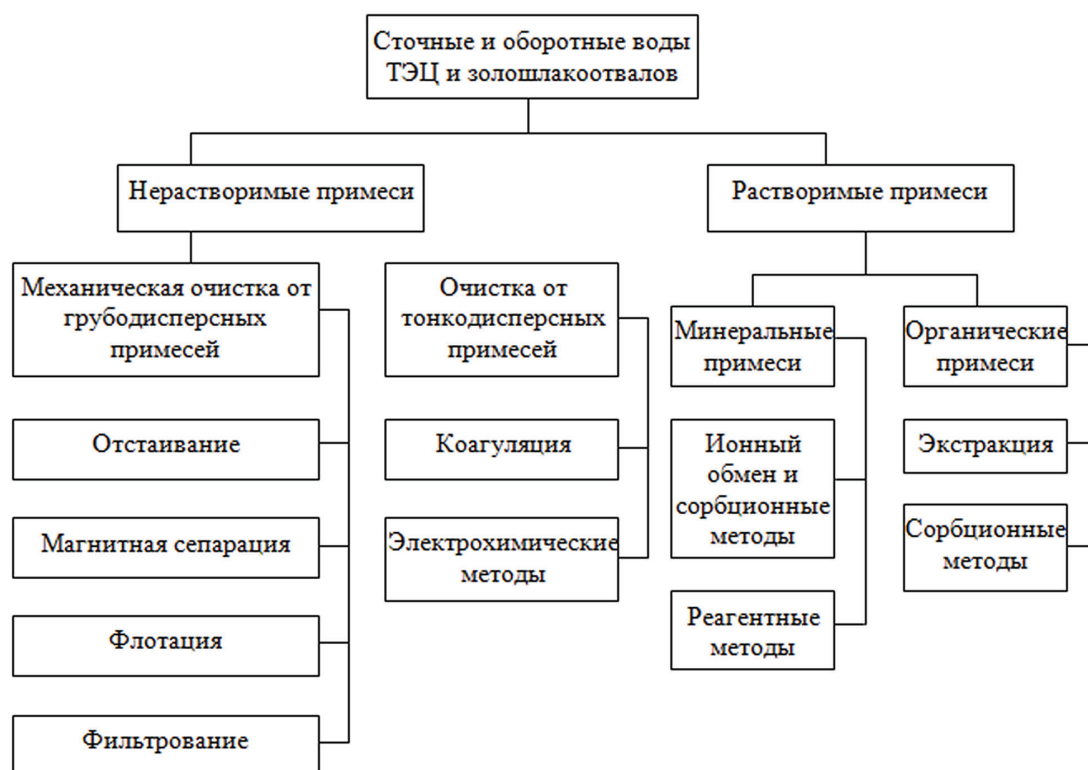


Рис. 1. Методы очистки сточных и оборотных вод ТЭЦ и гидрозолоотвалов / **Fig. 1.** Treatment methods for waste and recycled water from thermal power plants and hydraulic ash dumps

В результате проведённых исследований установлено, что сточные воды гидрозооловала Читинской ТЭЦ-1 не соответствуют требованиям действующих гигиенических нормативов по таким показателям как мышьяк, свинец, никель, фтор, марганец, сульфаты, а также по рН [1; 7]. Кроме того, фильтрация загрязнённой воды из золоотвала Читинской ТЭЦ-1 приводит к загрязнению оз. Кенон фтором и сульфатами [5]. С учётом полученных авторами результатов оценена перспектива применения цеолитсодержащих пород Шивыртуйского месторождения для очистки сточных вод гидрозооловала Читинской ТЭЦ-1 от основных загрязняющих компонентов.

Целью исследований является оценка возможности эффективной очистки сточных и оборотных вод золоотвала сорбционными методами.

К задачам исследования следует отнести следующие: разработка схемы сорбционной установки с последовательным введением цеолита для очистки сточных и оборотных вод гидрозоолоотвалов; разработка схемы непрерывной сорбционной установки с применением цеолитового сорбента для очистки сточных и оборотных вод гидрозоолоотвалов; определение эффективности очистки сточных и оборотных вод посредством применения сорбционных методов, основанных на использовании природных цеолитов.

Методология и методы исследования. Информационный анализ, патентный

поиск, оценка существующих научных разработок в области очистки сточных и оборотных вод гидрозоолоотвалов ТЭЦ, определение физико-химических свойств природных цеолитов, методы проведения теоретических и экспериментальных исследований с использованием экспериментальных лабораторных методов исследования сорбционных характеристик цеолитов по отношению к химическим компонентам, содержащимся в сточных и оборотных водах гидрозоолоотвалов, адсорбционной ёмкости цеолитов, методов контроля химического состава сточных и оборотных вод, количественного определения загрязняющих примесей в сточных и оборотных водах.

Разработанность темы. При наличии некоторой сложившейся практики очистки сточных и оборотных вод гидрозоолоотвалов ТЭЦ с применением различных технологий, использование сорбентов, в том числе, природных цеолитов изучено в недостаточной степени [12–14]. Отсутствуют данные о возможности сорбции загрязняющих компонентов из сточных и оборотных вод гидрозоолоотвалов, влияющих на эффективность работы теплоэлектростанций и оказывающих негативное воздействие на окружающую среду [15–17].

Результаты исследования. Сравнительная оценка эффективности применения цеолитов Шивыртуйского месторождения и месторождения Западное (Иран) для очистки сточных вод гидрозоолоотвала Читинской ТЭЦ-1 приведена в табл. 1.

Таблица 1 / Table 1

Сравнительная оценка эффективности применения природных цеолитов для очистки сточных вод гидрозоолоотвала Читинской ТЭЦ-1 / Comparative evaluation of the effectiveness of the use of natural zeolites for the treatment of wastewater from the hydraulic ash dump of the Chita CHPP-1

№ п/п	Параметры сорбента / Sorbent parameters	Определяемые показатели, (нормативы не более), мг/дм ³ / Determined indicators, (standards no more), mg/dm ³						
		Фтор / Fluorine, (1,5)	Цинк / Zinc, (1,0)	Свинец / Lead, (0,03)	Никель / Nickel, (0,1)	Мышьяк / Arsenic, (0,05)	Хром / Chromium, (0,05)	Взвешенные вещества / Suspended solids
1	Цеолит месторождения Западное (2 мм) / Zeolite deposit Zapadnoe (2 mm)	1,38	0,025	0,028	0,03	0,03	0,005	0,2
2	Цеолит месторождения Западное (1 мм) / Zeolite deposit Zapadnoe (1 mm)	1,35	0,016	0,025	0,03	0,026	0,0018	0,2
3	Цеолит месторождения Западное (0,5 мм) / Zeolite deposit Zapadnoe (0,5 mm)	1,33	-	0,023	0,03	0,022	0,0012	0,2

Окончание табл. 1 / End the table 1

№ п/п	Параметры сорбента / Sorbent parameters	Определяемые показатели, (нормативы не более), мг/дм ³ / Determined indicators, (standards no more), mg/dm ³						Взвешенные вещества / Suspended solids
		Фтор / Fluorine, (1,5)	Цинк / Zinc, (1,0)	Свинец / Lead, (0,03)	Никель / Nickel, (0,1)	Мышьяк / Arsenic, (0,05)	Хром / Chromium, (0,05)	
4	Цеолит месторождения Западное (0,1–0,3 мм) / Zeolite deposit Zapadnoe (0,1–0,3 mm)	1,26	-	0,022	0,02	0,03	0,0011	0,2
5	Цеолит месторождения Шивыртуйское (2 мм) / Zeolite deposit Shivyrtuyskoye (2 mm)	1,32	0,022	0,016	-	0,038	0,003	-
6	Цеолит месторождения Шивыртуйское (1 мм) / Zeolite deposit Shivyrtuyskoye (1 mm)	-	-	-	-	-	0,003	-
7	Цеолит месторождения Шивыртуйское (0,5 мм) / Zeolite deposit Shivyrtuyskoye (0,5 mm)	-	-	-	-	-	0,002	-
8	Цеолит месторождения Шивыртуйское (0,1–0,3 мм) / Zeolite deposit Shivyrtuyskoye (0,1–0,3 mm)	-	-	0,011	-	-	0,0041	-

Результаты исследований показали, что применение природных цеолитов Шивыртуйского месторождения для очистки сточных и оборотных вод золоотвала является обоснованным и эффективным. При этом степень очистки от As составила 93,3 %, от фтора – 97 %, свинца – 87 %, марганца – 99,7 %.

Установлено, что эффективность применения природных цеолитов для очистки сточных и оборотных вод гидрозолоотвала обусловлена высокой степенью взаимодействия с органическими веществами (доступность для больших и сложных молекул загрязня-

ющих веществ), возможностью ионообмена, достаточным размером пор (эффективный радиус адсорбционных пор 0,8–5 нм), селективностью и малой удерживающей способностью при регенерации сорбента.

На основании полученных результатов исследований, подтверждающих эффективность применения цеолитосодержащих пород Шивыртуйского месторождения в технологиях очистки сточных и оборотных вод золоотвалов, разработана схема (рис. 2) адсорбционной установки с последовательным введением адсорбента (цеолита).

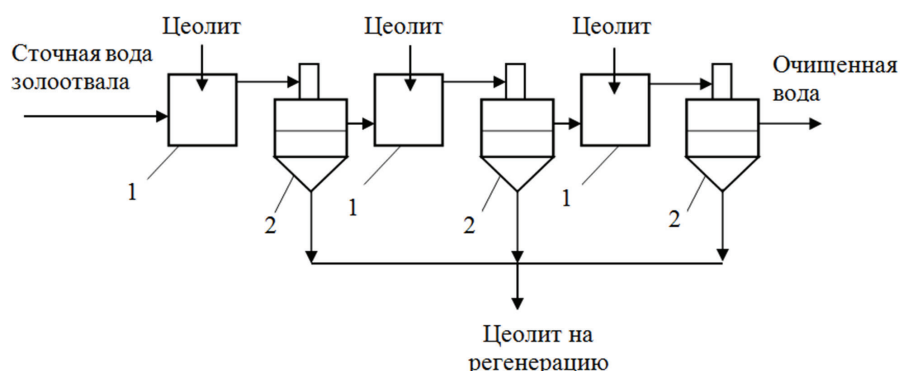


Рис. 2. Схема сорбционной установки с последовательным введением цеолита (1 – ёмкость для смешения цеолита с водой; 2 – отстойник) / **Fig. 2.** Scheme of a sorption plant with sequential introduction of zeolite (1 – container for mixing zeolite with water; 2 – settling tank)

Процесс очистки воды на данной установке необходимо вести в несколько этапов при интенсивном смешивании цеолита с водой, что осуществляется за счёт встроенных в ёмкость мешалок.

Экономическая эффективность применения разработанной схемы очистки сточных и оборотных вод золоотвала Читинской ТЭЦ-1 обуславливается использованием доступного и дешевого адсорбционного материала (природных цеолитов). Многоступенчатость процесса очистки обеспечивает высокую степень удаления из воды загрязняющих веществ и существенно снижает расход адсорбентов (цеолитов). При этом в первой стадии очистки в ёмкость вводят такое количество цеолита, которое необходимо для снижения концентрации загрязнений до определённых необходимых параметров, затем производится отделение адсорбента путём отстаивания, либо фильтрования, с дальнейшим направлением воды на вторую стадию, куда добавляется свежий цеолит. При необходимости воду направляют на третью стадию очистки, аналогичную второй.

В динамических условиях процесс очистки сточных и оборотных вод гидрозолоотвала следует проводить при фильтровании через слой цеолита. Следует отметить, что скорость фильтрования, в основном, зависит от концентрации содержащихся в воде веществ, и составляет от 2 до 5 м³/(м²•ч). При этом вода в ёмкости для фильтрования (сорбционной колонне) движется снизу вверх, заполняя весь объём. Важное значение в данном случае имеет крупность цеолитов. Установлено, что наиболее эффективной является крупность 2–5 мм, при крупности менее 2 мм существенно возрастает сопро-

тивление фильтрованию воды, что обуславливает значительное снижение показателя степени её очистки. При непрерывном процессе очистки сточных и оборотных вод гидрозолоотвала необходимо использовать несколько сорбционных колонн. В этой связи была разработана схема непрерывной сорбционной установки с применением в качестве адсорбента природных цеолитов (рис. 3).

Согласно представленной на рис. 3 схеме непрерывной сорбционной установки в последовательной работе находятся первые две колонны, третья колонна необходима для регенерации. После насыщения сорбента во второй сорбционной колонне на регенерацию следует направлять сорбент, содержащийся в первой колонне.

Проведённые экспериментальные исследования по извлечению мышьяка из сточных и оборотных вод гидрозолоотвала показали, что природные цеолиты обладают необходимыми характеристиками, позволяющими эксплуатировать адсорбент в промышленных условиях в течение длительного времени при сохранении достаточно высоких сорбционных способностей. Исследования проводились в динамическом режиме, результаты представлены в табл. 2.

Результаты проведённых исследований свидетельствуют о том, что величины рабочей и полной динамической ёмкостей природных цеолитов Западного месторождения не значительно выше данных показателей цеолитов Шивыртуйского месторождения. При этом сорбционные характеристики цеолитов в первом и двадцатом циклах отличаются между собой незначительно, сорбенты работают стабильно и эффективно.

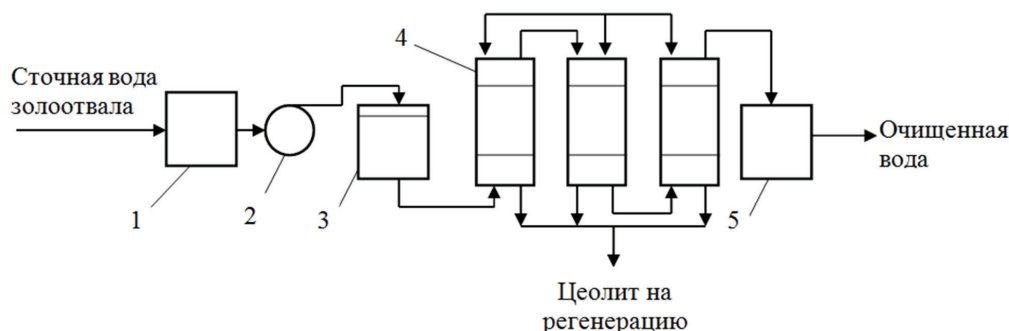


Рис. 3. Схема непрерывной сорбционной установки (1 – ёмкость для усреднения воды; 2 – центробежный насос; 3 – фильтр; 4 – сорбционная колонна; 5 – ёмкость для очищенной воды) / **Fig. 3.** Scheme of a continuous sorption plant (1 – tank for averaging water; 2 – centrifugal pump; 3 – filter; 4 – sorption column; 5 – tank for purified water)

Таблица 2 / Table 2

Результаты сорбции мышьяка природными цеолитами в динамических условиях / Results of arsenic sorption by natural zeolites under dynamic conditions

Цеолиты / Zeolites	Объём очищенной воды до проскока, уд. объёмы Volume of treated water before breakthrough, sp. volumes	Остаточная концентрация As в фильтрате, мг/л / Residual As concentration in the filtrate, mg/l	Объём воды, пропущенной до полного насыщения цеолита, уд. объёмы / The volume of water passed until the zeolite is completely saturated, sp. volumes	РДЕ, мг/г (до проскока / RDE, mg/g (before breakthrough)	ПДЕ, мг/г / PDE, mg/g
Шивыртуйское месторождение / Shivyrtuyskoye deposit	25	0,038	300	11	82
Западное месторождение / Zapadnoe deposit	25	0,022	300	11,5	83

Остаточное количество мышьяка в воде после очистки достигает предельно-допустимых концентраций. В этой связи, основываясь на результатах проведённых исследований, можно сделать вывод о том, что природные цеолиты являются эффективным материалом для очистки сточных и оборотных вод от мышьяка.

Следует отметить, что посредством ионного обмена, обеспечиваемого применением цеолитов, происходит очистка оборотных вод гидрозолоотвала, поступающих на ТЭЦ, что в свою очередь предотвращает образование накипи и коррозии. Кроме того, происходят потери воды за счёт испарения и фильтрации сквозь стенки и дно золоотвала, что приводит к существенному увеличению концентрации микропримесей и повышению степени минерализации, при которых использование оборотной воды становится нецелесообразным. В этой связи требуется производить очистку оборотных вод путём ионного обмена, обеспечиваемого природными цеолитами. Данный метод в последнее время получает всё большее распространение, так как позволяет эффективно очищать воду до предельно допустимых концентраций и обеспечивать возможность использования очищенной оборотной воды в производственных нуждах теплостанций, в частности, в системе оборотного водоснабжения. Посредством очистки сточных и оборотных вод цеолитами приводит к изменению физико-химического состава воды в системах оборотного водоснабжения, которое характеризуется постепенным накоплением сравнительно нейтральных примесей. Однако концентрация данных примесей со временем изменяется

незначительно, что определяет рациональность и достаточность применения ионообменной и сорбционной очистки, основанной на использовании природных цеолитов. Вместе с тем, требуется учитывать необходимость предварительной очистки воды от твёрдых взвешенных примесей.

Ионный обмен, реализуемый посредством применения природных цеолитов для более эффективной очистки оборотных и сточных вод может применяться в комплексе с Н-катионированием и ОН-анионированием. Трёхступенчатая очистка используется при наличии высоких концентраций веществ, способных к активным реакциям. Такой подход позволяет в значительной степени избежать излишних циклов регенерации цеолитов, характеризуя предлагаемую технологию как экологически надёжную, которая предполагает существенное снижение негативного воздействия сточных и оборотных вод на окружающую среду. Кроме того, с применением данных методов очистки достигается требуемое высокое качество воды для использования в технологических целях ТЭЦ, а также сброса в водоёмы с минимальными затратами. Преимуществом использования природных цеолитов в процессах ионообменной и сорбционной очистки сточных и оборотных вод является возможность осуществления процессов ионообмена и сорбции в динамическом режиме в том числе сверхскоростном, а также высокая сорбционная избирательность и простота аппаратного оформления.

Выводы. Таким образом, для очистки сточных и оборотных вод гидрозолоотвалов от неорганических и органических примесей возможно применение природных цеолитов

Шивиртуйского месторождения. При этом сорбционная очистка вод может проводиться в комплексе с ультрафильтрацией, реагентным осаждением, центрифугированием (для грубодисперсных частиц) и электрическими методами осаждения (для мелкодисперсных частиц). Вместе с тем, создание и установка на предприятиях теплоэнергетики установок для сорбционной очистки вод позволяет решить три крайне важные задачи: минимизировать попадание вредных загрязняющих веществ в поверхностные водоёмы, в значительной степени сократить расход потребляемой воды, организовать обратное водоснабжение.

Список литературы

1. Батухтин А. Г., Хатькова А. Н., Кобылкин М. В., Риккер Ю. О. Проблемы подавления газовых выбросов угольных ТЭС: монография. Чита: ЗабГУ, 2021. 308 с.
2. Бесполитов Д. В., Коновалова Н. А., Дабижа О. Н., Панков П. П., Руш Е. А. Влияние механоактивации золы уноса на прочность грунтобетонов на основе отходов производства // Экология и промышленность России. Сибирское отделение РАН. 2021. № 11. С. 36–41. DOI: 10.18412/1816-0395-2021-11-36-41.
3. Власова В. В., Артемова О. С., Фомина Е. Ю. Определение направлений эффективного использования отходов ТЭС // Экология и промышленность России. 2017. Т. 21, № 11. С. 36–41. DOI: 10.18412/1816-0395-2017-11-36-41.
4. Куклина Г. Л., Мязин В. П., Сверкунова Т. П., Метелев В. А. Комплексная геолого-технологическая переоценка качества ископаемых углей Восточного Забайкалья и перспективы их многоцелевого использования // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2004. № 2. С. 321–330.
5. Мязин В. П., Мязина В. И., Размахнин К. К., Шумилова Л. В. Исследования техногенных образований ТЭК Забайкалья как сложных геосистем и нетрадиционных источников минерального сырья // Кулагинские чтения: техника и технологии производственных процессов: в 3 ч. Чита: ЗабГУ, 2017. Ч. 1. С. 152–159.
6. Размахнин К. К. Обоснование и разработка технологий обогащения и модификации цеолитсодержащих пород Восточного Забайкалья // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2021. № 3. С. 148–157.
7. Шаванов Н. Д., Коновалова Н. А., Панков П. П., Руш Е. А. Изучение состава и свойств золошлаковых смесей с целью их утилизации в строительной индустрии // Актуальные проблемы техносферной безопасности. Ульяновск: Ульяновский гос. техн. ун-т, 2022. С. 134–137.
8. Abit K. E., Carlsen L., Nurzhanova A. A., Nauryzbaev M. K. Activated carbons from miscanthus straw for cleaning water bodies in Kazakhstan // Eurasian ChemicoTechnological Journal. 2019. No. 21. P. 259–267. DOI: 10.18321/ectj867.
9. Barabanshchikov Y., Fedorenko I., Kostyrya S. Usanova K., Cold-Bonded Fly Ash Lightweight Aggregate Concretes with Low Thermal Transmittance // Review. Advances in Intelligent Systems and Computing. 2019. No. 983. P. 858–866. DOI: 10.1007/978-3-030-19868-8_84.
10. Dave J. M. Disposal of fly ash – an environmental problem // International Journal of Environmental Studies. 1986. Vol. 26, iss. 3. P. 191–215. DOI: 10.1080/00207238608710257.
11. Konovalova N. A., Pankov P. P., Petukhov V., Fediuk R., Amran Mugahed, Vatin N. I. Structural formation of soil concretes based on loam and fly ash, modified with a stabilizing polymer additive, Materials. 2022, Vol. 15, iss. 14. P. 48–93. DOI: 10.3390/ma15144893.
12. Ling Y., Wang K., Li W., Shi G., Lu P., Effect of slag on the mechanical properties and bond strength of fly ash – based engineered geopolymer composites // Compos. 2019. No. 164. P. 747–757. DOI:10.1016/j.compositesb.2019.01.092.
13. Marya Raji, Nadia Zari, Abou el Kacem Qaiss, Rachid Bouhfid. Chemical preparation and functionalization techniques of graphene and graphene oxide // Functionalized graphene nanocomposites and their derivatives. 2019. P. 1–20. DOI: 10.1016/b978-0-12-814548-7.00001-5.
14. Papurello D., Gandiglio M., Kafashan J., Lanzini A. Biogas purification: a comparison of adsorption performance in D4 siloxane removal between commercial activated carbons and waste wood-derived char using isotherm equations // Processes. 2019. Vol. 7, no. 10. P. 774–784. DOI: 10.3390/pr7100774.
15. Satpathy H. P., Patel S. K., Nayak A. N.. Development of sustainable lightweight concrete using fly ash cenosphere and sintered fly ash aggregate // Constr. Build. Mater. 2019. No. 202. P. 636–655. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2019.01.034.
16. Sözer H. Waste capacity and its environmental impact of a residential district during its life cycle / H. Sözer, H. Sözen // Energy Reports. 2020. Vol. 6. P. 286–296. DOI: 10.1016/j.egy.2020.01.008.
17. Sharonova O. M., Yumashev V. V., Solovyov L. A., Anshits A. G., The fine high-calcium fly ash as the basis of composite cementing material // Mag. Civ. Eng. 2019. No. 91. P. 60–72. DOI: 10.18720/MCE.91.6.

References

1. Batukhtin A. G., Khatkova A. N., Kobylkin M. V., Rikker Yu. O. Problems of suppression of gas emissions from coal-fired TPPs: a monograph. Chita: Transbaikal State University, 2021. (In Rus.)
2. Bespolitov D. V., Konovalova N. A., Dabizha O. N., Pankov P. P., Rush E. A. Influence of mechanoactivation of fly ash on the strength of ground concretes based on production waste. Ecology and Industry of Russia. Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences. 2021. DOI: 10.18412/1816-0395-2021-11-36-41. (In Rus.)
3. Vlasova V. V., Artemova O. S., Fomina E. Yu. Determination of directions for the efficient use of TPP waste. Ecology and Industry of Russia, vol. 21, no. 11, pp. 36–41, 2017. DOI: 10.18412/1816-0395-2017-11-36-41. (In Rus.)
4. Kuklina G. L., Myazin V. P., Sverkunova T. P., Metelev V. A. Complex geological and technological reassessment of the quality of fossil coals of Eastern Transbaikalia and prospects for their multipurpose use, no. 2, pp. 321–330, 2004. (In Rus.)
5. Myazin V. P., Myazina V. I., Razmakhnin K. K., Shumilova L. V. Studies of technogenic formations of the Transbaikal fuel and energy complex as complex geosystems and unconventional sources of mineral raw materials. Kulagin readings: technique and technologies of production processes: in 3 parts. Chita: Transbaikal State University, 2017. (In Rus.)
6. Razmakhnin K. K. Justification and development of technologies for enrichment and modification of zeolite-containing rocks of the Eastern Transbaikalia. Physico-technical problems of mineral development, no. 3, pp. 148–157, 2021. (In Rus.)
7. Shavanov N. D., Konovalova N. A., Pankov P. P., Rush E. A. Studying the composition and properties of ash and slag mixtures for the purpose of their utilization in the construction industry. Actual problems of technosphere safety. Ulyanovsk: Ulyanovsk State Technical University, 2022. (In Rus.)
8. Abit K. E., Carlsen L., Nurzhanova A. A., Naurzybaev M. K. Activated carbons from miscanthus straw for cleaning water bodies in Kazakhstan. Eurasian ChemicoTechnological Journal, no. 21, pp. 259–267, 2019. DOI: 10.18321/ectj867. (In Eng.)
9. Barabanshchikov Y., Fedorenko I., Kostyrya S., Usanova K., Cold-Bonded Fly Ash Lightweight Aggregate Concretes with Low Thermal Transmittance. Review. Advances in Intelligent Systems and Computing, no. 983, pp. 858–866, 2019. DOI: 10.1007/978-3-030-19868-8_84. (In Eng.)
10. Dave J. M. Disposal of fly ash – an environmental problem // International Journal of Environmental Studies, vol. 26, iss. 3, pp. 191–215, 1986. DOI: 10.1080/00207238608710257. (In Eng.)
11. Konovalova N. A., Pankov P. P., Petukhov V., Fediuk R., Amran Mugahed, Vatin N. I. Structural formation of soil concretes based on loam and fly ash, modified with a stabilizing polymer additive, Materials, vol. 15, iss. 14, pp. 48–93, 2022. DOI: 10.3390/ma15144893. (In Eng.)
12. Ling Y., Wang K., Li W., Shi G., Lu P., Effect of slag on the mechanical properties and bond strength of fly ash – based engineered geopolymer composites, Compos, no. 164, pp. 747–757, 2019. DOI:10.1016/j.compositesb.2019.01.092. (In Eng.)
13. Marya Raji, Nadia Zari, Abou el Kacem Qaiss, Rachid Bouhfid. Chemical preparation and functionalization techniques of graphene and graphene oxide. Functionalized graphene nanocomposites and their derivatives. 2019. DOI: 10.1016/b978-0-12-814548-7.00001-5. (In Eng.)
14. Papurello D., Gandiglio M., Kafashan J., Lanzini A. Biogas purification: a comparison of adsorption performance in D4 siloxane removal between commercial activated carbons and waste wood-derived char using isotherm equations. Processes, vol. 7, no. 10, pp. 774–784, 2019. DOI: 10.3390/pr7100774. (In Eng.)
15. Satpathy H. P., Patel S. K., Nayak A. N. Development of sustainable lightweight concrete using fly ash cenosphere and sintered fly ash aggregate, Constr. Build. Mater, no. 202, pp. 636–655, 2019. DOI:10.1016/j.conbuildmat.2019.01.034. (In Eng.)
16. Sözer H., Sözen H. Waste capacity and its environmental impact of a residential district during its life cycle. Energy Reports, vol. 6, pp. 286–296, 2020. DOI: 10.1016/j.egy.2020.01.008. (In Eng.)
17. Sharonova O. M., Yumashev V. V., Solovyov L. A., Anshits A. G. The fine high-calcium fly ash as the basis of composite cementing material. Mag. Civ. Eng, no. 91, pp. 60–72, 2019. DOI: 10.18720/MCE.91.6. (In Eng.)

Информация об авторах

Размахнин Константин Константинович, д-р техн. наук, доцент, профессор кафедры техносферной безопасности, Забайкальский государственный университет, г. Чита, Россия; constantin-const@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2944-7642>. Область научных интересов: обогащение полезных ископаемых, геоэкология, обращение с отходами.

Хаткова Алиса Николаевна, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры химии, Забайкальский государственный университет, г. Чита, Россия; alisa1965.65@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-6527-0026>. Область научных интересов: обогащение полезных ископаемых, геоэкология, обращение с отходами, химические технологии.

Шумилова Лидия Владимировна, д-р техн. наук, доцент, профессор кафедры водного хозяйства, экологической и промышленной безопасности, Забайкальский государственный университет, г. Чита, Россия; shumilovalv@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-5991-9204>. Область научных интересов: обогащение полезных ископаемых, геоэкология, обращение с отходами, экологическая безопасность.

Номоконова Татьяна Сергеевна, аспирант, Забайкальский государственный университет, г. Чита, Россия; krutikova_1995@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0002-9096-864X>. Область научных интересов: геоэкология, обращение с отходами, химические технологии.

Information about the authors

Razmakhnin Konstantin K., doctor of engineering sciences, associate professor, professor of the department of technosphere safety, Transbaikalian State University, Chita, Russia; constantin-const@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2944-7642>. Research interests: mineral processing, geoecology, waste management.

Khatkova Alisa N., doctor of engineering sciences, professor, professor of the department of chemistry, Transbaikalian State University, Chita, Russia; alisa1965.65@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-6527-0026>. Research interests: mineral processing, geoecology, waste management, chemical technologies.

Shumilova Lidiya V., doctor of engineering sciences, associate professor, professor of the department of water management, environmental and industrial safety, Transbaikalian State University, Chita, Russia; shumilovalv@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-5991-9204>. Research interests: mineral processing, geoecology, waste management, environmental safety.

Nomokonova Tatyana S., postgraduate, Transbaikalian State University, Chita, Russia; krutikova_1995@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0002-9096-864X>. Research interests: geoecology, waste management, chemical technologies.

Вклад авторов в статью

К. К. Размахнин – разработка методологии исследования, исследование возможности применения природных цеолитов Шивиртуйского месторождения для очистки сточных и оборотных вод гидрозолоотвала Читинской ТЭЦ-1 от загрязняющих компонентов, проведение сравнительной оценки эффективности применения природных цеолитов для очистки сточных вод гидрозолоотвала, проведение в динамическом режиме экспериментальных исследований по извлечению мышьяка из сточных и оборотных вод гидрозолоотвала.

А. Н. Хатькова – определение основных методов очистки сточных и оборотных вод ТЭЦ и гидрозолоотвалов, разработка схемы сорбционной установки с последовательным введением цеолита.

Л. В. Шумилова – разработка схемы непрерывной сорбционной установки на основе применения в качестве сорбента природных цеолитов.

Т. С. Номоконова – сбор материалов, библиографии, написание текста.

The authors' contribution to the article

K. K. Razmakhnin – development of research methodology, study of the possibility of using natural zeolites of the Shivyrtuiskoye deposit for the treatment of waste and recycled water from the hydroash disposal site of the Chita TPP-1 from polluting components, conducting a comparative assessment of the effectiveness of the use of natural zeolites for the treatment of wastewater from the hydroash disposal site, conducting dynamic experimental studies on extraction of arsenic from waste and recycled waters of the hydraulic ash dump.

A. N. Khatkova – determination of the main methods of treatment of waste and circulating waters of thermal power plants and hydraulic ash dumps, development of a scheme for a sorption plant with the sequential introduction of zeolite

L. V. Shumilova – development of a scheme of a continuous sorption plant based on the use of natural zeolites as a sorbent.

T. S. Nomokonova – collection of materials, bibliographies, text writing.

Для цитирования

Размахнин К. К., Хатькова А. Н., Шумилова Л. В., Номоконова Т. С. Сорбционная технология очистки сточных и оборотных вод золоотвалов // Вестник Забайкальского государственного университета. 2023. Т. 29, № 3. С. 35–44. DOI: 10.21209/2227-9245-2023-29-3-35-44.

For citation

Razmakhnin K. K., Khatkova A. N., Shumilova L. V., Nomokonova T. S. Sorption technology for the treatment of waste and circulating waters of ash dumps // Transbaikalian State University Journal. 2023. Vol. 29, no. 3. P. 35–44. DOI: 10.21209/2227-9245-2023-29-3-35-44.