

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.146.54>

**ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ВЫСОКОСЕЛЕКТИВНЫХ СОРБЕНТОВ В СИСТЕМАХ ОЧИСТКИ
КАРЬЕРНЫХ ВОД**

Научная статья

Дубровская О.Г.¹, Дубровская С.Д.², Бобрик А.Г.³, Ташбулатова О.^{4,*}, Самадов Н.С.⁵

¹ ORCID : 0000-0002-4285-7446;

² ORCID : 0009-0008-5208-074X;

³ ORCID : 0000-0001-7020-9924;

⁴ ORCID : 0009-0009-0867-8936;

⁵ ORCID : 0009-0007-9545-0045;

^{1, 2, 3, 4, 5} Сибирский федеральный университет, Красноярск, Российская Федерация

⁴ ООО "Полюс проект", Красноярск, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (tashbulatova.olya1999[at]mail.ru)

Аннотация

Изложены результаты исследования применения сорбентов на основе активированного угольного сырья в комплексных системах фильтрационно-сорбционной очистки больших объемов сточных карьерных, подотвальных, поверхностных вод, образующихся на предприятиях горно-обогатительного и угледобывающего комплексов. Целью исследования является разработка технологических предложений и технических решений модернизации классических прудов-отстойников, направленных на повышение эффективности очистки стока. Задачи исследования включают анализ существующих методов очистки, оценку эффективности сорбентов, и разработку оптимальных технологий для обработки водных систем на промышленных объектах. Эффективность очистки сточных (карьерных) вод предприятий горно-обогатительного и угледобывающего комплексов в стандартных сооружениях – зумпфах и прудах-отстойниках не отвечает требованиям к качеству очистки установленным российским экологическим законодательством и регулирующими нормативно-правовыми актами как для сброса в природные водоемы, так и для формирования оборотного водопользования. Использование специализированных высокоселективных сорбентов в фильтрующей дамбе или габрионных фильтрационных кассетах, размещенных в пруде-отстойнике, способствует эффективной очистке сточных вод от примесей, включая эмульгированные нефтепродукты, галогенопроизводные органические соединения, тяжелые металлы и их соединения, которые ранее не очищались.

Ключевые слова: сорбент, биосорбент, пруд-отстойник, габрионовые фильтрационные кассеты, фильтрующие массивы.

**PROSPECTS OF APPLICATION OF HIGHLY SELECTIVE SORBENTS IN QUARRY WATER TREATMENT
SYSTEMS**

Research article

Dubrovskaya O.G.¹, Dubrovskaya S.D.², Bobrik A.G.³, Tashbulatova O.^{4,*}, Samadov N.S.⁵

¹ ORCID : 0000-0002-4285-7446;

² ORCID : 0009-0008-5208-074X;

³ ORCID : 0000-0001-7020-9924;

⁴ ORCID : 0009-0009-0867-8936;

⁵ ORCID : 0009-0007-9545-0045;

^{1, 2, 3, 4, 5} Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russian Federation

⁴ LLC "POLYUS-PROEKT, Krasnoyarsk, Russian Federation

* Corresponding author (tashbulatova.olya1999[at]mail.ru)

Abstract

The results of research into the application of sorbents based on activated carbon raw materials in complex systems of filtration and sorption treatment of large volumes of wastewater quarry, sub-dump, surface water generated at enterprises of mining and processing and coal-mining complexes are presented. The aim of the study is to develop technological proposals and technical solutions for modernization of classical sediment ponds aimed at improving the efficiency of effluent treatment. The objectives of the study include analysing existing treatment methods, assessing the effectiveness of sorbents, and developing optimal technologies for the treatment of water systems at industrial facilities. Efficiency of treatment of waste (quarry) water of enterprises of mining and processing and coal mining complexes in standard facilities – sump and sediment ponds does not meet the requirements to the quality of treatment established by the Russian environmental legislation and regulatory legal acts as for discharge into natural water bodies, and for the formation of recycled water use. The use of specialized highly selective sorbents in a filter dam or gabion filter cassettes placed in a sediment pond contributes to effective treatment of wastewater from impurities, including emulsified petroleum products, halogen-derivative organic compounds, heavy metals and their compounds, which were not previously treated.

Keywords: sorbent, biosorbent, sediment pond, gabion filter cassettes, filter arrays.

Введение

Анализ литературных данных позволяет сделать вывод, что изучение применения высокоселективных сорбентов для очистки карьерных вод активно развивается только последние 5 лет и является перспективным направлением исследования. Как правило, все ранее проведенные исследования основаны на установлении селективности и эффективности собственно сорбционных загрузок, а компоновка сорбционно-фильтрационных массивов практически не освещена в научной литературе и современных публикациях. Так, в работах Е.Б. Стрельбицкой и А.П. Соломиной представлены методы очистки дренажно-сбросных вод и варианты использования определенных конструкций сорбционно-фильтрующих узлов в составе локальных очистных сооружений на гидромелиоративных системах Нечерноземной зоны Российской Федерации и их основные технические характеристики [1]. В научных работах Родькиной И.А. и Самарина Е.Н. изложены результаты исследований эффективности применения брусит-содержащих грунтов в качестве сорбционных фильтрующих барьеров по отношению к стронцию и сурьме, но также не рассматриваются целостные очистные сооружения для сбора и кондиционирования карьерных стоков [2]. В связи с малой изученностью эффективных методов очистки карьерных многокомпонентных стоков рассматриваемая тема исследования, направленная на решение экологических проблем регионов присутствия предприятий горно- и угледобывающих отраслей, является актуальной. Предложенные технические и технологические решения безусловно снижают угрозу для окружающей среды и здоровья человека, а также представляют собой современные подходы и технологии в этой области и указывают на перспективы использования высокоселективных сорбентов для улучшения процессов очистки сточных карьерных вод. Основной целью таких исследований является выявление потенциала применения высокоселективных сорбентов в качестве эффективного и экологически безопасного способа обработки карьерных вод [1], [2].

При очистке сточных карьерных вод, образующихся на предприятиях горно-обогатительного и угледобывающего комплексов, широко используются зумпфы и пруды-отстойники, которые не способны обеспечить требуемое качество очистки многокомпонентного стока (карьерная, шахтная, подотвальная, поверхностная вода) ни в соответствии с требованиями приказа Минсельхоза РФ № 552 от 13.12.2016 г., ни с требованиями СанПиН 2.1.3685-21, ни с требованиями к технической оборотной воде. Кроме того, исходя из обобщенного состава сточных (карьерных, шахтных, подотвальных) вод обогатительных комбинатов и угледобывающих предприятий, можно отметить следующие особенности:

1) неравномерность расхода сточных вод, обусловленная формированием карьерного стока как притоком подземных вод, так и смешением со сточными поверхностными (дождевыми и тальными) водами, зависящими от периода года и объемов выпадающих осадков;

2) нестабильные концентрации загрязняющих веществ, выявленные в период годового мониторинга, а именно диапазоны концентраций у ряда поллютантов, таких как взвешенные вещества, аммоний-ион, нитрат-ион, нитрит-ион, медь, марганец, мышьяк, молибден лежат в пределах от 0 до 10 ПДК установленных нормативов (согласно приказа Минсельхоза РФ №552 от 13.12.2016 г.);

3) высокая концентрация жесткости и минерализации воды сточных вод требуют точного контроля диапазона рН для эффективной очистки. Это также важно для выбора оборудования и установления режимов очистки с возможной коррекцией рН поэтапно (например, переход от щелочных режимов к кислотным и нейтрализации стока).

Из экономической перспективы, изменение текущей системы очистки многокомпонентного стока карьерных вод является необходимым для достижения нужных водных параметров для повторного использования или выпуска в водоемы с акцентом на рыбное хозяйство. Исследование предлагает оптимизировать стандартную систему перелива путем интеграции фильтрационного блока, включающего разделительные и фильтрационные элементы габриона, а также использование фильтрующих материалов с высокой сорбционной способностью. Использование габрионов в схеме очистки также является более экологически эффективным решением, благодаря естественным процессам фильтрации и депонированию избыточных частиц грунта и органических веществ [3].

Эффективным способом очистки для карьерных вод, характеризующихся значительными колебаниями концентраций химических загрязняющих веществ, значительным объемом образования, и высокими концентрациями взвешенных веществ является комплексный способ, сочетающий механическую очистку в отстойниках, с последующей доочисткой на сорбентах природного происхождения (шунгит, цеолит, угольные сорбенты и др.) [4]. В отстойниках осуществляется осаждение взвешенных веществ, под воздействием гравитационных сил, однако скорость осаждения мелкодисперсной фракции взвеси критично мала (менее 0,25 мм/с) и при прохождении потока воды с расчетными скоростями движения воды в карьерном канале 0,9-1,2 м/с происходит турбулентное движение частиц, являющееся мешающим фактором осаждения. Первично, данную проблему, возможно решить перенаправив поток карьерного стока с использованием следующих технологий:

- 1) через слой фильтрационно-сорбирующего материала;
- 2) посредством устройства каскада прудов-отстойников;
- 3) комбинация каскадного типа прудов отстойников с устройством габрионных перегородок.

Использование фильтрационно-сорбционных загрузок возможно в нескольких вариантах: в качестве загрузки на напорных и безнапорных фильтрах, в качестве наполнителя габрионных конструкций, в качестве ядра на фильтрующих дамбах. Конструктивные и технологические параметры очистных сооружений карьерных вод и способ использования сорбента определяется при проектировании очистных сооружений, исходя из природных условий расположения карьера, сорбционной емкости выбранного сорбента, объема образующихся карьерных вод и т.д. [5], [6].

Методы и принципы исследования

ООО «Центр Экологических Технологий» совместно с Испытательной лабораторией строительных материалов и химического анализа воды СФУ (ИЛ СМиХАВ СФУ) разработал Технологический регламент очистки сточных карьерных вод, который может быть тиражирован на аналогичные очистные сооружения угольных и горно-

добывающих предприятий путем внедрения и комбинации разных блоков очистки. В результате опытно-промышленных испытаний были внедрены сорбционные фильтрующие кассеты в систему очистки, что продемонстрировало высокую эффективность и подтвердило необходимость внедрения этапа сорбционно-фильтрационной очистки. Для обеспечения ламинарного движения стока в прудах-отстойниках было предложено разместить каскадное устройство на дне отстойника и настроить приемники для стабилизации скорости движения очищаемого стока и ускорения оседания взвешенных частиц.

Интеграция инженерных элементов каскадно-фильтровальных прудов-отстойников позволяет внедрить их в существующую конструкцию стандартного отстойника, обеспечивая эффективную очистку стока. В качестве технологического решения по компоновке схемы очистки карьерных вод предлагается каскадный пруд-отстойник с 2-х рядными габионными фильтрационными перегородками-разделителями между секциями пруда. Между рядами габионов располагается слой сорбционной загрузки [7], [8].

Предлагаемая модернизация технологической схемы пруда отстойника для очистки карьерных вод приведена на рисунке 1.

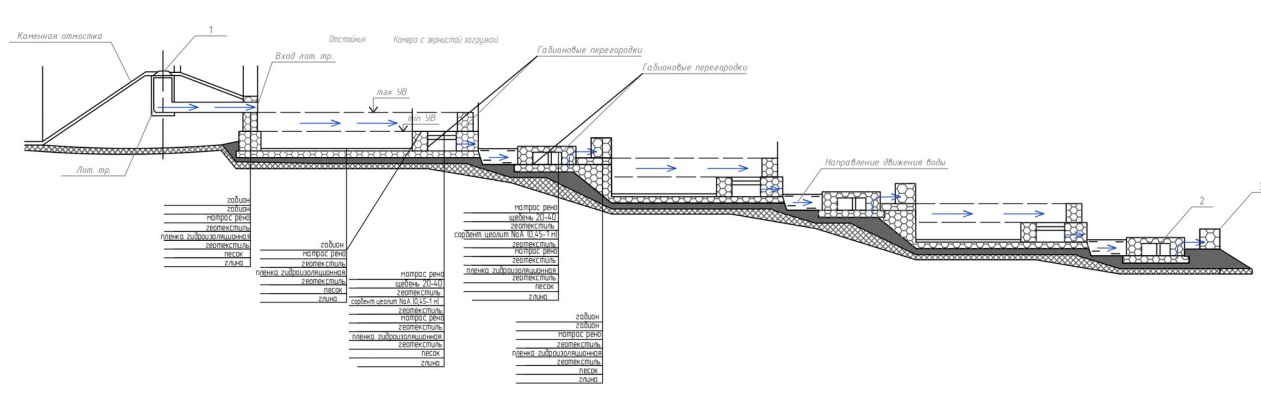


Рисунок 1 - Принципиальная схема каскадного пруда
 DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.146.54.1>

Примечание: 1 – водоприемный коллектор;

2 — дополнительная переливная камера;

3 – фильтровально-сорбционная кассета (блок-габион)

Использование каскадных структур в пруде-отстойнике способствует преобразованию потенциальной энергии гравитационного поля жидкости в кинетическую энергию ее движения. Перегородки, выполненные из габионов – сетчатых конструкций, заполненных сорбционными материалами – обеспечивают механическое фильтрование и очистку воды в данном технологическом сооружении. Конструкция с применением габионов, изготовленных из материалов Рено, демонстрирует высокую эффективность в удалении крупных загрязнений из воды для более глубокой очистки. Стоит отметить, что данная конструкция легко монтируется без необходимости создания фундамента. Габионы также способствуют снижению мутности и концентрации взвешенных веществ в воде, что в долгосрочной перспективе приводит к повышению качества воды. Кроме того, при строительстве пруда-отстойника с габионами снижается эрозия почвы благодаря стабилизации потока воды, который выходит из водосбросных лотков [9], [10].

Для габионных фильтровальных каскадов рекомендуется применять сорбционный материал торговой марки СТК-А, а секции механической очистки заполнить механической фильтрующей загрузкой возможно из керамзита, гравия, крупнозернистого песка (в последнем слое).

Основные результаты

Загрузки габионов рассмотрены как набор альтернативных сорбентов. По стандартным методикам определены технические характеристики угольных сорбентов, отраженные в таблице 1. Данные по эффективности очистки от ряда ионов металлов, а также данные по извлечению анионов сорбентами на основе активных углей получены из анализа лабораторных испытаний ИЛ СМиХАВ ФГАОУ ВО СФУ сходных по составу сточных карьерных вод и представлены в таблице 2. Обобщенные данные по сравнению сорбционных характеристик представлены на рисунке 2.

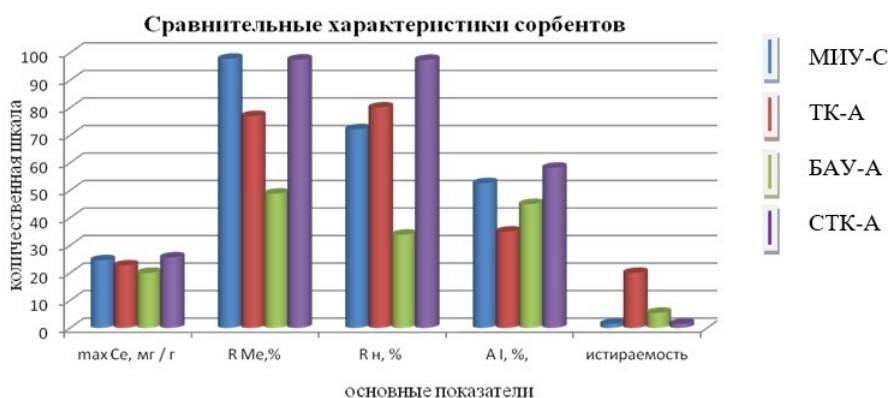


Рисунок 2 - Диаграмма сравнения эффективности сорбентов

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.146.54.2>

Таблица 1 - Сравнительный анализ технических характеристик сорбентов на различных основах активированных углей

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.146.54.3>

Наименование показателя, единицы измерения	Наименование НД на метод испытаний	Значение фактического Показателя			
		ТК-А (Сибуголь)	СТК-А	МИУ-С1	БАУ-А
Насыпная плотность, г/см ³	ГОСТ Р 55959	0,395	0,420	0,680	0,240
Фракционный состав: 3,0 и более мм 2,0- 3,0 мм 1,6-2,0, мм 1,0-1,6, мм 0,5-1,0 мм	ГОСТ 33624-2015	36,9	1,2	7,9	1,4
	ГОСТ 12536-2014	16,6	4,1	21,6	6,9
	ГОСТ 55961-2014	11,3	42,3	21,8	26,6
	ГОСТ 55961-2014	35,0	52,0	48,2	65,0
	ГОСТ 55961-2014	0,2	0,4	0,5	0,1
Истираемость, %	ГОСТ 16188-70	1,2	1,2	1,1	5,5

Межзерновая пористость	ГОСТ 8735-88	51,8	68,7	72,1	54,3
Влажность, %	ГОСТ 12597	4,85	0,5	9,4	10,0
Зольность, %	ГОСТ 12596	9,57	7,54	14,2	6,0
Адсорбционная активность по йоду, %	ГОСТ 33588-2015	49,92	56,1	53,5	55,8
Адсорбционная активность по мелассе, %	ГОСТ 33588-2015	23,0	31,7	24,1	21,8
Йодное число, мг/г	ГОСТ 33618-2015	486,6	551,2	560,2	580,1
Суммарный объем пор по воде, см ³ /г	ГОСТ 17219	0,58	0,67	0,65	0,60
Выход летучих веществ, %	ГОСТ 55660	8,72	4,24	8,75	8,70
*Влагонасыщение, % сут.		32,1	10,2	26,7	38,4

Таблица 2 - Сравнительная характеристика сорбционных загрузок

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.146.54.4>

Показатель	Торговая марка			
	МИУ-С1	ТК-А (Сибуголь)	БАУ-А	СТК-А(К)
1	2	3	4	5
Температура применения, °С	+4...+25	+4...+25	+4...+25	+4...+25
Сорбционная емкость (поглощающая способность) по Me, мг / г	17,50 – 24,6	15,79 – 22,7	12,98	17,52 – 25,6
Степень извлечения ионов металлов, %	98,1	77,4	48,8	97,5%
Cu	93,6	61,3	15,0	94,0
Fe	98,9	60,0	48,6	98,9
Pb	99,7	96,6	28,3	99,7
Mn	97,7	44,3	27,7	97,0
Ni	95,9	95,9	45,9	92,2
Cd	99,9	99,9	39,9	99,9
Co	99,9	99,9	39,9	99,9
Zn	96,9	61,8	25,7	96,9
Ca	96,4	58,2	60,4	96,9
Mg	96,4	58,2	60,4	96,9
Sr	89,4	83,4	79,4	86,4
As	87,2	82,2	67,2	87,2
Mo	97,8	92,4	72,8	97,8
Степень извлечения Анионов, %	64,3	33,75	62,38	65,25
Аммоний-ион	72,4	38,4	78,4	72,8

Нитрат-ион	56,2	36,2	49,1	57,3
Нитрит-ион	50,4	28,2	44,4	52,3
Сульфат-ион	78,2	32,2	77,6	78,6
Степень извлечения нефтепродуктов	72,2 %	80,1%	33,87%	97,4%

В ходе исследований было выяснено, что использование сорбента марки СТК-А является оптимальным для загрузки габионных фильтров. Этот сорбент сохраняет свои свойства при различных температурах воды, что подается на очистку. Эффективность угольного сорбента СТК-А остается высокой и составляет в среднем 90.16%, что является значимым фактором при работе открытых габионных фильтровально-сорбционных каскадов для очистки в сложных природно-климатических условиях.

Обсуждение

Использование фильтрационно-сорбционных загрузок возможно в нескольких вариантах: в качестве загрузки на напорных фильтрах (при системе доочистки), в качестве наполнителя каскадных конструкций в перепадных колодцах, в качестве ядра на фильтрующих дамбах. Конструктивные и технологические параметры очистных сооружений карьерных вод и способ использования сорбента определяется при проектировании очистных сооружений, исходя из природных условий расположения карьера, сорбционной емкости выбранного сорбента, объема образующихся карьерных вод и т.д. Регенерация сорбционных загрузок при больших объемах сточных карьерных вод нецелесообразна.

Замена фильтрационно-сорбционных блоков предусматривается по расчетному периоду эксплуатации от 2 до 5 лет, утилизация возможна на территории основного предприятия, тип утилизации – термическое разложение (первичный обжиг угольных сорбентов является стадией регенерации, сжигание сорбентов при температуре от 815 °С и без доступа кислорода приводит к полному озолению, с образованием минеральных отходов IV-V класса опасности по ФККО).

Выбор габионного фильтра с сорбционной загрузкой основан на ряде преимуществ, таких как: простота конструкции, монтажа и эксплуатации, оптимальное использование объема фильтра, экономичность и высокая эффективность очистки воды. Сорбент СТК-А обладает не только микро-, мезо- и макропорами, но и сетью капиллярных пор, что способствует увеличению площади развитой поверхности и увеличению сорбционной емкости материала.

Заключение

В результате проведенного исследования были разработаны технологические предложения по внедрению габионных фильтрационных перегородок и техническое решение по использованию сорбционной загрузки на основе сорбента СТК-А, направленные на модернизацию классических прудов-отстойников с целью повышения эффективности очистки стока.

Результаты исследования показали, что использование каскадного пруда-отстойника с габионными фильтрационными перегородками и сорбционной загрузкой на основе сорбента СТК-А позволяет удалить до 98% нефтепродуктов из карьерной воды. Этот метод является эффективным для оборотного водопользования на предприятиях горно-обогатительного и угледобывающего комплексов.

Модификация системы очистки с использованием габионных фильтрационных каскадов и каскадного фильтрования представляется обещающим подходом для улучшения экологической ситуации и снижения операционных расходов на предприятиях. Разрабатываемые варианты инженерной модернизации прудов-отстойников могут значительно снизить экологические риски и улучшить эксплуатационные показатели компаний.

Использование габионных фильтрационных перегородок и сорбционной загрузки на основе сорбента СТК-А может стать новым стандартом для промышленных предприятий, стремящихся к устойчивому развитию и соблюдению экологических норм.

Благодарности

Проект исследования поддержан Краевым фондом науки по теме 2020021006020 «Получение высокоэффективных биосорбентов на основе водоугольной суспензии».

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Мишкин Д.В., Тихоокеанский государственный университет, Хабаровск, Российская Федерация
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.146.54.5>

Acknowledgement

The research project is supported by the Regional Science Foundation under the theme 2020021006020 "Obtaining highly efficient biosorbents based on water-coal suspension".

Conflict of Interest

None declared.

Review

Mishkin D.V., Pacific State University, Khabarovsk, Russian Federation
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.146.54.5>

Список литературы / References

1. Родькина И. А. Создание сорбционных фильтрующих барьеров по отношению к стронцию и сурьме на основе брусит-содержащих грунтов: материалы VI Всероссийской научно-практической конференции «Потаповские чтения» / И. А. Родькина, Е. Н. Самарин. — 2021. — С. 123–128.
2. Стрельбицкая Е. Б. Сорбционно-фильтрующие сооружения в технологиях очистки дренажного стока гидромелиоративных систем нечерноземной зоны российской федерации / Е. Б. Стрельбицкая, А. П. Соломина // Природообустройство. — 2020. — Вып. 4. — С. 28–36.
3. Гимаева А.– Р. Сорбция ионов тяжелых металлов из воды активированными углеродными адсорбентами / А.– Р. Гимаева, Э.– Р. Валинурова, Д. К. Игдавлетова [и др.] // Сорбционные и хроматографические процессы. — 2011. — Т. 11. — Вып. 3. — С. 350–356.
4. Зыкова И. В. Адсорбция ионов меди керамической крошкой из бинарных и многокомпонентных растворов / И. В. Зыкова, И. В. Лысенко, В. П. Панов // Известия вузов. Химия и химическая технология. — 2004. — Т. 47. — № 9. — С. 151–167.
5. Цветкова А. Д. Исследование процесса адсорбции ионов меди на модифицированном диоксиде кремния / А. Д. Цветкова, О. П. Акаев // Вестник КГУ им. Н.А.Некрасова. — 2011. — № 2. — С. 27–30.
6. Дубровская О. Г. Получение высокоселективных сорбентов из отходов металлургической промышленности на основе кавитационной активации сорбционных центров / О. Г. Дубровская, А. Г. Бобрик, В. А. Кулагин [и др.] // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Техника и технологии. — 2022. — Т. 15. — № 1. — С. 35–44.
7. Dubrovskaya O. G. Creation of effective technology for cleaning industrial wastewater / O. G. Dubrovskaya, V. A. Kulagin, L. Yao // Borisov Readings : materials of the III All-Russian scientific and technical conference with international participation. — Krasnoyarsk, 2021. — P. 21–28.
8. Dubrovskaya O. G. Preparation of highly selective sorbents from metallurgical wastes based on cavitation activation of sorption centers / O. G. Dubrovskaya, A. G. Bobrik, M. A. Bobrik [et al.] // IOP Conference Series : materials Science and Engineering. 3, New Technologies and Targeted Development Priorities. Ce P. "International Scientific Conference "Investments. Construction. Real Estate: New Technologies and Targeted Development Priorities–2020"". — 2020. — P. 012005.
9. Dubrovskaya O. G. Development of closed systems of oil-field water treatment as a basis of ecological safety of oil deposits settlements maintenance / O. G. Dubrovskaya, D. I. Dubrovskiy, E. V. Zhmakov [et al.] // IOP Conference Series : materials Science and Engineering. 3, New Technologies and Targeted Development Priorities. Ce– P. "International Scientific Conference "Investments. Construction. Real Estate: New Technologies and Targeted Development Priorities–2020"". — 2020. — P. 012042.
10. Dubrovskaya O. G. The alternative method of conditioning industrial wastewater containing heavy metals based on the hydrothermodynamic cavitation technology / O. G. Dubrovskaya, V. A. Kulagin, Y. Limin // IOP Conference Series : materials Science and Engineering. Ce P. "International Scientific and Practical Conference "Modern Problems of Ecology, Transport and Agricultural Technologies"". — 2020. — P. 012009.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Rodkina I. A. Cozdanie sorbcionnyh fil'trujushhih bar'erov po otnosheniju k stronciju i sur'me na osnove brusit-soderzhashhih gruntov [Creation of sorption filter barriers in relation to strontium and antimony based on brucite-containing soils]: materials of the VI All-Russian Scientific and Practical Conference "Potapov Readings" / I. A. Rodkina, E. N. Samarin. — 2021. — P. 123–128. [in Russian]
2. Strelbitskaya E. B. Sorbcionno-fil'trujushhie sooruzhenija v tehnologijah ochistki drenazhnogo stoka gidromeliorativnyh sistem nechernozemnoj zony rossijskoj federacii [Sorption-filtering structures in technologies for cleaning drainage runoff of hydro-reclamation systems of the non-chernozem zone of the Russian Federation] / E. B. Strelbitskaya, A. P. Solomina // Prirodoobustrojstvo [Nature Engineering]. — 2020. — Issue 4. — P. 28–36. [in Russian]
3. Gimaeva A. R. Sorbcija ionov tjazhelyh metallov iz vody aktivirovannymi uglernodnymi adsorbentami [Sorption of heavy metal ions from water by activated carbon adsorbents] / A. R. Gimaeva, E. R. Valinurova, D. K. Igdavletova [et al.] // Sorbcionnye i hromatograficheskie processy [Sorption and chromatographic processes]. — 2011. — Vol. 11. — Issue 3. — P. 350–356. [in Russian]
4. Zykova I. V. Adsorbcija ionov medi keramicheskoj kroskkoj iz binarnyh i mnogokomponentnyh rastvorov [Adsorption of copper ions by ceramic crumbs from binary and multicomponent solutions] / I. V. Zykova, I. V. Lysenko, V. P. Panov // Izvestija vuzov. Himija i himicheskaja tehnologija [University News. Chemistry and Chemical Technology]. — 2004. — Vol. 47. — № 9. — P. 151–167. [in Russian]
5. Tsvetkova A. D. Issledovanie processa adsorbicii ionov medi na modifirovannom diokside kremnija [Study of the adsorption process of copper ions on modified silicon dioxide] / A. D. Tsvetkova, O. P. Akaev // Vestnik KGU im. N.A.Nekrasova [Bulletin of N.A.Nekrasov Kostroma State University]. — 2011. — № 2. — P. 27–30. [in Russian]
6. Dubrovskaya O. G. Poluchenie vysokoselektivnyh sorbentov iz othodov metallurgicheskoy promyshlennosti na osnove kavitacionnoj aktivacii sorbcionnyh centrov [Obtaining highly selective sorbents from metallurgical industry waste based on cavitation activation of sorption centers] / O. G. Dubrovskaya, A. G. Bobrik, V. A. Kulagin [et al.] // Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Serija: Tehnika i tehnologii [Journal of the Siberian Federal University. Engineering and Technologies Series]. — 2022. — Vol. 15. — № 1. — P. 35–44. [in Russian]
7. Dubrovskaya O. G. Creation of effective technology for cleaning industrial wastewater / O. G. Dubrovskaya, V. A. Kulagin, L. Yao // Borisov Readings : materials of the III All-Russian scientific and technical conference with international participation. — Krasnoyarsk, 2021. — P. 21–28.

8. Dubrovskaya O. G. Preparation of highly selective sorbents from metallurgical wastes based on cavitation activation of sorption centers / O. G. Dubrovskaya, A. G. Bobrik, M. A. Bobrik [et al.] // IOP Conference Series : materials Science and Engineering. 3, New Technologies and Targeted Development Priorities. Ce P. "International Scientific Conference "Investments. Construction. Real Estate: New Technologies and Targeted Development Priorities–2020"". — 2020. — P. 012005.

9. Dubrovskaya O. G. Development of closed systems of oil-field water treatment as a basis of ecological safety of oil deposits settlements maintenance / O. G. Dubrovskaya, D. I. Dubrovskiy, E. V. Zhmakov [et al.] // IOP Conference Series : materials Science and Engineering. 3, New Technologies and Targeted Development Priorities. Ce– P. "International Scientific Conference "Investments. Construction. Real Estate: New Technologies and Targeted Development Priorities–2020"". — 2020. — P. 012042.

10. Dubrovskaya O. G. The alternative method of conditioning industrial wastewater containing heavy metals based on the hydrothermodynamic cavitation technology / O. G. Dubrovskaya, V. A. Kulagin, Y. Limin // IOP Conference Series : materials Science and Engineering. Ce P. "International Scientific and Practical Conference "Modern Problems of Ecology, Transport and Agricultural Technologies"". — 2020. — P. 012009.