



Сорбционная очистка осадков сточных вод от тяжелых металлов

А.М. Назаров^{1*} , И.О. Туктарова¹ , А.А. Кулагин² , Л.Х. Арасланова¹ , В.А. Архипенко³ 

¹ ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»,
г. Уфа, Республика Башкортостан, Россия

² ФГБОУ ВО «Башкирский государственный педагогический университет им. М.Акумулы»,
г. Уфа, Республика Башкортостан, Россия

³ ООО «ЛУКОЙЛ-Уралнефтепродукт» г. Уфа, Республика Башкортостан, Россия

* **Контакты:** e-mail: nazarovam1501@gmail.com

РЕЗЮМЕ: Введение. Рост городов и развитие промышленных центров приводит к увеличению образования сточных вод (СВ) и, как следствие, осадков сточных вод (ОСВ), образующихся в результате очистки СВ. В настоящее время на территории России накоплены миллионы тонн ОСВ, содержащие различные загрязнители, в том числе тяжелые металлы (ТМ). Поэтому разработка методов очистки ОСВ от ТМ является актуальной задачей. Основными методами обработки, очистки и обеззараживания ОСВ являются высушивание, обезвоживание (с помощью вакуумных и термических методов). УФ- и СВЧ-облучение – эти способы достаточно дороги, эффективны в отношении патогенных микроорганизмов и практически не влияют на концентрацию ТМ. Известны реагентные методы очистки ОСВ с использованием СаО – негашеной извести, данный метод не особенно эффективен в отношении ТМ. Более эффективны гуминово-минеральные реагенты, полученные на основе измельченных каустобиолитов, при которых степень очистки от ТМ составляет 19–87%. **Методы и материалы.** Авторами ранее была показана эффективность очистки СВ от ТМ с помощью сорбентов на основе отходов доломита, кварцита, горно-обогатительных комбинатов (ГОК), в том числе модифицированных гуматами. В связи с этим был предложен метод очистки ОСВ от ТМ с применением трех типов сорбентов на основе: 1) отходов ТЭЦ – шлама водоподготовки (ШВП), содержащего СаСО₃ до 68% и гуминовые соединения до 12% – сорбент 1 (С1); 2) доломита – карбонаты Mg и Са в композиции с гуматом натрия (25%) – сорбент 2 (С2); 3) доломита с поверхностью, модифицированной гуматом (1%) слоем 200 нм – 50 мкм – сорбент 3 (С3). **Результаты и обсуждение.** В лабораторных экспериментах была исследована эффективность очистки ОСВ с помощью сорбента на основе доломита, модифицированного гуматом (1%). В полевых испытаниях изучено снижение концентрации ТМ в ОСВ при применении сорбентов на основе ШВП и комплексного сорбента доломит-гумат (75:25). Показано, что эффективность очистки ОСВ от ТМ возрастает в ряду: сорбенты на основе отходов ТЭЦ – шламов водоподготовки, содержащие СаСО₃ и гуматы (эффективность очистки E = 4,8–48,6% для высушенных и 29,3–53,3% для обезвоженных ОСВ) < сорбент на основе композиции доломита с гуматом (E = 65,1–92,1% для высушенных и 56,6–89,4% для обезвоженных ОСВ) < сорбент на основе доломита, модифицированный гуматом (E = 90,8–99,9%). **Выводы.** Максимальную эффективность очистки проявляет сорбент на основе доломита, покрытый нано- и микроразмерным слоем гумата натрия.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: очистка осадков сточных вод, сорбенты, тяжелые металлы, доломит, гуматы, шлам водоподготовки.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Назаров А.М., Туктарова И.О., Кулагин А.А., Арасланова Л.Х., Архипенко В.А. Сорбционная очистка осадков сточных вод от тяжелых металлов // Нанотехнологии в строительстве. – 2020. – Том 12, № 5. – С. 285–291. – DOI: 10.15828/2075-8545-2020-12-5-285-291.

ВВЕДЕНИЕ

С развитием городов и индустриальных центров растет объем хозяйственно-бытовых, промышленных и поверхностных сточных вод (СВ). Отходы, которые образуются после очистки стоков, пред-

ставляют собой негативный фактор антропогенного воздействия на окружающую среду, на население города.

На территории РФ в настоящее время накоплены миллионы тонн осадков сточных вод (ОСВ), большая часть которых размещается на иловых площадках

очистных сооружений, не оборудованных гидроизолирующей. Размещение ОСВ во многих случаях не соответствуют экологическим требованиям и принятым в мире стандартам. Накапливаясь возле очистных сооружений на иловых площадках, осадки являются загрязнителями близлежащих территорий, поверхностных и подземных вод. В связи с этим поиск эффективных способов очистки и последующей утилизации ОСВ на предприятиях водоканала и очистных сооружениях промышленных предприятий является актуальной проблемой.

ОСВ содержат значительные количества тяжелых металлов (ТМ), для удаления которых используются различные методы [1–8], в том числе адсорбционные [9–14].

Первичная обработка ОСВ направлена на уменьшение веса и объема, чтобы снизить затраты на утилизацию, а также на снижение потенциальных рисков для здоровья при утилизации.

Наиболее простым способом обезвоживания является подсушивание осадка на иловых площадках, где его влажность может быть уменьшена до 75–80%. Для механического обезвоживания осадков наиболее широкое применение нашли вакуум-фильтры.

К основным методам очистки ОСВ относятся термические методы, обработка УФ- и СВЧ-волнами, но они достаточно дороги и сложны в аппаратном оформлении, эффективны для обеззараживания патогенных микроорганизмов и не эффективны в отношении ТМ.

К реагентным методам относится обеззараживание осадка, основанное на обработке ила негашеной известью (CaO). Однако для обеззараживания требуются большие дозы (до 30%) и, кроме того, оно не эффективно в отношении ТМ [15].

Известно, что гуматы являются хорошими комплексообразователями ТМ, связывающими их в прочные устойчивые комплексы и переводя в неподвижные водонерастворимые формы [16–17].

Было показано [16], что для снижения концентрации ТМ в техногенно загрязненных почвах используют гуминово-минеральный реагент измельченных каустобиолитов, полученных путем перемешивания бурого или окисленного каменного угля с КОН или NaOH. Данный реагент содержит значительное количество гуминовых кислот, неочищенных от балластных примесей, содержащихся в природных каустобиолитах. Авторами [16] установлено, что в дозах 1–5% масс. по отношению к массе загрязненных ТМ почв (Zn, Mn, Sr, Ni, Co, Cu, Pb, Cd) гуминовый реагент снижает концентрацию ТМ, но недостаточно эффективно (табл. 1).

Известно, что на основе отходов ТЭЦ – шламов водоподготовки (ШВП) получают сорбенты, основным компонентом которых является CaCO₃. Такие сорбенты могут быть использованы для очистки СВ от нефтепродуктов и ТМ и, кроме того, в ШВП содержатся до 12% гуматов [18–19].

В наших работах [9, 10, 17, 20–22] было показано, что сорбенты на основе доломита, кварцита, отхо-

Таблица 1

Эффективность санации почв гуминово-минеральным реагентом

Наименование ТМ	Средняя концентрация ТМ в почве до санации, мг/кг	Средняя концентрация ТМ в почве после санации, мг/кг	Эффективность санации, %
Цинк	25	10,1	60
Марганец	7,7	6,24	19
Стронций	45,6	5,78	87
Никель	9,6	2,7	72
Кобальт	9,3	3,66	61
Хром	23,7	5,38	77
Медь	4,3	2,46	43
Свинец	34,8	9,32	73
Мышьяк	12	1,76	85
Ванадий	8,4	6,18	26
Сурьма	0,7	0,268	62
Олово	12,2	5,28	57
Кадмий	0,99	0,338	66

дов горно-обогатительных комбинатов (ГОК), в том числе с нанесенными на их поверхность гуматами нано- и микрогабаритным слоем, проявляют высокую эффективность при очистке сточных вод от ТМ.

Поэтому нами был предложен комплексный метод очистки ОСВ от ТМ с использованием сорбентов на основе доломита, гуматов, а также сорбентов на основе ШВП, содержащих CaCO_3 и гуминовые соединения.

МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

Объектом исследования являются ОСВ, представляющие собой твердую фракцию, образующуюся в результате процесса очистки сточных вод и состоящую из органических и минеральных веществ, в том числе ТМ в концентрациях, существенно превышающих предельно допустимые нормы.

В качестве материалов для приготовления сорбентов были использованы:

- ШВП, содержащий в основном CaCO_3 (до 68%) – сорбент 1 (С1);
- композиционный сорбент на основе доломита и гумата (25%) – сорбент 2 (С2);
- доломит с нанесенными на его поверхность гуматами нано- и микрогабаритным слоем (далее – модифицированный доломит) – сорбент 3 (С3).

Исследования химического состава сорбентов проводились рентгено-флуоресцентным методом анализа (РФА) на спектрометре VRA-30 и методом атомно-эмиссионной спектроскопии (АЭС) с индуктивно-связанной плазмой на спектрофотометре ICPE-9000 со спектральным диапазоном 167–800 нм и пределом обнаружения 1 мг/кг.

Сорбент С1 имеет следующий химический состав (%): SiO_2 – 0–4,9; $\text{Fe}(\text{OH})_3$ – 5,8–7,1; $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ – 3–9,5; CaCO_3 – 62,8–68,2; MgCO_3 – 3,9–6,6; органические вещества – 5,2–8,9.

Концентрация катионов ТМ составила (% масс.): Cu^{2+} – 0,04–0,014; Ni^{2+} – 0,008 ± 0,003; Zn^{2+} – 0,033–0,013; Mn^{2+} – 1,05–0,407; Cr^{3+} – 0,001 ± 0,0003; Pb^{2+} – 0,002 ± 0,0003; Cd^{2+} – 0,22 ± 0,08.

Доломит – осадочная карбонатная горная порода от белого до темно-серого цвета, преимущественно состоящая из породообразующего минерала класса карбонатов Ca и Mg. Использованный в работе доломит в виде доломитовой крошки (далее – ДК) являлся отходом производства предприятия, перерабатывающего природный доломит [23–24], химический состав которого представлен в табл. 2.

Лабораторные эксперименты проводились с использованием в качестве сорбента С3, который содержал 1% гумата натрия, нанесенного слоем толщиной 200 нм – 50 мкм [17]. На 100 г ОСВ добавляли 5 г сорбента, затем периодически активно перемешивали в течение 5 дней при комнатной температуре. В результате такой обработки концентрации всех исследуемых ТМ снизились до значений ниже ПДК в почве.

В качестве ОСВ использовались образцы осадков сточных вод МУП «Уфаводоканал», предварительно обезвоженные до влажности 27% при температуре ~150°C.

Определение концентраций ТМ осуществляли методом АЭС с индуктивно-связанной плазмой на спектрофотометре ICPE-9000.

Эффективность снижения концентрации ТМ в ОСВ рассчитывали по формуле:

Таблица 2

Химический состав доломита

№ п/п	Наименование компонента	Содержание компонента, % масс.	№ п/п	Наименование компонента	Содержание компонента, % масс.
1	CaO	29,2	10	As	<0,002
2	SiO_2	2,97	11	Pb	<0,005
3	Fe_2O_3	0,44	12	Mn	0,021
4	Al_2O_3	0,45	13	Co	<0,005
5	MgO	21,1	14	Cu	<0,005
6	K_2O	0,27	15	Mo	0,0022
7	Na_2O	0,041	16	Cd	<0,001
8	S	<0,005	17	Cr	<0,005
9	F	<0,1	18	Hg	<0,00001

$$E = (C_0 - C_1) / C_0 \cdot 100\%,$$

где C_0 и C_1 – значения концентраций ТМ в ОСВ до и после очистки ОСВ, соответственно.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Нами проведены исследования сорбционной очистки ОСВ от ТМ в лабораторных и полевых условиях с использованием различных видов сорбентов.

Результаты лабораторных экспериментов с использованием в качестве сорбента ОСВ сорбента С3 приведены в табл. 3.

Анализируя данные табл. 3, следует отметить высокую эффективность снижения концентрации ТМ в образцах ОСВ (существенно ниже ПДК для некоторых металлов более, чем в 200–600 раз), которая в основном составила 97–99,9%, лишь по Pb эффективность составила 90,8%.

С целью масштабирования эксперимента и максимального приближения условий его проведения к реальным условиям обработки ОСВ были проведены полевые испытания по снижению концентрации ТМ в ОСВ. Технологическая площадка имеет гидроизоляционное основание и по периметру обустроена дренажной канавой для улавливания стоков.

Полевые испытания проводились в несколько этапов:

- подготовка иловых и временных полевых площадок компостирования к принятию ОСВ;
- прием ОСВ (в качестве ОСВ использовались образцы осадков сточных вод МУП «Уфаводоканал» 2 типов: предварительно высушенные до влажности 36% при температуре 20–30°C (высушенные ОСВ) и предварительно обезвоженные до влаж-

ности 27% при температуре 150°C (обезвоженные ОСВ);

- буртование ОСВ;
- обработка ОСВ сорбентами С1 и С2 (в соотношении 5% к массе ОСВ): для перемешивания ОСВ с сорбентами применялись технические средства 3–4 раза в течение 4–5 дней на площадке 10×20 м²;
- отбор проб обработанных ОСВ и последующее определение в них концентраций ТМ методом АЭС (табл. 4).

Как видно из данных табл. 4, использование для очистки ОСВ сорбентов С1 снижает содержание Zn, Mn и Ni, однако повышает концентрации Fe и Ca и в целом не показывает высокую эффективность (4,8–48,6% для высушенных ОСВ и 29,3–53,3% для обезвоженных ОСВ). Повышение концентрации Fe и Ca происходит за счет их присутствия в шламе водоподготовки.

В табл. 5 приведены результаты полевых испытаний с использованием сорбента С2 соответственно.

Как следует из результатов табл. 5, эффективность очистки ОСВ с помощью сорбента С2 от Zn, Cu, Ni, Cd при комнатной температуре составляет 65,1–92,1% для высушенного осадка и 56,6–89,4% для обезвоженного осадка, для Pb и As – 24,7–44,4% и 52,0–30,8%, соответственно.

Таким образом, сравнивая результаты табл. 4 и 5, можно сделать вывод, что сорбенты на основе композиции доломита и гумата показывают более высокую эффективность по отношению к ОСВ, чем сорбенты на основе ШВП.

Анализируя сравнительную эффективность композиционного сорбента С2 и модифицированного сорбента С3, необходимо отметить, что при переходе от лабораторных экспериментов к полевым испытаниям происходит снижение эффективности

Таблица 3

Результаты лабораторных экспериментов и расчета эффективности снижения концентрации ТМ после обработки ОСВ сорбентом С3

Наименование ТМ	Концентрация ТМ в ОСВ до очистки, мг/кг	ПДК для ТМ в почве, мг/кг	Концентрация ТМ в ОСВ после очистки, мг/кг	Эффективность очистки (E, %)
Свинец	550	130,0	2,3 ± 0,7	90,1
Кадмий	4,32	2,0	0,11 ± 0,03	97,4
Цинк	1000	220	0,96 ± 0,29	99,9
Медь	226	132,0	0,22 ± 0,07	99,9
Хром	130	6	4,1 ± 1,2	96,8
Никель	205	80,0	1,5 ± 0,4	99,3
Мышьяк	2,7	2,0	0,032 ± 0,010	98,8

Таблица 4

Результаты полевых испытаний и расчета эффективности снижения концентрации ТМ после обработки ОСВ сорбентом С1

Наименование ТМ	Концентрация ТМ в ОСВ, мг/кг					
	Карта № 6 высушенных ОСВ		Эффективность (Е, %)	Карта №2 обезвоженных ОСВ		Эффективность (Е, %)
	до очистки	после очистки		до очистки	после очистки	
Медь	226 ± 57	215 ± 54	4,8	158 ± 40	108 ± 23	31,6
Цинк	1000 ± 250	630 ± 160	37,0	430 ± 110	304 ± 64	29,3
Железо	13900 ± 3500	18000 ± 5000	–	11985 ± 3020	–	–
Кальций	41000 ± 10000	34000 ± 9000	17,0	16000 ± 4000	41000 ± 10000	–
Марганец	560 ± 140	320 ± 80	42,8	300 ± 80	–	–
Никель	79 ± 20	60 ± 15	24,0	60 ± 15	28 ± 8	53,3
Кадмий	14,0 ± 3,5	7,2 ± 2,3	48,6	16,0 ± 4,0	10,0	37,5
Свинец	25,0 ± 6,2	14 ± 4,0	44,0	–	–	–

Таблица 5

Результаты полевых испытаний и расчета эффективности снижения концентрации ТМ после обработки ОСВ сорбентом С2

Наименование ТМ	Концентрация ТМ в ОСВ, мг/кг					
	Карта № 6 высушенных ОСВ		Эффективность (Е, %)	Карта №2 обезвоженных ОСВ		Эффективность (Е, %)
	до очистки	после очистки		до очистки	после очистки	
Медь	226 ± 57	79 ± 20	65,1	158 ± 40	38 ± 9,5	75,9
Цинк	1000 ± 250	114 ± 28	88,6	430 ± 108	125 ± 32	70,9
Никель	79 ± 20	23,3 ± 5,8	70,5	60 ± 15	26,1 ± 5,0	56,6
Кадмий	14 ± 4,2	1,1 ± 0,2	92,1	16 ± 4,0	1,7 ± 4,2	89,4
Свинец	89 ± 22	67 ± 16	24,7	14 ± 3,5	6,2 ± 1,6	52,0
Мышьяк	2,7 ± 0,7	1,5 ± 0,4	44,4	2,7 ± 6,7	1,7 ± 4,2	30,8

очистки ОСВ гуминовыми сорбентами, несмотря на то, что концентрация гумата в модифицированном сорбенте составила 1%, а в композиционном – 25% по отношению к доломиту. Возможно, это связано с менее эффективным перемешиванием сорбента С2 с ОСВ в полевых условиях. Относительная эффективность сорбентов в процессе очистки ОСВ от тяжелых металлов, таким образом, увеличивается в ряду: С1 < С2 < С3.

ВЫВОДЫ

Проведены лабораторные и полевые эксперименты по исследованию эффективности очистки ОСВ сорбентами на основе отходов ТЭЦ и гуминовыми сорбентами (на основе доломита и гуматов

натрия) от ряда тяжелых металлов – Cu, Zn, Ni, Cd, Pb, As, Cr.

Обнаружено, что эффективность очистки возрастает в ряду: сорбенты на основе отходов ТЭЦ – шлаков водоподготовки (содержащие CaCO₃ и гуматы – эффективность очистки Е = 4,8–48,6% для высушенных и 29,3–53,3% для обезвоженных ОСВ) < сорбент на основе композиции доломита с гуматом (25% гумата натрия, Е = 65,1–92,1% для высушенных и 56,6–89,4% для обезвоженных ОСВ) < сорбент на основе доломита, модифицированный гуматом (1%, слой 200 нм – 50 мкм, Е = 90,8–99,9%).

Таким образом, предложен метод очистки осадков сточных вод на предприятиях Водоканала, промышленных предприятиях, основанный на обработке гуминовыми сорбентами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белюченко И.С. Осадки сточных вод, их очистка и использование // Экологический вестник Северного Кавказа. – 2016. – 12 (1): 82–95.
2. Дмитриева Т.В. Виды осадков и современные способы очистки воды // Вектор геонаук. – 2018. – 1 (4): 42–47.
3. Новикова О.К. Обработка осадков сточных вод. – Гомель: БелГУТ, 2015. – 96 с.
4. Будыкина Т.А. Переработка осадков сточных вод. – М.: Креативная экономика, 2012. – 188 с.
5. Волков Д.А., Чириков А.Ю., Буравлев И.Ю., Юдаков А.А. Очистка многокомпонентных неорганических сточных вод от катионов Cu^{2+} , Zn^{2+} , Ni^{2+} , Cr^{3+} , Pb^{2+} и Fe^{2+} , включающая утилизацию осадка // Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук. – 2019. – 6 (208): 113–123. – DOI: [10.25808/08697698.2019.208.6.012](https://doi.org/10.25808/08697698.2019.208.6.012).
6. Балакирев В.Ф., Аксенов В.И., Ничкова И.И., Крымский В.В. Обработка агрессивных промышленных стоков. – Москва: РАН, 2019. – 115 с.
7. Решетов Н.Г., Олейник А.С. Проблемы очистки и утилизации осадков сточных вод // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. – 2001. – 1: 114–116.
8. Степанов Е.Г., Туктарова И.О., Маликова Т.Ш. Проблемы размещения промышленных отходов на полигонах в индустриальном городе // Нанотехнологии в строительстве. – 2017. – Том 9, № 2. – С. 103–118. – DOI: [10.15828/2075-8545-2017-9-2-103-118](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2017-9-2-103-118).
9. Araslanova L., Kuznetsova E., Tuktarova I. and Nazarov A. Development of oil product contaminated wastewater treatment technology using sorbents based on mining waste. International Conference on Efficient Production and Processing (ICEPP-2020), Prague, Czech Republic, Edited by Smyatskaya, J.; E3S Web of Conferences, Volume 161, id.01030 (2020). DOI: [10.1051/e3sconf/202016101030](https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016101030).
10. Арасланова Л.Х., Сальманова Э.Р., Соловьева Е.А., Ларькина А.А., Туктарова И.О., Назаров А.М. Исследование эффективности природных и модифицированных сорбентов для очистки сточных вод на основе отходов обработки слюдяных кварцитов // Нанотехнологии в строительстве. – 2019. – 11 (1): 106–116. – DOI: [10.15828/2075-8545-2019-11-1-106-116](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2019-11-1-106-116).
11. Жумамурат М.С., Ахметова А.Б. Выбор природных сорбентов для очистки сточных вод // Актуальные научные исследования в современном мире. – 2017. – 1-3 (21): 116–125.
12. Кахраманов Н.Т., Гаджиева Р.Ш.Г., Гулиев А.М., Агагусейнова М.М.Г. Состояние проблемы сорбционной очистки воды от тяжелых металлов // Вода: химия и экология. – 2013. – 6 (60): 40–52.
13. Малкин П. Очистка сточных вод от ионов тяжелых металлов с помощью наноактивированных комплексов природного цеолита и диатомита // Нанотехнологии в строительстве. – 2018. – 10 (2): 21–41. – DOI: [10.15828/2075-8545-2018-10-2-21-41](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2018-10-2-21-41).
14. Хлынина Н.Г., Алексейко И.С. Изучение сорбционных свойств сорбентов в статических условиях // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. – 2008. – 1: 92–99.
15. Щербаков В.И., Помогаева В.В., Сухов С.С. Известкование как способ обеззараживания осадка сточных вод // Российский инженер. – 2016. – 2 (5): 32–37.
16. Шульгин А.И., Шульгин А.А. Гуминово-минеральный реагент и способ его получения, способ санации загрязненных почв, способ детоксикации отходов добычи и переработки полезных ископаемых и рекультивации отвалов горных пород и хвостхранилищ, способ очистки сточных вод и способ утилизации осадков // Патент РФ 2233293. – 2004.
17. Назаров А.М., Латыпова Ф.М., Арасланова Л.Х., Сальманова Э.Р., Туктарова И.О. Исследование эффективности природных и модифицированных сорбентов для очистки промышленных сточных вод от ионов тяжелых металлов // Нанотехнологии в строительстве. – 2018. – 10 (5): 125–143. – DOI: [10.15828/2075-8545-2018-10-5-125-143](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2018-10-5-125-143).
18. Николаева Л.А., Исхакова (Недзвецкая) Р.Я. Очистка сточных вод промышленных предприятий на основе биосорбционной технологии // Теплоэнергетика. – 2012. – 3: 78–80.
19. Николаева Л.А., Шигабутдинова А.Ф. Ресурсосберегающая технология очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов шламом химводоочистки ТЭС // Энергосбережение и водоподготовка. – 2013. – 4: 13–15.
20. Арасланова Л.Х., Кузнецова Е., Туктарова И.О., Назаров А.М. Разработка технологии очистки загрязненных нефтепродуктами сточных вод с использованием сорбентов на основе отходов горного производства // Сборник материалов международной конференции по эффективному производству и переработке (ICEPP-2020). – Прага, 2020. – Т. 161. – <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016101030>.

21. Бикүлова В.Ж., Латыпова Ф.М., Мухаметдинова Л.Х. Адсорбционная очистка промышленных сточных вод от ионов цинка // Вода: химия и экология. – 2013. – 3: 37–39.

22. Salmanova E.R., Nazarov A.M., Tuktarova I.O. Receiving Composite Sorbents for Sewage Treatment on the Basis of Waste of Production and Processing of Micaceous Quartzite // Materials Engineering and Technologies for Production and Processing V. – 5th International Conference on Industrial Engineering (5th ICIE 2019). – Solid State Phenomena, 2020. – 299: 49–54. DOI: [10.4028/www.scientific.net/SSP.299.49](https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/SSP.299.49).

23. Калюкова Е.Н., Бузаева М.В., Климов Е.С. Сорбционные свойства природного сорбента доломита по отношению к катионам цинка // Башкирский химический журнал. – 2010. – 2: 139–141.

24. Нефедьева Т.А., Калюкова Е.Н., Благовещенская Н.В. Сравнение сорбционных свойств нативного и термически модифицированного доломита по отношению к катионам железа // Сорбционные и хроматографические процессы. – 2017. – 3: 429–435.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Назаров Алексей Михайлович, доктор химических наук, профессор кафедры «Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов», ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», г. Уфа, Республика Башкортостан, Россия, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1164-2573>, e-mail: nazarovam1501@gmail.com

Туктарова Ирэн Ольвертовна, кандидат технических наук, доцент, зав. кафедрой «Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов», ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», г. Уфа, Республика Башкортостан, Россия, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4731-1394>, e-mail: umrko@mail.ru

Кулагин Андрей Алексеевич, доктор биологических наук, профессор, зав. кафедрой «Экология, география и природопользование», ФГБОУ ВО «Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы», г. Уфа, Республика Башкортостан, Россия, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3107-1904>, e-mail: kulagin-aa@mail.ru

Арасланова Ляйсан Хадисовна, ассистент кафедры «Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов», ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», г. Уфа, Республика Башкортостан, Россия, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1273-0927>, e-mail: lyaysan-86@yandex.ru

Архипенко Василий Александрович, специалист 1-ой категории, ООО «ЛУКОЙЛ-Уралнефтепродукт», г. Уфа, Республика Башкортостан, Россия, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6354-5559>, e-mail: bacek-2308@ya.ru

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию: 07.09.2020.

Статья поступила в редакцию после рецензирования: 02.10.2020.

Статья принята к публикации: 03.10.2020.