DOI 10.15593/24111678/2017.04.05

УДК 625.7+628.33+661.3

**И.С. Глушанкова¹, Д.В. Докучаева²,
Е.В. Калинина¹, Е.Н. Демина¹**

¹Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Пермь, Россия

²Управление благоустройства Администрации
г. Березники, Березники, Россия

ПРИМЕНЕНИЕ СОРБЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА КАЛЬЦИНИРОВАННОЙ СОДЫ ДЛЯ ОЧИСТКИ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД С АВТОМАГИСТРАЛЕЙ

Исследуется проблема очистки поверхностных сточных вод с территорий автомагистралей и мостов, что особенно актуально для Пермского края, по территории которого протекает около 30 тысяч рек общей длиной свыше 90 тысяч км. Сброс загрязненных стоков в пределах водоохранных зон разрешается только после их очистки до установленных нормативов. Исследования химического состава ливневых сточных вод и снежного покрова вблизи автомобильных дорог с интенсивным движением выявили повышенное содержание взвешенных веществ, нефтепродуктов, полиароматических углеводородов, а также тяжелых металлов (свинца, меди, марганца, алюминия, никеля, цинка), что требует создания системы сбора и отвода сточных вод на очистные сооружения различного типа. Проведен анализ научно-технической информации по системам очистки поверхностных сточных вод. Установлено, что все очистные сооружения содержат сорбционные материалы, обеспечивающие глубокую очистку воды от нефтепродуктов и ионов тяжелых металлов, а также то, что качество очистки существенно зависит от выбора сорбционной загрузки. Наиболее сложно решается проблема очистки ливневых сточных вод от ионов тяжелых металлов. Экономически целесообразно для этих целей использовать отходы производств.

В статье показана возможность использования для очистки сточных вод модифицированных сорбентов на основе отхода АО «Березниковский содовый завод» – шлама содового производства, содержащего 60–65 % карбоната кальция. Получены гранулированные материалы с использованием связующего – силиката натрия, исследованы их сорбционные свойства по отношению к ионам меди (II) и цинка (II), а также механическая прочность. Полученные сорбционные материалы можно рекомендовать для использования в сооружениях очистки поверхностных вод с автодорог и мостов в пределах водоохранных зон.

Ключевые слова: поверхностные сточные воды с автодорог, тяжелые металлы, шлам содового производства, карбонат кальция, сорбенты, сорбционная емкость.

**I.S. Glushankova¹, D.V. Dokuchaeva²,
E.V. Kalinina¹, E.N. Demina¹**

¹Perm National Research Polytechnic University,
Perm, Russian Federation

²Management of an Accomplishment of Administration
of Berezniki, Berezniki, Russian Federation

THE APPLICATION OF SORPTION MATERIALS BASED ON SODA ASH WASTE FOR PURIFICATION OF SURFACE WASTEWATER FROM HIGHWAYS

In the paper the problem of purification of surface wastewater from the areas of highways and bridges has been investigated. This problem is especially urgent for the Perm Krai with about 30 thousand rivers with a total length of over 90 thousand kilometers. The discharge of contaminated flows within the water protection zones is permitted only after they have been purified up to the established standards. Investigations of the chemical composition of storm wastewater and snow cover near highways have identified an increased content of suspended solids, petroleum products, polyaromatic hydrocarbons as well as heavy metals – lead, copper, manganese, aluminum, nickel, zinc; it requires the creation of a system for collection and disposal of wastewater to treatment facilities of various types. The analysis of scientific and technical information on surface wastewater treatment systems has been carried out; it has been established that all the treatment facilities contain sorption materials that ensure deep purification of wastewater from oil products and heavy metal ions, and the quality of purification strongly depends on the choice of sorption loading. The problem of clearing storm wastewater from heavy metal ions is most difficult to solve. It is economically reasonable to use waste products for these purposes.

In the paper the possibility of using modified sorbents based on soda sludge containing 60–65 % of calcium carbonate for wastewater treatment is shown. Granular materials were obtained using sodium silicate as a binder; their sorption properties with respect to copper (II) and zinc (II) ions, and mechanical strength have been investigated. Obtained sorption materials can be recommended for the use in treatment facilities for purification of surface wastewater from highways and bridges within water protection zones.

Keywords: surface wastewater from highways, heavy metals, soda sludge, calcium carbonate, sorbents, sorption capacity.

В настоящее время проблеме очистки поверхностных сточных вод с территорий автомагистралей и мостов стало уделяться значительное внимание, так как на урбанизированных территориях эти стоки являются одним из основных источников загрязнения природных водоемов и грунтовых вод.

Исследования химического состава ливневых сточных вод и снежного покрова вблизи автомобильных дорог с интенсивным движением выявили повышенное содержание взвешенных веществ, нефтепродуктов (смазочных масел, бензина), полиароматических углеводов, в том числе токсичного бенз(а)пирена, а также тяжелых металлов: свинца, меди, марганца, алюминия, никеля, цинка, ванадия, молибдена и титана [1–3].

Для снижения негативного воздействия поверхностного стока на объекты окружающей среды необходима организация системы сбора и отвода сточных вод на очистные сооружения различного типа, обеспечивающие эффективную очистку от специфических загрязняющих веществ.

Проблема очистки сточных вод с автомагистралей и мостов особенно актуальна для Пермского края, по территории которого протекает около 30 тысяч рек, включая две крупные реки (Кама и Чусовая), 40 рек средних размеров и более 29 тысяч небольших рек общей длиной свыше 90 тысяч км [4].

В соответствии с Водным кодексом Российской Федерации от 3 июня 2006 г. № 74-ФЗ для всех рек и водоемов установлены водоохранные зоны, т.е. «территории, которые примыкают к береговой линии морей, рек, ручьев, каналов, озер, водохранилищ и на которых установлен специальный режим осуществления хозяйственной и иной деятельности». Сброс загрязненных стоков в пределах водоохранных зон разрешается только после их очистки до установленных нормативов.

Ориентировочный химический состав поверхностного стока с автомагистралей крупного города и значения нормативов предельно допустимых концентраций (ПДК) в водоемах рыбохозяйственного назначения представлены в табл. 1 [3].

Таблица 1

Химический состав поверхностных сточных вод
с автомагистралей в составе ливневых сточных вод

Показатель	Единица измерения	Значение показателя	ПДК _{рыб-хоз}	Превышение ПДК
рН	ед. рН	6,0–6,5	–	–
ХПК	мг/дм ³	17–40	Не регл.	–
Взвешенные вещества	мг/дм ³	30–500	–	–
Сухой остаток	мг/дм ³	320–600	Не регл.	–
Сульфаты	мг/дм ³	40–114,6	250	–
Хлориды	мг/дм ³	15,0–50,5	350	–
Железо	мг/дм ³	1,2–8,5	0,1	12–85
Медь	мг/дм ³	0,05–0,55	0,001	50–550
Марганец	мг/дм ³	0,2–5,2	0,01	20–520
Никель	мг/дм ³	0,02–0,6	0,01	2–60
Свинец	мг/дм ³	0,1–0,3	0,006	17–50
Цинк	мг/дм ³	0,24–2,8	0,01	24–280
Нефтепродукты	мг/дм ³	5,5–14,4	0,05	100–300

Как видно из представленных данных, поверхностные сточные воды с автомагистралей можно отнести к низкоконцентрированным сточным водам сложного состава, содержащим как органические вещества (нефтепродукты), так и минеральные примеси (хлорид-, сульфат-ионы, ионы тяжелых металлов). При этом концентрация ионов металлов и нефтепродуктов в десятки и сотни раз превышает ПДК для водоемов рыбохозяйственного назначения.

В настоящее время нормативы сброса загрязняющих веществ в пределах населенных пунктов в соответствии с методикой расчета, утвержденной Приказом Министерства природных ресурсов России от 17.12.2007 № 333, устанавливаются на уровне ПДК_{рыб-хоз}, поэтому сооружения очистки ливневых сточных вод с автомагистралей в пределах водоохраных зон должны обеспечивать заданные требования.

Проведенный анализ научно-технической информации показал, что для очистки ливневых сточных вод предлагается использовать сооружения различного типа: пруды-отстойники (в том числе каскадного типа), гидроботанические площадки, модульные станции глубокой очистки, очистные сооружения типа «фильтрующий патрон» и др. [5–8].

Сооружения могут быть представлены как в наземном, так и подземном исполнении.

Пруды-отстойники каскадного типа состоят обычно из решеток для удерживания крупновзвешенных веществ, отстойников для оседания взвешенных и иловых частиц, камер или каскадов с зернистой загрузкой, биокамер с макрофитами (рогоз, рдесты, элодея и т.д.) и биологическими составляющими, камер с сорбентами, удаляющими нефтепродукты и другие загрязняющие вещества.

Модульные станции глубокой очистки представляют собой сооружения заводского изготовления, содержащие модули для механической очистки воды: песколовки, илоотделители, нефтеловушки с коалесцирующим фильтром, колодцы для сбора сточных вод и отбора проб, сорбционные фильтры доочистки воды от нефтепродуктов, насосные станции и др.

Фильтрующие патроны представляют собой подземный сорбционный многослойный фильтр, выполненный из железобетонных колец, устанавливаемый в дождеприемных колодцах. Патроны с комбинированной загрузкой позволяют производить очистку воды от взвешенных, эмульгированных примесей, нефтепродуктов и ионов тяжелых металлов.

Следует отметить, что все сооружения для очистки поверхностных стоков содержат сорбционные материалы, обеспечивающие глубокую очистку воды от нефтепродуктов и ионов тяжелых металлов, кроме того, качество очистки существенно зависит от выбора сорбционной загрузки.

Для очистки поверхностных сточных вод целесообразно использовать природные сорбционные материалы (древесный уголь, антрацитовую крошку, дробленый керамзит и др.), а также дешевые сорбенты, полученные из отходов производств.

Для глубокой очистки ливневых сточных вод от взвешенных веществ применяют волокнистые полимерные материалы, например: полиамидное или полипропиленовое волокно, сорбент «Ирвилен» с насыпной плотностью $70\text{--}170\text{ кг/м}^3$, обладающий высокой емкостью по взвешенным веществам и эмульгированным нефтепродуктам; от эмульгированных и растворенных нефтепродуктов – древесный уголь, антрацитовую крошку, активные угли различных марок [7, 9, 10].

Наиболее сложно решается проблема очистки ливневых сточных вод от ионов тяжелых металлов. Для этих целей используют природные и синтетические цеолиты, модифицированные бентонитовые, каолинитовые глинистые материалы и др., ионообменная емкость которых невысока, что требует частой промывки, регенерации и замены загрузки.

Экономически целесообразно для очистки поверхностных вод от тяжелых металлов использовать отходы производств, обладающие способностью к их извлечению, например: металлургические шлаки, отходы производства фосфорной кислоты (фосфогипс) и др. [11–14].

Пермский край является одним из крупных промышленных регионов России, характеризуется интенсивным развитием технологий неорганического синтеза (производство минеральных калийных и азотных удобрений, кальцинированной соды и др.). Получение минеральных солей сопровождается образованием многотоннажных отходов, которые в настоящее время практически не утилизируются.

При получении кальцинированной соды на Березниковском содовом заводе ежегодно образуется более $10\,000\text{ м}^3$ (по твердой фазе) твердых высоковлажных отходов – шламов содового производства (ШСП), которые складываются в шламонакопителях. Основным компонентом шлама является карбонат кальция. Состав шлама (в пересчете на сухой): CaCO_3 – 50–65 %; MgCO_3 – 20–25 %; Ca(OH)_2 – 4–10 %; CaCl_2 – 5–10 %; $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$ – 5–10 %; CaSO_4 – 3–9,5 %; SiO_2 0–4,9 %; pH водной вытяжки шлама – 9,5.

Известно, что карбонат кальция способен поглощать ионы тяжелых металлов в результате твердофазных реакций замещения ионов кальция на ионы тяжелых металлов [15, 16]: $Me^{2+} + CaCO_3 = MeCO_3 + Ca^{2+}$.

Термодинамическая возможность их протекания обусловлена образованием более прочных и менее растворимых соединений – карбонатов тяжелых металлов. В слабощелочной среде в присутствии $Ca(OH)_2$ возможно также протекание реакций с образованием гидроксидов металлов.

Проведенный термодинамический расчет позволил определить возможность протекания гетерогенных реакций замещения и остаточную концентрацию ионов металлов в воде. Результаты расчетов представлены в табл. 2.

Таблица 2

Расчетная растворимость гидроксидов и карбонатов
тяжелых металлов – компонентов ливневых сточных вод

Тяжелый металл	ПР $MeCO_3$	Растворимость $MeCO_3$, моль/дм ³	Остаточная концентрация, мг/дм ³	ПР $Me(OH)_n$	Растворимость $Me(OH)_n$, моль/дм ³	Остаточная концентрация, мг/дм ³
Кальций Ca^{2+}	$3,8 \cdot 10^{-9}$	$6,16 \cdot 10^{-5}$	2,46	$5,5 \cdot 10^{-6}$	$1,11 \cdot 10^{-2}$	44,4
Железо Fe^{2+}	$3,5 \cdot 10^{-11}$	$5,9 \cdot 10^{-6}$	0,33	$8,0 \cdot 10^{-16}$	$5,9 \cdot 10^{-6}$	0,33
Железо Fe^{3+}	–	–	–	$6,3 \cdot 10^{-38}$	$2,5 \cdot 10^{-13}$	$1,39 \cdot 10^{-5}$
Медь Cu^{2+}	$2,5 \cdot 10^{-10}$	$1,58 \cdot 10^{-5}$	1,0	$2,2 \cdot 10^{-20}$	$1,75 \cdot 10^{-7}$	0,012
Марганец Mn^{2+}	$1,8 \cdot 10^{-11}$	$4,24 \cdot 10^{-6}$	0,23	$4,0 \cdot 10^{-14}$	$2,13 \cdot 10^{-5}$	0,11
Свинец Pb^{2+}	$7,5 \cdot 10^{-14}$	$2,74 \cdot 10^{-7}$	0,57	$3,2 \cdot 10^{-16}$	$4,34 \cdot 10^{-6}$	0,9
Цинк Zn^{2+}	$1,45 \cdot 10^{-11}$	$3,8 \cdot 10^{-6}$	0,25	$1,2 \cdot 10^{-17}$	$1,44 \cdot 10^{-6}$	0,0093
Кадмий Cd^{2+}	$1,0 \cdot 10^{-12}$	$1 \cdot 10^{-6}$	0,112	$2,2 \cdot 10^{-14}$	$1,75 \cdot 10^{-5}$	1,96
Кобальт Co^{2+}	$1,05 \cdot 10^{-10}$	$1 \cdot 10^{-5}$	0,59	$1,6 \cdot 10^{-15}$	$7,3 \cdot 10^{-6}$	0,436

Следует отметить, что для большинства тяжелых металлов характерно образование основных солей с карбонат-ионами или соединений типа $CuCO_3 \cdot Cu(OH)_2$, которые характеризуются повышенной устойчивостью и, соответственно, более низкой растворимостью в воде. Например, растворимость $CuCO_3 \cdot Cu(OH)_2$ составляет $1,2 \cdot 10^{-8}$ моль/дм³, а растворимость основных карбонатов свинца – $2,2 \cdot 10^{-8}$ моль/дм³.

Проведенный анализ и сравнение остаточных расчетных концентраций с ПДК свидетельствуют о том, что применение карбонатов кальция для очистки ливневых сточных вод обеспечит их глубокую очистку от ионов железа, меди, цинка до требований к сбросу в водоем рыбохозяйственного назначения.

Для экспериментальных исследований возможности использования ШСП для очистки ливневых сточных вод из шламонакопителя АО «Березниковский содовый завод» были отобраны образцы шлама пятилетнего срока складирования, частично отмытого атмосферными осадками от водорастворимых солей, с размером гранул 0,25–0,5 мм.

Была определена сорбционная емкость высушенных при 105 °С образцов ШСП по ионам меди (II) и цинка (II) из модельных растворов, содержащих по 50 мг/дм³ исследуемых ионов. Емкость образцов по ионам меди составила 35 мг/г, по ионам цинка – 28 мг/г.

Для использования образцов шлама для загрузки в фильтрах или кассетах необходимо повысить механическую прочность частиц шлама и получить гранулированные образцы. Для получения гранулированных материалов в качестве связующего использовали раствор жидкого стекла, содержащий 28 % силиката натрия в пересчете на SiO₂. Обработанные жидким стеклом образцы гранулировали методом экструзии и высушивали на воздухе.

Исследовались влияние дозы связующего на механическую прочность и сорбционную активность материалов по отношению к ионам меди (II), цинка (II) и механическая прочность образцов на истирание. Результаты исследований представлены в табл. 3.

Таблица 3

Характеристики полученных гранулированных образцов

Показатель	Доля оксида кремния SiO ₂ в образце, %			
	0	8,6	13,8	18,4
Сорбционная емкость по Cu ²⁺ , мг/г	30,1 ± 3,0	28,8 ± 2,9	26,6 ± 2,6	24,6 ± 2,4
Сорбционная емкость по Zn ²⁺ , мг/г	35,0 ± 3,5	28 ± 2,8	29 ± 2,9	31,10 ± 3,1
Механическая прочность, %	Менее 50	80	85	90

Анализ данных позволил определить условия получения гранулированных материалов с высокой механической прочностью. Доля SiO₂ в образцах должна составлять 8–10 %. Введение связующего не оказывает значительного влияния на сорбционную активность материала.

В связи с тем что извлечение тяжелых металлов на образцах шламов протекает в результате сложного гетерогенного диффузионного процесса, исследовалась кинетика процесса извлечения. Установлено, что время достижения равновесия составляет 30–40 мин, что необходимо учитывать при разработке конструкции фильтрующих патронов и кассет.

Проведенные исследования позволили установить возможность использования модифицированных образцов шламов содового производства для извлечения тяжелых металлов. Полученные сорбционные материалы можно рекомендовать для использования в сооружениях очистки поверхностных вод с автодорог и мостов в пределах водоохранных зон.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 17-45-590169 p_a.

Список литературы

1. Алексеев М.И., Курганов А.М. Организация отведения поверхностного (дождевого и талого) стока с урбанизированных территорий. – М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2000. – 352 с.
2. Дикаревский В.С., Курганов А.М. Отведение и очистка поверхностных сточных вод. – Л.: Стройиздат, 1990. – 224 с.
3. Красногорская Н.Н., Мусина С.А., Бреднева Т.О. Анализ загрязненности и методов очистки ливневого стока урбанизированной территории // Безопасность жизнедеятельности. – 2015. – № 11. – С. 3–10.
4. Экология города: состояние и охрана окружающей среды г. Перми. – Ижевск, 2016. – 112 с.
5. Рекомендации по расчету систем сбора, отведения и очистки поверхностного стока с селитебных территорий, площадок предприятий и определению условий выпуска его в водные объекты / НИИ ВОД-ГЕО. – М., 2014. – 77 с.
6. ОДМ 218.8.005–2014. Методические рекомендации по содержанию очистных сооружений на автомобильных дорогах. – М., 2014. – 102 с.
7. Технические решения модернизации системы канализации ливневых сточных вод машиностроительного предприятия с созданием локальных фильтрационно-сорбционных очистных сооружений / А.С. Баранова, М.С. Муфтиева, А.А. Климов, И.С. Глушанкова // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. – 2013. – № 3. – С. 147–157.
8. Мелехин А.Г., Шукин И.С. Применение биоинженерных сооружений для очистки ливневых и талых вод с урбанизированных территорий // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2012. – № 1. – С. 122–129.

9. Смирнов А.Д. Сорбционная очистка сточных вод. – Л.: Химия, 1982. – 168 с.
10. Олонцев В.Ф. Российские активные угли. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2014. – 103 с.
11. Способ получения сорбента: пат. Рос. Федерация / Гавриленко М.А., Малышева Ж.В., Кузьмина А.Г. – № 2009100493/15; заявл. 11.01.2009; опубл. 20.03.2010.
12. Способ получения композитного сорбента: пат. Рос. Федерация / Гавриленко М.А., Слизов Ю.Г. – № 2006112345/15; заявл. 14.04.2006; опубл. 10.01.2008.
13. Polyethylene/clay nanocomposites prepared by polymerization compounding method / A. Gaboune, S.S. Ray, A. Ait-Kadi, B. Riedl, M. Bousmina // J. Nanosci. Nanotechnol. – 2006. – № 6 (2). – P. 530.
14. Quang T. Nguyen, Donald G. Baird. Preparation of polymer–clay nanocomposites and their properties // Advances in Polymer Technology. – 2006. – Vol. 25, № 4. – P. 270–285.
15. Исаева О.Ю. Исследование перспективных методов очистки сточных вод от тяжелых металлов с целью создания эколого-геохимических барьерных зон: дис. ... канд. техн. наук. – Уфа, 2006. – 174 с.
16. Техногенные геохимические барьеры / А.И. Перельман, Е.Н. Борисенко, Н.Ф. Мырлян, М.П. Тентюков // Геохимия техногенных процессов. – М.: Наука, 1990. – 174 с.

References

1. Alekseev M.I., Kurganov A.M. Organizacija otvedenija poverhnostnogo (dozhdevogo i talogo) stoka s urbanizirovannyh territorij [Organization of drainage of surface (rain and snowmelt) runoff from urbanized areas]. Moscow, Associaciiija stroitel'nyh vuzov, 2000, 352 p.
2. Dikarevskij V.S., Kurganov A.M. Otvedenie i ochistka poverhnostnyh stochnyh vod [Discharge and treatment of surface waste waters]. – Leningrad, Strojizdat, 1990, 224 p.
3. Krasnogorskaja N.N., Musina S.A., Bredneva T.O. Analiz zagrizannosti i metodov ochistki livneвого stoka urbanizirovannoj territorii [Analysis of contamination and cleaning methods of storm water in urban areas]. *Bezopasnost' zhiznedejatel'nosti*, 2015, no 11, pp. 3-10.
4. Jekologija goroda: sostojanie i ohrana okruzhajushhej sredy g. Permi [Ecology of the city: state and environmental protection of the city of Perm]. Izhevsk, 2016, 112 с.

5. Rekomendacii po raschetu sistem sbora, otvedeniya i ochistki poverhnostnogo stoka s selitebnyh territorij, ploshhadok predpriyatij i opredeleniju uslovij vypuska ego v vodnye obekty [Recommendations on designing the systems of collection, disposal and treatment of surface runoff from residential areas, enterprises, and determining the conditions of its discharge into water bodies]. Moscow, Institut vodosnabzheniya, kanalizacii, gidrotehnicheskikh sooruzhenij i inzhenernoj gidrogeologii, 2014, 77 p.

6. ODM 218.8.005-2014 Metodicheskie rekomendacii po sodержaniju ochistnyh sooruzhenij na avtomobil'nyh dorogah [Methodical recommendations on the content of treatment facilities on the roads]. Moscow, 2014, 102 p.

7. Baranova A.S., Muftieva M.S., Klimov A.A., Glushankova I.S. Tehnicheskie resheniya modernizacii sistemy kanalizacii livnevnyh stochnyh vod mashinostroitel'nogo predpriyatija s sozdaniem lokal'nyh fil'tracionno-sorbcionnyh ochistnyh sooruzhenij [Technical solutions of the modernization of the sewage system storm water engineering enterprises with the creation of local filtration-sorption treatment plants]. *Vestnik Permskogo Nacional'nogo Issledovatel'skogo Politehnicheskogo Universiteta. Prikladnaja jekologija. Urbanistika*, 2013, no 3, pp. 147-157.

8. Melehin A.G., Shhukin I.S. Primenenie bioinzhenernyh sooruzhenij dlja ochistki livnevnyh i talyh vod s urbanizirovannyh territorij [The use of engineered facilities for treatment of stormwater and snowmelt runoff from urbanized territories]. *Vestnik Permskogo Nacional'nogo Issledovatel'skogo Politehnicheskogo Universiteta. Stroitel'stvo i arhitektura*, 2012, no 1, pp. 122-129.

9. Smirnov A.D. Sorbcionnaja ochistka stochnyh vod [Sorption purification of sewage]. Leningrad, Himija, 1982, 168 p.

10. Oloncev V.F. Rossijskie aktivnye ugli [Russian active coals]. Perm', Permskij nacional'nyj issledovatel'skij politehnicheskij universitet, 2004, 103 p.

11. Gavrilenko M.A., Malysheva Zh.V., Kuz'mina A.G. Sposob poluchenija sorbenta [Method of producing sorbent]. Patent Rossiiskaia Federatsiia no № 2009100493/15 (2010).

12. Gavrilenko M. A., Slizhov Ju.G. Sposob poluchenija kompozitnogo sorbenta [Method of producing composite sorbent]. Patent Rossiiskaia Federatsiia no № 2006112345/15 (2008).

13. Gaboune A., Ray S.S., Ait-Kadi A., Riedl B., Bousmina M Polyethylene/clay nanocomposites prepared by polymerization compounding method. *J Nanosci Nanotechnol*. 2006 Feb;6(2): 530 p.

14. Quang T. Nguyen, Donald G. Baird Preparation of Polymer–clay nanocomposites and their properties. *Advances in polymer technology*, Vol. 25, No. 4, 270–285 pp. (2006).

15. Isaeva O. Ju. Issledovanie perspektivnyh metodov ochistki stochnykh vod ot tjazhelyh metallov s cel'ju sozdaniya jekologo-geohimicheskikh bar'ernykh zon [Study of advanced methods of wastewater treatment from heavy metals with the aim of creating ecological and geochemical barrier zones]. Ph.D. thesis. Ufa, 2006, 174 p.

16. Perel'man A.I., Borisenko E.N., Myrljan N.F., Tentjukov M.P. Tehnogennye geohimicheskie bar'ery [Technogenic geochemical barriers]. *Geohimija tehnogennykh processov*. Moscow, Nauka, 1990, 174 p.

Получено 10.11.2017

Об авторах

Глушанкова Ирина Самуиловна (Пермь, Россия) – доктор технических наук, профессор кафедры «Охрана окружающей среды», Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр. 29, e-mail: irina_chem@mail.ru).

Докучаева Дарья Викторовна (Березники, Россия) – инженер, Управление благоустройства Администрации г. Березники (618419, г. Березники, ул. К. Маркса, 50, e-mail: blagoustroistvo@list.ru).

Калинина Елена Васильевна (Пермь, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры «Охрана окружающей среды», Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: Kalininaelena1@rambler.ru).

Демина Екатерина Николаевна (Пермь, Россия) – студентка, кафедра «Охрана окружающей среды», Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: ekaterina-demina00@mail.ru).

About the authors

Irina S. Glushankova (Perm, Russian Federation) – Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Environmental Protection, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: irina_chem@mail.ru).

Dar'ya V. Dokuchaeva (Berezniki, Russian Federation) – Engineer, Administration of Improvement of the Administration of Berezniki (50, Karl Marx st., Berezniki, 618419, Russian Federation, e-mail: blagoustroistvo@list.ru).

Elena V. Kalinina (Perm, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, Department of Environmental Protection, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: Kalininaelena1@rambler.ru).

Ekaterina N. Demina (Perm, Russian Federation) – Student, Department of Environmental Protection, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: ekaterina-demina00@mail.ru).