

ВОДОСНАБЖЕНИЕ, КАНАЛИЗАЦИЯ, СТРОИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

УДК 628.31

О. А. САМОДОЛОВА¹, аспирант кафедры градостроительства, инженерных сетей и систем; Д. В. УЛЬРИХ^{1,2}, д-р техн. наук, доц., директор архитектурно-строительного института, проф. кафедры водопользования и экологии; Т. М. ЛОНЗИНГЕР¹, канд. техн. наук, науч. сотрудник, доц. кафедры физикохимии материалов; С. Г. ГОЛОВИНА², канд. архитектуры, доц., первый проректор, зав. кафедрой архитектурно-строительных конструкций

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТХОДОВ ВОДОПОДГОТОВКИ В ОЧИСТКЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ СТОЧНЫХ ВОД С СЕЛИТЕБНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

¹ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)», Южно-Уральский государственный университет
Россия, 454080, г. Челябинск, просп. В. И. Ленина, д. 76; эл. почта: ulrikhdv@susu.ru

²ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет»

Россия, 190005, г. Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4,
эл. почта: prorector.1st@spbgasu.ru

Ключевые слова: поверхностные сточные воды, осадок природных вод, сорбция, локальная очистка, поллютанты, урбанизированные территории, фильтрат.

Приведены результаты исследований по изучению состава и структуры осадка, образовавшегося при реагентной водоподготовке природных вод. Определена эффективность сорбции исследованным осадком тяжелых металлов из поверхностных сточных вод селитебных территорий в зависимости от температуры и времени контакта сорбента со сточными водами. В результате исследования подтвердилось предположение о возможности использования осадка природных вод в качестве потенциального сорбента.

Введение

В современном мире отходы, получаемые от деятельности человека, представляют собой серьезную экологическую проблему. Любое из направлений производства необходимых человечеству товаров, как правило, приводит к образованию отходов, основные объемы которых просто складываются. Технологии утилизации отходов требуют значительных затрат. В настоящее время специалистами активно внедряются подходы рационального природопользования и экологизации производства, которые позволяют снизить затраты на добычу и переработку сырья для производства новых продуктов, так как используют техногенные отходы. Техногенные отходы обладают рядом преимуществ из-за термической или химической обработки, измельчения и усреднения состава на стадиях первичной переработки.

Среди перспективных отходов, которые могут быть использованы в технологии очистки поверхностных сточных вод урбанизированных территорий, на наш взгляд, являются отходы, образующиеся при реагентной водоподготовке.

В настоящий момент существует ряд публикаций, описывающих попытки применения (утилизации) данного материала [1–15].



Целью данной работы является оценка сорбционной способности осадка природных сточных вод при очистке поверхностных сточных вод с селитебных территорий.

Материалы и методы

Объектом исследования является система осадок от реагентной очистки природных вод (сорбент) – поверхностные сточные воды с селитебных территорий города Челябинска, отобранные согласно общепринятым методикам. Состав смешанной пробы сточных (ливневых) вод города Челябинска приведен в табл. 1, из которой видно, что сточные ливневые воды загрязнены тяжелыми металлами.

Таблица 1

Химический состав поверхностных сточных вод селитебных территорий

Элемент	Al	Cr	Cu	Fe	Ni	Pb	Zn	pH
Содержание в городском поверхностном стоке, мг/л	2,71	0,01	0,03	2,62	0,20	0,41	0,29	6,43

Сорбент – осадок от реагентной очистки природных вод на очистных сооружениях водопровода города Челябинска, извлеченный из отстойников и дополнительно прошедший процесс сушки. Производительность сооружений составляет более 700 тыс. кубометров в сутки [16].

Провели анализ состава и структуры сорбента. Для проведения исследований использовали электронный растровый микроскоп. Результаты микрорентгеноспектрального анализа поверхности образца приведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты микрорентгеноспектрального анализа образца осадка природных вод, %

Номер спектра	C	O	Mg	Al	Si	S	Cl	K	Ca	Fe
1	36,5	41,5	0,52	10,94	7,9	0,6	0,35	0,1	0,5	1,0
2	25,3	41,2	0	6,51	26	0,4	0	0,1	0,3	0,4
3	36,5	41,8	0	10,89	8,5	0,6	0,29	0	0,6	0,8

Исследование структуры поверхности проводилось при различной степени увеличения, верхний снимок – увеличение образца в 150 раз, средний – в 300 раз, нижний – в 500 раз (рис. 1). Микрофотографии сорбента приведены на рис. 1.

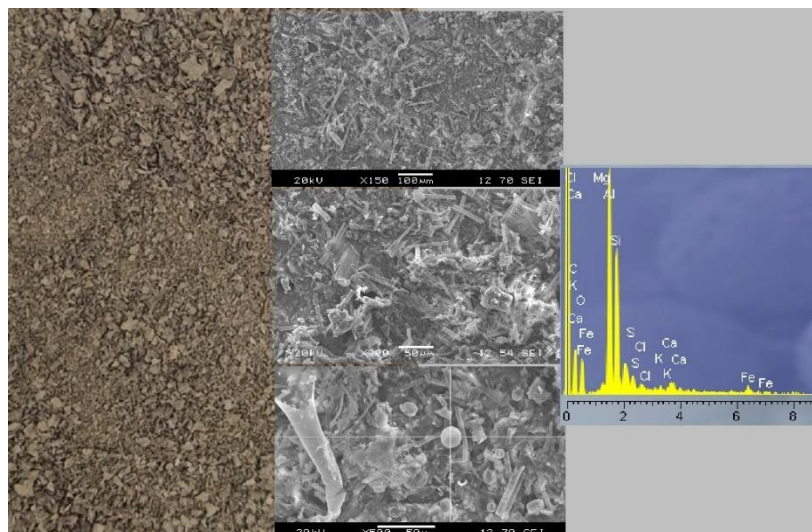


Рис. 1. Микрофотографии осадка от реагентной очистки природных вод и данные микрорентгеноспектрального анализа

Эффективность сорбционного процесса оценивали по сорбции тяжелых металлов, входящих в состав поверхностных сточных вод в статических и динамических условиях.

При исследовании системы в статических условиях использовали метод ограниченного объема при соотношении «твердая фаза-жидкость» 1:10. Температуру варьировали от 0°C до 10°C и 20°C, время экспозиции составляло 3–168 часов. Исследования в динамических условиях проводились на специальной установке, при расходах фильтрата (0,3; 0,6; 1,2; 7,5 л/ч), пробу пропускали через сорбент.

Результаты исследования

В табл. 3 приведены результаты исследования эффективности сорбционного процесса в системе осадок от реагентной обработки природных вод – сточная (ливневая) вода в статических условиях.

Таблица 3

Степень извлечения загрязнителей из пробы сточной воды в зависимости от t °C и времени контакта, %

Показатель	Эффективность очистки при температуре и времени контакта, %								
	0 °C			10 °C			20 °C		
	3 ч	6 ч	168 ч	3 ч	6 ч	168 ч	3 ч	6 ч	168 ч
Алюминий	53	76	76	24	24	65	47	76	82
Хром	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Медь	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Железо	100	100	100	92	96	99	81	95	96
Никель	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Свинец	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Цинк	33	83	100	83	93	98	67	83	83



Полученные результаты показывают высокую эффективность исследуемого сорбента для очистки сточных вод урбанизированных территорий в статических условиях.

Независимо от температуры системы и времени контакта сорбент полностью удаляет из сточной воды хром, медь, никель, свинец. Для полной очистки исследуемой пробы сточных вод от ионов железа необходимо поддерживать температуру 0 °С. При температуре 10 °С эффективность очистки незначительно снижается. С повышением величины времени экспозиции эффективность удаления железа возрастает до 99 %. При этом чем больше время экспозиции, тем выше степень очистки. Аналогичная закономерность наблюдается при температуре 20 °С, при которой эффективность очистки достигает 96 %.

Максимальная степень извлечения цинка (100 %) наблюдается при температуре 0 °С и времени контакта 7 суток. С повышением температуры эффективность очистки незначительно снижается.

Экспериментальные данные показывают, что при контакте сорбента с пробой поверхностных сточных вод селитебных территорий происходит переход ионов алюминия из осадка в пробу. Алюминий входит в состав остатков коагулянта, поэтому участвует в процессе очистки сточных вод. При низкой температуре и малом времени контакта концентрация алюминия повышается незначительно, поэтому эффективность очистки равна 53–76 %. С увеличением температуры в системе до 10 °С растворение соединений алюминия имеет большую скорость, поэтому эффективность очистки снижается до 24 % при незначительном времени контакта. Максимальное значение эффективности очистки сточных вод от алюминия составляет 82 % при температуре 20 °С и времени контакта 7 суток, когда скорости протекающих в системе реакций растворения алюминия и осаждения поллютантов в качестве коагулянта практически равны.

Необходимо отметить, зависимость величины рН в системе сорбент-проба от температуры и времени экспозиции. С увеличением температуры показатель рН возрастает с 6,4 до 7 единиц. При увеличении времени контакта для системы с температурой 0 °С наблюдается незначительное повышение водородного показателя на 0,1. Для систем с температурами 10 °С и 20 °С максимальное увеличение рН составляет 0,6 (рис. 2).

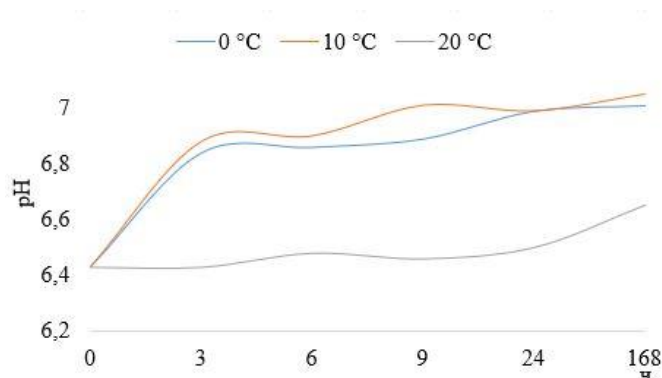


Рис. 2. Влияние на рН изменения температуры и времени контакта сорбента (осадок природных вод) с сточной водой

Исследования сорбционного процесса в динамических условиях показали высокую эффективность извлечения из сорбата поллютантов. Полностью удаляются из сточной воды хром, медь, железо и свинец независимо от скорости фильтрации.

На эффективность удаления из сорбата никеля, цинка и алюминия большое влияние имеет расход фильтрата. Никель полностью извлекается из сточной воды при скорости фильтрования 1,2 л/ч, цинк – выше 0,6 л/ч. Расход фильтрата в интервале 0,6 и 1,2 л/ч обеспечивает эффективность очистки сорбата от ионов алюминия 94 %.

Уровень pH в динамических условиях также претерпевает изменение, но при всех скоростях фильтрования изменения не превышают +/-5 %, зависимость приведена на рис. 3.

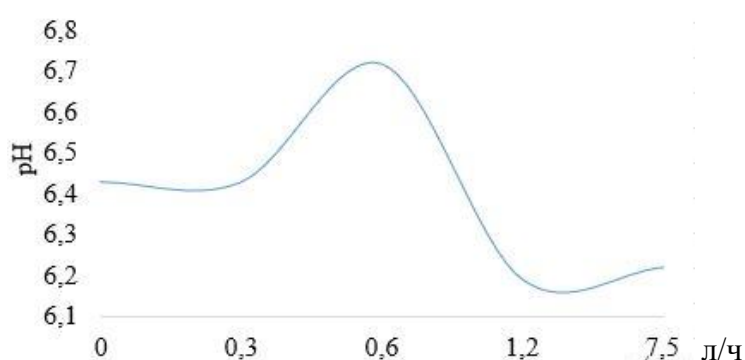


Рис. 3. Изменение pH при изменении скорости фильтрования

Выводы

Полученные результаты показывают, что использование осадка от реагентной очистки природных вод в качестве сорбента для очистки поверхностных сточных вод урбанизированных территорий является эффективной и недорогой альтернативой существующим решениям. Материал позволяет удалять тяжелые металлы из сорбата при различных условиях.

Установлено, что в статических условиях независимо от температуры системы и времени контакта сорбент полностью удаляет из сточной воды хром, медь, никель, свинец. Для полной очистки сорбата от ионов железа необходимо поддерживать температуру 0 °С. При температуре 10 °С эффективность очистки незначительно снижается.

Исследования сорбционного процесса в динамических условиях показали высокую эффективность извлечения из сорбата поллютантов. Полностью удаляются из сточной воды хром, медь, железо и свинец независимо от скорости фильтрации.

На эффективность удаления из сорбата никеля, цинка и алюминия большое влияние имеет расход фильтрата.

Экспериментальные данные показывают, что при контакте сорбента с сорбатом происходит переход ионов алюминия из осадка в сорбат. Алюминий входит в состав остатков коагулянта в осадке, поэтому участвует в процессе очистки сточных вод. Максимальное значение эффективности очистки сточных вод от алюминия составляет 82 % при температуре 20 °С и времени контакта 7



суток, когда скорости протекающих в системе реакций растворения алюминия и осаждения поллютантов в качестве коагулянта практически равны.

Полученные экспериментальные данные показали, что осадок от реагентной очистки природных поверхностных вод является перспективным сорбционным материалом. Дальнейшие исследования должны быть направлены на определение механизма и характеристик сорбционного процесса.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Mannina, G. Polyhydroxyalkanoate production from fermentation of domestic sewage sludge monitoring greenhouse gas emissions : a pilot plant case study at the WRRF of Palermo university (Italy) / G. Mannina, A. Mineo // *Journal of Environmental Management*. – 2023. – № 348.
2. Capodaglio, A. G. Energy and resources recovery from excess sewage sludge : a holistic analysis of opportunities and strategies / A. G. Capodaglio, A. Callegari // *Resources, Conservation & Recycling Advances*. – 2023. – № 19.
3. Polyhydroxyalkanoates (PHAs) Production : A Feasible Economic Option for the Treatment of Sewage Sludge in Municipal Wastewater Treatment Plants? / D. C. Pedemonte, O. Franchi, L. Caminos, D. Jeison. – 2020. – № 12 (4).
4. D'Imporzano, G. Measuring the environmental impacts of sewage sludge use in agriculture in comparison with the incineration alternative / G. D'Imporzano, F. Adani // *Science of the Total Environment*. – 2023.
5. Zarina, R. Opportunities for resource recovery from Latvian municipal sewage sludge / R. Zarina, L. Mezule // *Heliyon*. – 2023. – № 9 (10).
6. Zarandi, M. Multicriteria analysis of sewage sludge-based biodiesel production / M. Zarandi, C. Torres, J. M. Mateo, L. Jiménez // *Journal of Environmental Management*. – 2023. № 348.
7. Callegari, A. Production of energy (biodiesel) and recovery of materials (biochar) from pyrolysis of urban waste sludge / A. Callegari, P. Hlavinek, A.G. Capodaglio // *Rev. Ambiente Agua*. – 2023. – № 13.
8. Kargbo, D. M. Biodiesel production from municipal sewage sludges / D. M. Kargbo // *Energy Fuels*. – 2010. – № 24 (5). – P. 2791–2794.
9. Scelsi, E. Urban sewage sludge valorization to biodiesel production: Solvent-free lipid recovery through adsorption on used 3 Ply Safety Face Masks / E. Scelsi, C. Pastore // *Environmental Technology & Innovation*. – 2023. – № 30.
10. Capodaglio, A. G. Energy issues in sustainable urban wastewater management: use, demand reduction and recovery in the urban water cycle / A. G. Capodaglio, G. Olsson // *Sustainability*. – 2020. – № 12 (11). – 266 p.
11. Callegari, A. Production of energy (biodiesel) and recovery of materials (biochar) from pyrolysis of urban waste sludge / A. Callegari, P. Hlavinek, A.G. Capodaglio // *Rev. Ambiente Agua*. – 2018. – № 13 (2).
12. Sewage sludge derived biochar and its potential for sustainable environment in circular economy : advantages and challenges / R. Khan, S. Shukla, M. Kumar [et. al.] // *Chemical Engineering Journal*. – 2023. – № 471 (7).
13. Hwang, J. Protein recovery from excess sludge for its use as animal feed / J. Hwang, L. Zhang, S. Seo [et. al.] // *Bioresour. Technol.* – 2008. – № 99 (18).
14. Reuse of domestic sewage sludge to achieve a zero-waste strategy & improve concrete strength & durability - A review / S. Vilakazi, E. Onyari, O. Nkwonta, J. K. Bwapwa // *South African Journal of Chemical Engineering*. – 2023. – № 43 (1). – P. 122–127.
15. Al-Obaidi, A. R. Sewage sludge reuse in concrete industry : a review / A. R. Al-Obaidi, R. H. Al-Anbari, M. S. Hassan // *IOP Conference Series : Earth and Environmental Science*. – 2021. – № 779 (1).



16. В Челябинске построят станцию обеззараживания воды ультрафиолетом за 1 млрд рублей. – URL: <https://www.1obl.ru/news/ekonomika/v-chelyabinske-postroyat-stantsiyu-obezzarazhivaniya-vody-ultrafioletom-za-1-mldr-rubley/> (дата обращения: 01.11.2023). – Текст: электронный.

SAMODOLOVA Olesya Aleksandrovna¹, post-graduate student of the chair of urban planning, engineering networks and systems; ULRIKH Dmitry Vladimirovich^{1,2}, doctor of technical sciences, associate professor, director of the Architectural and Construction Institute, professor of the chair of water management and environment; LONZINGER Tatyana Moprovna¹, candidate of technical sciences, researcher, associate professor of the chair of physical chemistry of materials; GOLOVINA Svetlana Gennadevna², candidate of architecture, associate professor, first vice-rector, holder of the chair of architectural and building constructions

THE USE OF WATER TREATMENT WASTE IN THE TREATMENT OF SURFACE WASTEWATER FROM RESIDENTIAL AREAS

¹South Ural State University

76, Lenin Prospekt, Chelyabinsk, Chelyabinsk Region, 454080, Russia;

e-mail: ulrikhdv@susu.ru

²St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering

4, 2nd Krasnoarmeyskaya St., Saint-Petersburg, 190005, Russia;

e-mail: prorector.1st@spbgasu.ru

Key words: surface wastewater, sediment of natural waters, sorption, local purification, pollutants, urbanized territories, filtrate.

The results of studies on the composition and structure of sediment formed during reagent water treatment of natural waters are presented. The efficiency of sorption by the studied heavy metal sediment from the surface wastewater of residential areas is determined depending on the temperature and time of contact of the sorbent with wastewater. As a result of the study, the assumption was confirmed about the possibility of using the sediment of natural waters as a potential sorbent.

REFERENCES

1. Mannina G., Mineo A. Polyhydroxyalkanoate production from fermentation of domestic sewage sludge monitoring greenhouse gas emissions: A pilot plant case study at the WRRF of Palermo University (Italy) // *Journal of Environmental Management*. – 2023. – № 348.
2. Capodaglio A. G., Callegari A. Energy and resources recovery from excess sewage sludge: A holistic analysis of opportunities and strategies // *Resources, Conservation & Recycling Advances*. – 2023. – № 19.
3. Pedemonte D. C., Franchi O., Caminos L., Jeison D. Polyhydroxyalkanoates (PHAs) Production: A Feasible Economic Option for the Treatment of Sewage Sludge in Municipal Wastewater Treatment Plants? – 2020. – № 12(4).
4. D'Imporzano G., Adani F. Measuring the environmental impacts of sewage sludge use in agriculture in comparison with the incineration alternative // *Science of The Total Environment*. – 2023.
5. Zarina R., Mezule L. Opportunities for resource recovery from Latvian municipal sewage sludge // *Heliyon*. – 2023. – № 9 (10).



6. Zarandi M., Torres C., Mateo J. M., Jiménez L. Multicriteria analysis of sewage sludge-based biodiesel production // *Journal of Environmental Management*. – 2023. № 348.
7. Callegari A., Hlavinek P., Capodaglio A. G. Production of energy (biodiesel) and recovery of materials (biochar) from pyrolysis of urban waste sludge // *Rev. Ambiente Agua*. – 2023. – № 13.
8. Kargbo D. M. Biodiesel production from municipal sewage sludges // *Energy Fuels*. – 2010. – № 24 (5). – P. 2791–2794.
9. Scelsi E., Pastore C. Urban sewage sludge valorization to biodiesel production: Solvent-free lipid recovery through adsorption on used 3 Ply Safety Face Masks // *Environmental Technology & Innovation*. – 2023. – № 30.
10. Capodaglio A. G., Olsson G. Energy issues in sustainable urban wastewater management: use, demand reduction and recovery in the urban water cycle // *Sustainability*. – 2020. – № 12 (11). – 266 p.
11. Callegari A., Hlavinek P., Capodaglio A. G. Production of energy (biodiesel) and recovery of materials (biochar) from pyrolysis of urban waste sludge // *Rev. Ambiente Agua*. – 2018. – № 13 (2).
12. Khan R., Shukla S., Kumar M., Zuurro A., Pandey A. Sewage sludge derived biochar and its potential for sustainable environment in circular economy: Advantages and challenges // *Chemical Engineering Journal*. – 2023. – № 471 (7).
13. Hwang J., Zhang L., Seo S., Lee Y. W., Jahng D. Protein recovery from excess sludge for its use as animal feed // *Bioresour. Technol.* – 2008. – № 99 (18).
14. Vilakazi S., Onyari E., Nkwonta O., Bwapwa J. K. Reuse of domestic sewage sludge to achieve a zero waste strategy & improve concrete strength & durability – A review // *South African Journal of Chemical Engineering*. – 2023. – № 43 (1). – P. 122–127.
15. Al-Obaidi A. R., Al-Anbari R. H., Hassan M. S. Sewage sludge reuse in concrete industry: a review // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. – 2021. – № 779 (1).
16. V Chelyabinske postroyat stantsiyu obezzarazhivaniya vody ultrafioletom za 1 mlrd rubley [An ultraviolet water disinfection station will be built in Chelyabinsk for 1 billion rubles] // <https://www.lobl.ru/news/ekonomika/v-chelyabinske-postroyat-stantsiyu-obezzarazhivaniya-vody-ultrafioletom-za-1-mlrd-rubley/> (data obrashcheniya 01.11.2023).

© О. А. Самодолова, Д. В. Ульрих, Т. М. Лонзингер, С. Г. Головина, 2024
Получено: 29.03.2024 г.