

О. А. САМОДОЛОВА
Д. В. УЛЬРИХ
Т. М. ЛОНЗИНГЕР

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ФИТОЭКСТРАКЦИИ ПРИ ОЧИСТКЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ СТОЧНЫХ ВОД СЕЛИТЕЛЬНЫХ ТЕРРИТОРИЙ ОТ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ

EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF PHYTOEXTRACTION IN THE TREATMENT OF SURFACE WASTEWATER FROM RESIDENTIAL AREAS FROM HEAVY METALS

В настоящее время активно развиваются природоподобные технологии, позволяющие использовать потенциал природы для решения экологических проблем, в том числе для минимизации степени загрязнения и оздоровление водных объектов. Примером такой технологии являются биоинженерные сооружения, в которых используются растения-биоаккумуляторы. Поэтому подбор растений для современных биоинженерных сооружений является актуальным и востребованным. Целью данной работы было исследование биоаккумулятивной способности и оценка возможности использования многолетних травянистых растений душица обыкновенная (лат. *Origanum vulgare* L.) и мята полевая (лат. *Mentha arvensis* L.) в биоинженерных сооружениях для очистки от тяжёлых металлов поверхностных сточных вод селитебных территорий. В рамках исследования получены экспериментальные данные, позволяющие сделать вывод о возможности применения данных растений в качестве биоаккумуляторов для удаления тяжёлых металлов из сточных вод в виде монопосадок и в различных композициях. Наилучшая достигнутая эффективность биоаккумуляции составляет: для хрома, меди и марганца – 100 %, для железа – 96 %, алюминия – 59 %, цинка – 50 %.

Ключевые слова: растения-биоаккумуляторы, биоинженерные сооружения, тяжёлые металлы, очистка сточных вод, поверхностный сток

Введение

На рубеже XX-XXI веков произошла смена приоритетов политики многих стран и человеческого мышления с экономического направления на экологическое. Активное развитие технологий и промышленного производства привело к негативным экологическим последствиям во всей экосфере, ликвидация которых требует колоссальных экономических затрат,

Currently, nature-like technologies are actively developing to use the potential of nature to solve environmental problems, including minimizing pollution and improving the health of water bodies. An example of such technology is bioengineering facilities that use bioaccumulative plants. Therefore, the selection of plants for modern bioengineering facilities is relevant and in demand. The purpose of this work was to study the bioaccumulative ability and evaluate the possibility of using perennial herbaceous plants oregano (Latin *Origanum vulgare* L.) and mint (Latin *Mentha arvensis* L.) in bioengineering facilities for heavy metal surface wastewater treatment in residential areas. As part of the study, experimental data were obtained that allow us to conclude that these plants can be used as bioaccumulators for the removal of heavy metals from wastewater in the form of mono-additives and in various compositions. The best bioaccumulation efficiency achieved is 100 % for chromium, copper and manganese, 96 % for iron, 59 % for aluminum and 50 % for zinc.

Keywords: bioaccumulative plants, bioengineering facilities, heavy metals, wastewater treatment, surface runoff

перехода к новым технологиям природопользования для снижения риска неблагоприятного воздействия, в том числе направленных на оздоровление водных объектов [1–6]. Одним из методов по снижению экологических рисков при очистке сточных вод является разработка и строительство современных биоинженерных сооружений. На эффективность работы биоинженерных сооружений определяющее влияние оказывает подбор растений-биоаккумуляторов,

способных эффективно удалять поллютанты, неприхотливых, устойчивых к неблагоприятным условиям окружающей среды, адаптированных к климатическим условиям селитебной территории, обладающих эстетическим видом.

Целью данной работы является исследование биоаккумулятивной способности и оценка возможности использования душицы обыкновенной и мяты полевой в качестве растений-биоаккумуляторов тяжелых металлов из поверхностных сточных вод селитебных территорий.

Материалы и методы

В качестве растений для исследования были выбраны многолетние травянистые растения душица обыкновенная и мята полевая.

Душица обыкновенная (лат. *Origanum vulgare* L.) – многолетнее травянистое растение высотой 30–70 см с ползучим корневищем и прямостоячим стеблем. Листья супротивные, продолговато-яйцевидные (рис. 1). Цветки мелкие, с двугубым бледно-пурпуровым или беловатым венчиком, собраны в четырехгранные продолговато-овальные колоски, образующие в свою очередь многоцветковые щитковидно-метельчатые соцветия. Цветет с июня до осени. Плоды темно-бурые, созревают в разное время, начиная с июля. Растет на сухих лугах, в степях,

на опушках и полянах, в светлых лесах, среди кустарников, на вырубках. Широко распространенное растение во всех областях Средней России. Обладает рядом полезных свойств [7–10].

Мята полевая (лат. *Mentha arvensis* L.) – многолетнее ароматное растение высотой 20–50 см (в некоторых случаях до 100 см), опушенное наклонными вниз волосками, с чешуйчатым корневищем и олиственными побегам. Стебли прямостоячие или восходящие, большей частью разветвленные. Листья черешковые, яйцевидные или продолговато-эллиптические, с 3–6 парами боковых жилок. Размер листьев колеблется в пределах 1,5–3 см в ширину и 3–8 см в длину. Цветет с конца июня до сентября [11]. Растет на сырых лугах, травяных болотах, по берегам водоемов, вдоль канав, на полях. Растение предпочитает сырое место или заболоченный берег, но также его можно погружать в мелкую воду до 10 см. Имеет широкое распространение. Растение широко используется в фармакологии и народной медицине [12–14].

Выбранные растения использовали для очистки от тяжёлых металлов поверхностных сточных вод с селитебных территорий города Челябинска.

Поверхностные сточные воды с территорий города отбирали по общепринятым методикам. Химический состав пробы сточных вод приведен в табл. 1.



Рис. 1. Внешний вид растений: А – душица обыкновенная; Б – мята полевая
 Fig. 1. Appearance of plants: A – common oregano; B – Field mint

Таблица 1. Химический состав смешанной пробы сточных вод
 Table 1. Chemical composition of mixed wastewater sample

Элемент	Al	Cr	Cu	Fe	Mn	Zn
Содержание в городском поверхностном стоке, мг/л	2,707	0,01	0,028	2,624	0,307	0,286

Эффективность процесса биоаккумуляции оценивали в статических условиях. Растения помещали в стаканы со сточными водами. Температура при проведении исследования составляла 20 °С. Пробы сточной воды для анализа отбирали через 1, 2, 3, 24, 48, 72 часа.

Анализ содержания тяжёлых металлов в растениях выполняли на электронном растровом микроскопе JEOL JSM-6460 LV с приставкой для микрорентгеноспектрального анализа.

Для определения концентрации тяжёлых металлов в сточной воде использовали эмиссионный спектрометр с индуктивно-связанной плазмой OPTIMA 2100DV Perkin Elmer», США. В качестве фонового раствора применяли воду особой степени очистки, полученную на приборе «Simplicity UV» (Франция). Водородный показатель измеряли рН-метром 150МИ.

Результаты исследования

Полученные результаты по извлечению поллютантов из сточных вод селитебных территорий исследуемыми растениями представлены в табл. 2.

Таблица 2. Эффективность биоаккумуляции тяжелых металлов из сточных вод в статических условиях, %
Table 2. Bioaccumulation efficiency of heavy metals from wastewater under static conditions, %

Показатель	Время, ч					
	1	2	3	24	48	72
Душица обыкновенная						
Алюминий	47	47	41	41	41	29
Хром	100	100	100	100	100	100
Медь	100	100	100	100	100	100
Железо	90	91	91	91	91	91
Марганец	100	100	100	100	100	100
Цинк	0	33	33	17	17	17
Мята полевая						
Алюминий	59	41	41	41	41	41
Хром	0	100	100	100	100	100
Медь	80	80	80	80	80	80
Железо	96	94	91	91	91	91
Марганец	100	100	100	100	100	100
Цинк	50	50	50	50	50	50

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод о полном извлечении из сточных вод душицей обыкновенной и мятой полевой

хрома и марганца. При извлечении марганца время контакта растений со сточной водой не имеет значения. Для биоаккумуляции хрома мятой полевой время контакта должно быть более двух часов.

Выбор душицы обыкновенной предпочтительнее, если основной поллютант – медь, она позволяет извлечь его на 100 % независимо от времени экспозиции. Мята полевая аккумулирует 80 % меди независимо от времени контакта со сточными водами.

Для извлечения таких металлов, как алюминий, железо и цинк лучше использовать мяту полевую, в связи с лучшими результатами по сравнению с душицей обыкновенной. Максимальная эффективность биоаккумуляции по извлечению алюминия составляет 59 % при времени контакта один час, далее эффективность снижается до 41 %. Душица позволяет извлекать данный поллютант на 47 % при времени контакта один-два часа, далее также наблюдается снижение эффективности.

Наибольшая эффективность извлечения железа из сточных вод достигается мятой полевой и составляет 96 % при одном часе контакта растения со сточной водой, а душицей – 91 % при времени экспозиции от 2 до 72 часов.

Максимальная степень извлечения цинка мятой полевой составляла 50 % (при экспозиции от 1 до 72 часов) и 33 % – при помощи душицы (при экспозиции от 2 до 3 часов).

На рис. 2 и 3 приведены микрофотографии, полученные при электронно-микроскопическом исследовании вегетативных органов душицы обыкновенной и мяты полевой.

Результаты микрорентгеноспектрального анализа растений приведены в табл. 3, из которой видно, что состав растений до проведения эксперимента по очистке сточных вод достаточно однотипен, существуют незначительные отклонения по концентрации элементов.

В табл. 4 приведены результаты микрорентгеноспектрального анализа опытных образцов мяты полевой и душицы обыкновенной, полученные после эксперимента по очистке сточных вод городских территорий от тяжёлых металлов (усреднённые значения).

При сравнительном анализе табл. 3 и 4 можно выявить тенденцию к накоплению железа в мяте полевой. Прирост содержания железа составляет для корня 67 %, для стебля – 33 %. Увеличение концентрации железа наблюдается и в листьях. Душица обыкновенная, скорее всего, аккумулирует металлы не на поверхности, а в более глубоких слоях, поэтому микрорентгеноспектральный анализ показал увеличение содержания алюминия в листьях на 3,6 %, а концентрацию железа – без изменения.

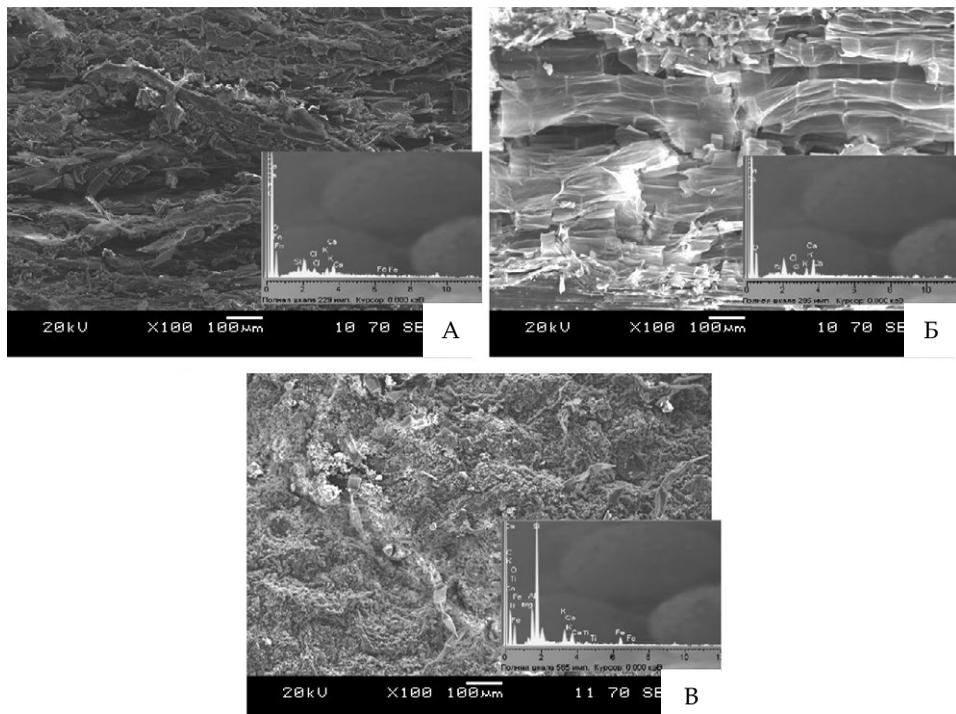


Рис. 2. Микрофотографии душицы обыкновенной и данные микрорентгеноспектрального анализа:
А – корень; Б – стебель; В – лист
Fig. 2. Micrographs of common oregano and microrentgenospectral analysis data:
А – root; Б – stem; В – sheet

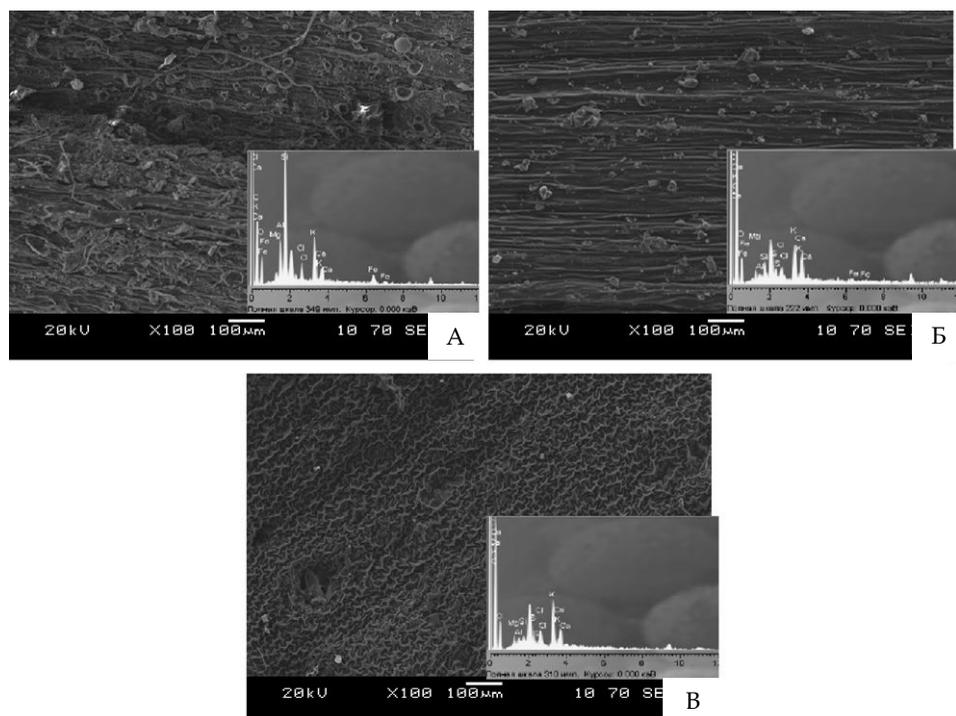


Рис. 3. Микрофотографии мяты полевой и данные микрорентгеноспектрального анализа:
А – корень; Б – стебель; В – лист
Fig. 3. Micrographs of field mint and microrentgenospectral analysis data:
А – root; Б – stem; В – sheet

Таблица 3. Результаты микро-рентгеноспектрального анализа растений до исследования, %
Table 3. Results of micro-X-ray spectral analysis of plants before the study, %

Вегетативный орган растения	Среднее содержание элемента, %									
	C	O	Mg	Al	Si	S	Cl	K	Ca	Fe
Душица обыкновенная										
Корень	53,0	44,8	0	0	0,4	0	0,3	0,4	0,6	0,6
Стебель	50,8	47,2	0	0	0,1	0	0,2	0,5	1,2	0
Лист	42,3	40,5	0,7	2,8	9,8	0	0	1,2	1,2	1,5
Мята полевая										
Корень	47,6	42,8	0,5	1,4	3,8	0,2	0,4	2,0	0,8	0,6
Стебель	55,7	37,9	0,8	0,3	0,7	0,4	0,5	2,1	1,3	0,3
Лист	52,5	41,4	0,7	0,3	0,3	0,3	0,6	2,8	1,1	0

Таблица 4. Результаты микро-рентгеноспектрального анализа образцов растений после очистки сточных вод, %
Table 4. Microentgenospectral analysis of plant samples after wastewater treatment, %

Вегетативный орган растения	Среднее содержание элемента, %									
	C	O	Mg	Al	Si	S	Cl	K	Ca	Fe
Душица обыкновенная										
Корень	51,7	45,8	0	0	0	0	0,5	0,8	0,7	0,6
Стебель	49,5	47,1	0,4	0	0,1	0	0,5	0,7	1,7	0
Лист	52,3	38,3	0,8	2,9	0,2	0	1,2	0,9	1,9	1,5
Мята полевая										
Корень	47,3	41,0	0,6	1,4	3,6	0,1	0,2	2,5	2,3	1,0
Стебель	55,6	34,8	1,1	0,4	1,2	0	1,5	3,7	1,3	0,4
Лист	51,3	39,5	0,9	0,2	0,7	0,3	1,1	3,7	2,1	0,2

На рис. 4 приведена зависимость водородного показателя от времени контакта в системе растение–сточная вода.

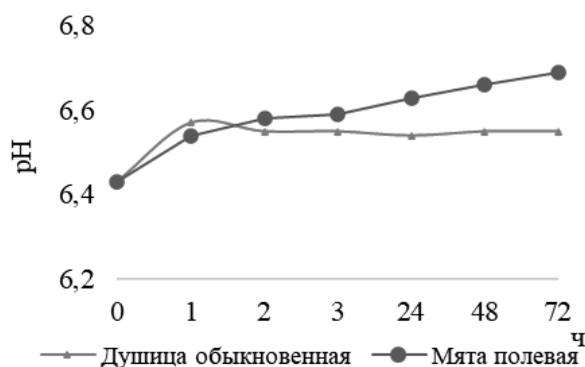


Рис. 4. Изменение pH в зависимости от времени контакта растений со сточной водой
Fig. 4. Change in pH as a function of from the time of contact of plants with wastewater

Как видно из рис. 4, после контакта исходного стока с растениями происходит незначительный рост водородного показателя (в пределах 4,7 %). Причем более высокий прирост pH зафиксирован при контакте сточной воды с мятой полевой.

Заключение и обсуждение

Исследована эффективность биоаккумуляции мятой полевой и душицей обыкновенной металлов Al, Cr, Cu, Fe, Mn, Zn при очистке поверхностных сточных вод с селитебных территорий.

Показана высокая степень биоаккумуляции этих металлов. Наилучшая достигнутая эффективность составляет: для хрома – от 80 до 100 %, для железа – от 90 до 96 %, алюминия – от 29 до 59 %, цинка – от 0 до 50 %.

Установлено, что для наиболее эффективного извлечения из сточных вод алюминия, железа и цинка предпочтительнее использовать

мяту полевою. При преобладающем загрязнении сточных вод медью наиболее эффективным растением-биоаккумулятором является душица обыкновенная. Возможно использование двух растений для получения синергетического эффекта при очистке сточных вод.

Отмечена адаптация растений при их пребывании в неблагоприятной экологической среде в ходе исследования.

Полученные экспериментальные данные позволяют сделать вывод о возможности использования душицы обыкновенной и мяты полевой в качестве растений-биоаккумуляторов для удаления тяжёлых металлов в составе биоинженерных сооружений, так как растения толерантны к исследуемым металлам, хорошо переносят неблагоприятные условия, имеют невысокую стоимость и приятный эстетический внешний вид.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Брюхов М.Н., Ульрих Д.В., Лонзингер Т.М., Денисов С.Е. Роль природных сорбентов и отходов трубного производства в очистке кислых железосодержащих сточных вод // Градостроительство и архитектура. 2023. Т. 13, № 4. С. 11–19. DOI: 10.17673/Vestnik.2023.04.02.
2. Самодолова О.А., Ульрих Д.В., Лонзингер Т.М. Использование лузги гречихи (гранулированной) в очистке городских поверхностных сточных вод // Градостроительство и архитектура. 2023. Т. 13, № 1. С. 37–44. DOI: 10.17673/Vestnik.2023.01.5.
3. Панфилова О.Н. Доочистка городских сточных вод от ионов тяжелых металлов с использованием новых сорбционных материалов // Градостроительство и архитектура. 2020. Т. 10, № 2. С. 22–28. DOI: 10.17673/Vestnik.2020.02.4.
4. Халтурина Т.И., Третьяков С.Г., Чурбакова О.В., Козлова С.А. Электрокоагуляционная обработка совместных маслоэмульсионных и хромсодержащих сточных вод предприятий металлообработки // Градостроительство и архитектура. 2019. Т. 9, № 4. С. 66–73. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.04.11.
5. Халтурина Т.И., Бобрик А.Г. Интенсификация процесса гальванокоагуляционной обработки сточных вод, содержащих ионы цветных и тяжелых металлов, при рециркуляции части осадка // Градостроительство и архитектура. 2018. Т. 8, № 2. С. 27–34. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.02.5.
6. Самодолова О.А., Ульрих Д.В., Лонзингер Т.М., Головина С.Г. Скорлупа грецкого ореха как перспективный сорбент в очистке поверхностных сточных вод с городских территорий // Градостроительство и архитектура. 2024. Т. 14, № 1. С. 19–26. DOI: 10.17673/Vestnik.2024.01.03.
7. Душица обыкновенная – *Origanum vulgare* L. [Электронный ресурс]. URL: <https://ecosystema.ru/08nature/flowers/055.htm> (дата обращения: 25.10.2024).
8. Mombeini T., Mazloumi S., Shams J. Pharmacological effects of *Origanum vulgare* L. in the elevated plus-maze and open field tests in the rat // Journal of Basic and Clinical Pathophysiology. 2015. 3 (2):29–36. DOI: 10.22070/JBCP.2015.229.
9. Душица (орегано, майоран) [Электронный ресурс]. URL: <https://floristics.info/ru/stati/sadovodstvo/5607-dushitsa-posadka-i-ukhod-sorta.html> (дата обращения: 25.10.2024).
10. Куркин В.А., Зайцева Е.Н., Цибулина А.С. Диуретическая и нейротропная активность ореганола А — компонента душицы обыкновенной // Химико-фармацевтический журнал. 2022. № 56(10). С. 30–33. DOI: 10.30906/0023–1134–2022–56–10–30–33.
11. Мята полевая – *Mentha arvensis* L. s. l [Электронный ресурс]. URL: <https://ecosystema.ru/08nature/flowers/132.htm> (дата обращения: 25.10.2024).
12. Thakur S., Walia B., Chaudhary G. *Mentha arvensis* (Pudina): A Review Based upon its Medicinal Properties. Research Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry. 2021. DOI: 10.52711/0975-4385.2021.0002423.
13. Ameen N., Shafi S. Evaluation of In Vitro Anti-Oxidant Activity of *Mentha arvensis* Linn in Memory Enhancing Study. International Journal of Pharmacognosy and Phytochemical Research. 2017. 9. DOI: 10.25258/phyto.v9i08.9627.
14. Increasing the functionality of sponge cakes by mint, and cocoa powder addition / B. Sik, K. Kovács, E. Hanczné Lakatos, V. Kapcsándi // Heliyon. 2023. N. 9(9). P. 20029. DOI: 10.1016/j.heliyon.2023.e20029.

REFERENCES

1. Bryukhov M.N., Ulrikh D.V., Lonzinger T.M., Denisov S.E. The role of natural sorbents and piping production waste in the treatment of acid iron-containing waste water. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2023, vol. 13, no. 4, pp. 11–19. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2023.04.02
2. Samodolova O.A., Ulrikh D.V., Lonzinger T.M. Using Granuated Buckwheat Husks in Urban Surface Run-off Treatment. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2023, vol.13, no.1,pp.37–44. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2023.01.5
3. Panfilova O.N. Treatment of Urban Waste Water from Ions of Heavy Metals by Using New Sorption Material. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2020, vol. 10, no. 2, pp. 22–28. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2020.02.4
4. Khalturina T.I., Tretyakov S.G., Churbakova O.V., Kozlova S.A. Electrocoagulation Treatment of Joint Oil-emulsion and Chrome-containing Wastewater of Metalworking Enterprises. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2019, vol. 9, no. 4, pp. 66–73. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2019.04.11
5. Khalturina T.I., Bobrik A.G. Intensification of purification of sewage water-generation manufacturing enterprises of metallurgy enterprises and machine-building complex containing ions of chrom, copper, nickel and zinc. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2018, vol. 8, no. 2, pp. 27–34. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2018.02.5

6. Samodolova O.A., Ulrikh D.V., Lonzingер T.M., Golovina S.G. Walnut shells as a promising sorbent for treatment of urban surface wastewater. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2024, vol. 14, no. 1, pp. 19–26. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2024.01.03
7. *Origanum vulgare* L. Available at: <https://ecosystema.ru/08nature/flowers/055.htm> (accessed 25 October 2024).
8. Mombeini T., Mazloumi S., Shams J. Pharmacological effects of *Origanum vulgare* L. in the elevated plus-maze and open field tests in the rat. *Journal of Basic and Clinical Pathophysiology*. 2015. 3 (2):29–36. DOI: 10.22070/JBCP.2015.229
9. *Dushitsa (oregano, marjoram)*. Available at: <https://floristics.info/ru/stati/sadovodstvo/5607-dushitsa-posadka-i-ukhod-sorta.html> (accessed 25 October 2024).
10. Kurkin V.A., Zaitseva E.N., Tsibina A.S. Diuretic and neurotropic activity of oreganol A, a component of common oregano. *Himiko-farmaceuticheskij zhurnal* [Chemical-Pharmaceutical Journal], 2022, no. 56(10), pp. 30–33. (in Russian) DOI: 10.30906/0023-1134-2022-56-10-30-33
11. *Mentha arvensis* L. s. l. Available at: <https://ecosystema.ru/08nature/flowers/132.htm> (accessed 25 October 2024).
12. Thakur S., Walia B., Chaudhary G. *Mentha arvensis* (Pudina): A Review Based upon its Medicinal Properties. *Research Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*. 2021. DOI: 10.52711/0975-4385.2021.0002423
13. Ameen N., Shafi S. Evaluation of In Vitro Anti-Oxidant Activity of *Mentha arvensis* Linn in Memory Enhancing Study. *International Journal of Pharmacognosy and Phytochemical Research*. 2017. 9. DOI: 10.25258/phyto.v9i08.9627
14. Increasing the functionality of sponge cakes by mint, and cocoa powder addition / B. Sik, K. Kovács, E. Hanczné Lakatos, V. Kapcsándi // *Heliyon*. 2023. N. 9(9). P. 20029. DOI: 10.1016/j.heliyon.2023.e20029

Об авторах:

САМОДОЛОВА Олеся Александровна

ассистент кафедры водопользования и экологии
Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет
190005, Россия, г. Санкт-Петербург,
ул. 2-я Красноармейская, 4
аспирант кафедры градостроительства, инженерных
сетей и систем
Южно-Уральский государственный университет
454080, Россия, г. Челябинск, пр. В.И. Ленина, 76
E-mail: samodolova@mail.ru

SAMODOLOVA Olesya A.I.

Assistant of the Water Use and Environment Chair
St Petersburg State University of Architecture and Civil
Engineering
190005, Russia, Saint Petersburg, 2nd Krasnoarmeyskaya
st., 4
Post-graduate student of the Town Planning, Engineering
Networks and Systems Chair
South Ural State University
454080, Russia, Chelyabinsk, V.I. Lenin pr., 76
E-mail: samodolova@mail.ru

УЛЬРИХ Дмитрий Владимирович

доктор технических наук, доцент, декан факультета
инженерной экологии и городского хозяйства,
профессор кафедры водопользования и экологии
Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет
190005, Россия, г. Санкт-Петербург,
ул. 2-я Красноармейская, 4
E-mail: dulrikh@lan.spbgasu.ru

ULRIKH Dmitrii V.

Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor,
Dean of the Faculty of Environmental Engineering
and Urban Management, Professor of the Water Use
and Environment Chair
St Petersburg State University of Architecture
and Civil Engineering
190005, Russia, Saint Petersburg,
2nd Krasnoarmeyskaya st., 4
E-mail: dulrikh@lan.spbgasu.ru

ЛОНЗИНГЕР Татьяна Мопрвна

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры
градостроительства, инженерных сетей и систем
Южно-Уральский государственный университет
454080, Россия, г. Челябинск, пр. В.И. Ленина, 76
E-mail: lonzingertm@susu.ru

LONZINGER Tatiana M.

PhD in Engineering Sciences, Associate Professor,
Associate Professor of the Town Planning, Engineering
Networks and Systems Chair
South Ural State University
454080, Russia, Chelyabinsk, V.I. Lenin pr., 76
E-mail: lonzingertm@susu.ru

Для цитирования: Самодолова О.А., Ульрих Д.В., Лонзингер Т.М. Оценка эффективности фитоэкстракции при очистке поверхностных сточных вод жилых территорий от тяжелых металлов // *Градостроительство и архитектура*. 2025. Т. 15, № 3. С. 54–60. DOI: 10.17673/Vestnik.2025.03.07.

For citation: Samodolova O.A., Ulrikh D.V., Lonzingер T.M. Evaluation of the effectiveness of phytoextraction in the treatment of surface wastewater from residential areas from heavy metals. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2025, vol. 15, no. 3, pp. 54–60. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2025.03.07.

Принята: 21.05.2025 г.