



УДК 628.35

О. А. САМОДОЛОВА, ассистент кафедры водопользования и экологии¹,
аспирант кафедры градостроительства, инженерных сетей и систем²

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МНОГОЛЕТНИХ ЗЛАКОВЫХ РАСТЕНИЙ ПРИ ОЧИСТКЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ СТОЧНЫХ ВОД С УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

¹ ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет». Россия, 190005, г. Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4.

эл. почта: osamodolova@lan.spbgasu.ru

² ФГАОУ ВО "ЮУрГУ (НИУ)", Южно-Уральский государственный университет

Россия, 454080, г. Челябинск, просп. В.И. Ленина, д. 76.

Тел.: +7 (902) 602-29-66; эл. почта: samodolova@mail.ru

Ключевые слова: поверхностные сточные воды, канареечник, растение-биоаккумулятор, фиторемедиация, локальная очистка.

Приведены результаты исследований по изучению состава и структуры растения канареечник. Определена эффективность извлечения исследованным растением тяжелых металлов из поверхностных сточных вод селитебных территорий в зависимости от температуры и времени контакта канареечника со сточными водами. В результате исследования подтвердилось предположение о возможности использования канареечника в качестве потенциального растения-биоаккумулятора.

Введение

В настоящее время одним из ключевых моментов для поддержания экологического баланса является использование различных природных механизмов в рамках минимизации ущерба, причиняемого антропогенной деятельностью человека, в том числе и водным объектам. Перед человечеством в полной мере возникает вопрос о защите окружающей среды при стремительном развитии экономики. На смену дорогостоящим традиционным системам очистки приходят технологии, подсказанные самой природой. Одним из современных направлений является использование биологических сооружений, для очистки загрязненных сточных вод, попадающих в водоемы. Проходя через водонепроницаемые поверхности городских территорий, поверхностные сточные воды вбирают в себя все присутствующие на территории поллютанты. Их список достаточно широк, но одними из наиболее опасных загрязнителей являются тяжелые металлы.

Широкое распространение в западных странах получили биоинженерные сооружения. Для их успешного функционирования необходим подбор эффективных растений биоаккумуляторов. Данные растения должны соответствовать ряду условий, иметь небольшую стоимость, эффективно расти и развиваться в рамках данного региона, быть многолетними, и, если это сооружение расположено в городской среде, иметь привлекательный (эстетический) внешний вид.

В связи с тем, что биологические сооружения в нашей стране не получили еще должного распространение из-за сложных климатических условий, поиск



растений биоаккумуляторов способных актуален. В научных публикациях рекомендуют различные растения, доказавшие свою эффективность по борьбе с различными загрязнителями [1-10].

Целью статьи является оценка эффективности использования растения канареечник для очистки сточных вод с урбанизированных территорий от тяжелых металлов (на примере Al, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb и Zn). Внешний вид растения представлен на рис. 1.



Рис. 1. Внешний вид канареечника

Канареечник – многолетний травянистый представитель семейства злаковых с декоративной листвой. Принадлежит к роду «Фаларис», латинское название «*Phalaris arundinacea*». Корневая система растения хорошо разветвленная, ползучая, легко покрывает большие площади. Само растение выглядит как пышный куст, состоящий из множества листьев. Листья растения длинные и заостренные в краю до 2–3 см в ширину, имеют пестрый окрас, а по краю находится белая каемка. Листовая пластина гладкая, с небольшим изломом по центральной жиле, на конце заостренная. Имеет, как правило, бледный зеленый окрас с белыми полосами. Пржилки выражены неярко. Молодая листва имеет ровный край, однако впоследствии от него отделяются тонкие волокна, похожие на ниточки. С июля по сентябрь у растения начинается период активного цветения. Сами по себе бутоны не обладают никакой декоративной ценностью. Они похожи на небольшие выпуклые колоски, в которых содержатся семена. В высоту может достигать до 2 м, в исследовании используется сорт небольшой высоты, достигающий высоты до 50–70 см. Зона морозостойкости – Московская область, большая часть России, северные и горные районы Скандинавии. В дикой природе растение распространено практически везде. Оно встречается в равнинной и болотистой местности, на лугах и в местах, страдающих от частых засух. Оно неприхотливо и легко приживается в любых условиях. Наиболее канареечник распространен на территории Евразийского континента. Не растет он только в условиях вечной мерзлоты Антарктиды.

В настоящий момент многолетние декоративные злаковые растения, в том числе канареечник (Фалярис тростниковый), находят применение в ландшафтном проектировании, так как хорошо вписываются в благоустройство различных территорий, имеют красивый и эстетический вид.

Материалы и методы

В качестве растения биоаккумулятора использовался канареечник. Растения помещались в цилиндр объемом 1 литр, и заливались 800 мл поверхностными сточными водами урбанизированных территорий. Пробы для химического анализа отбирались через заданные промежутки времени.

Исследования состава и структуры канареечника проводились методом электронно-микроскопического анализа. Исследование структуры поверхности выполнялось при степени увеличения элементов растения в 100 раз. Микрофотографии частей растения (корень с внешней и внутренней стороны, стебель, лист) приведены на рис. 2.

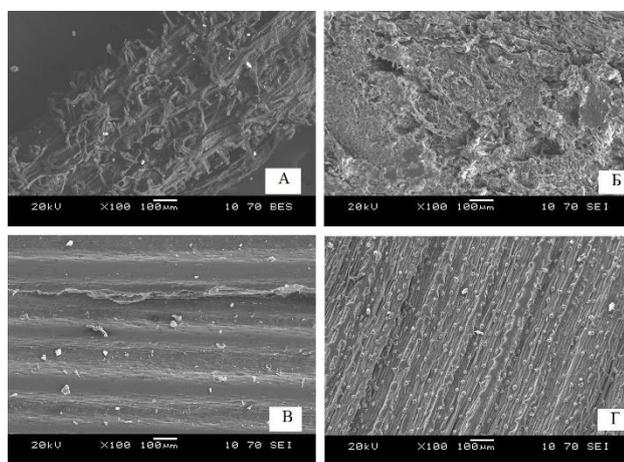


Рис. 2. Микрофотографии элементов растения: А – корень (внешняя сторона); Б – корень (внутренняя сторона); В – стебель; Г – лист

Усредненный состав растений определялся микрорентгеноспектральным анализом образцов различных частей канареечника. Полученные результаты приведены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты микрорентгеноспектрального анализа растения канареечник, %

Элемент	C	O	Mg	Al	Si	S	Cl	K	Ca	Fe
Содержание элементов, %	48,26	41,71	0,05	0,81	7,39	0,12	0,26	0,99	0,09	0,32

Поверхностный сток с территории города Челябинска отбирался согласно общепринятым методикам. Состав смешанной пробы сточных (ливневых) вод города Челябинска приведен в табл. 2. Из таблицы видно, что сточные ливневые воды загрязнены тяжелыми металлами.



Таблица 2

Химический состав сорбата

Элемент	Al	Cr	Cu	Fe	Mn	Pb	Zn	pH
Содержание в городском поверхностном стоке, мг/л	2,707	0,01	0,028	2,624	0,307	0,41	0,286	6,43

Эффективность процесса биоаккумуляции оценивалась по поглощению тяжелых металлов, входящих в состав поверхностных сточных вод в статических условиях.

Температура при проведении исследования составляла 20°C, время экспозиции варьировалось от 1 до 72 часов.

Результаты исследований

На рис. 3 приведены результаты исследования эффективности поглощения поллютантов в системе канареечник – сточная (ливневая) вода в статических условиях.

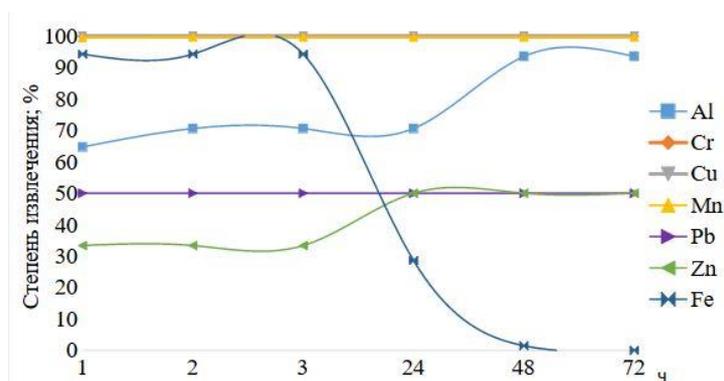


Рис. 3. Степень извлечения поллютантов из пробы сточной воды при $t = 20^{\circ}\text{C}$ и различном времени контакта, %

Данные экспериментов показывают, что канареечник полностью извлекает из исследуемых сточных вод марганец независимо от времени контакта растения со стоком (от 1 часа до 72 часов). Практически на 94% через 3 часа уменьшена концентрация железа. При увеличении времени выдержки способность биоаккумуляции снижается.

Эффективность извлечения свинца не зависит от времени экспозиции сточных вод с растением, и составила 50% при любом времени воздействия.

При удалении алюминия лучший результат был получен при времени воздействия свыше 48 часов и далее (93,5%), до этого времени степень очистки колебалась в районе 65–70%.

Результаты микрорентгеноспектрального анализа опытных образцов канареечника, полученные после эксперимента (усредненные значения), приведены в табл. 3.



Таблица 3

**Результаты микрорентгеноспектрального анализа образца растения
канареечник после исследования, %**

Элемент	C	O	Mg	Al	Si	S	Cl	K	Ca	Fe
Содержание элементов, мас. %	48,02	38,46	0,25	1,01	9,33	0,22	0,67	0,75	0,64	0,65

Сравнительный анализ данных табл. 1 и 3 показал, что при контакте растения с поверхностными сточными водами в составе канареечника происходят изменения. Наблюдается биоаккумуляция растением металлов и неметаллов. Содержание железа увеличивается на 103%, алюминия – на 25%. Особый интерес представляет снижение содержания хлора, угнетающего развитие растений, на 158% и кремния – на 26%.

Необходимо отметить, что уровень pH в системе растение – сточные воды практически не зависит от времени экспозиции (рис. 4).

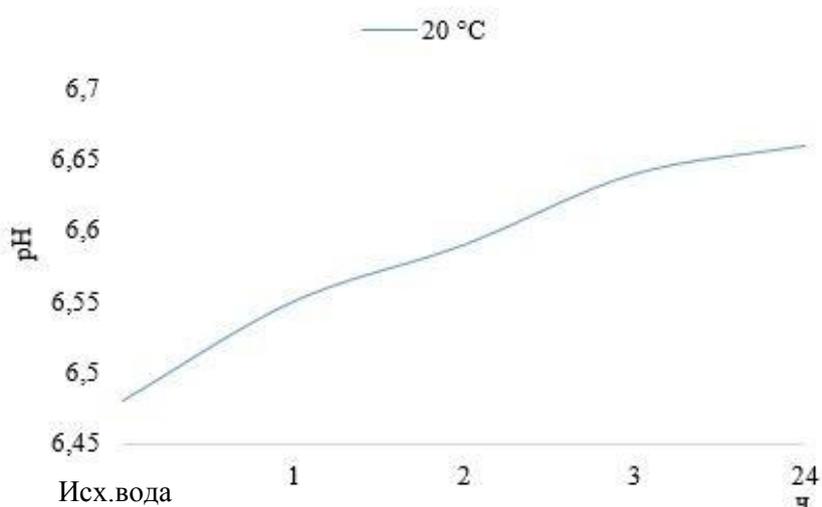


Рис. 4. Изменения pH в зависимости от времени экспозиции

Обсуждение

Данные проведенных исследований показали возможность использования канареечника в качестве растения биоаккумуляторов при разработке технологий очистки сточных вод с урбанизированных территорий. Высокая морозостойкость растения и эффективность биоаккумуляции тяжелых металлов и неметаллов являются основным преимуществом растения канареечник. В стоках городских территорий концентрации тяжелых металлов имеют небольшую величину. Известно, что очистка от слабо концентрированных поллютантов является наиболее сложной технологической задачей. Эксперименты показали, что канареечник полностью извлекает из поверхностных сточных вод марганец. Практически на 94% через 3 часа уменьшена концентрация железа. Эффективность извлечения свинца составила 50% при любом времени



воздействия. При удалении алюминия лучший результат был получен при времени воздействия свыше 48 часов и далее (93,5%). Поглощение цинка составляет 50%. Биоаккумуляция неметаллов (хлора, кремния), которой обладает канареечник, является важным преимуществом растения. Сточные воды с городских территорий насыщены растворимыми солями хлора, за счет использования горожанами хлорированной питьевой воды и хлоридов кальция, натрия в зимний период для ликвидации обледенения. Поэтому извлечение хлора растением, концентрация которого в структуре увеличивается на 158% при контакте со сточной водой, позволит значительно снизить концентрацию не только тяжелых металлов, но и растворимых хлоридов в стоке.

Необходимо отметить, что уровень pH в практически не зависит от времени экспозиции (рис. 4).

Выводы

Исследована эффективность биоаккумуляции растением канареечник тяжелых металлов и неметаллов при очистке поверхностных сточных вод с урбанизированных территорий.

Показана высокая степень поглощения тяжелых металлов. Практически 98% для железа, 50% для свинца и цинка, 93,5% при удалении алюминия.

Установлено, что канареечник обладает способностью к биоаккумуляции неметаллов (хлора, кремния). Извлечение хлора растением, концентрация которого в структуре увеличивается на 158% при контакте с поверхностными сточными водами, позволит значительно снизить содержание растворимых хлоридов в стоке.

В экологически неблагоприятной среде при проведении экспериментов исследуемые растения увеличили свою массу. По истечении срока эксперимента наблюдался рост новых корней и зеленой массы (листьев).

Полученные экспериментальные данные показывают перспективность использования данного растения в качестве биоаккумулятора для включения его в состав биоинженерного сооружения, так как оно позволяет достаточно эффективно извлекать поллютанты, имеет привлекательный внешний вид, является неприхотливым в уходе, имеет невысокую стоимость.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Sablii, L. Using of Lemna minor for polluted water treatment from biogenic elements / L. Sablii, M. Korenchuk, M. Kozar // *Biotechnologia Acta*. – 2019. – № 12. – P. 79-84.
2. Мищенко, О. А. Влияние ионов тяжелых металлов на растения / О. А. Мищенко, В. П. Тищенко. – Текст : непосредственный // *Современные исследования в гуманитарных и естественнонаучных отраслях : сборник научных статей / Тихоокеанский государственный университет*. – Москва : Перо, 2020. – Часть VI. – С. 6–11.
3. Николайкина, Н. Е. Применение высшей водной растительности для доочистки сточных вод аэропортов / Н. Е. Николайкина, Н. И. Николайкин. – Текст : непосредственный // *Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации*. – 2020. – Том 23, № 3. – С. 73–82.
4. Юхневич, Г. Г. Очистка сточных и природных вод высшими растениями / Г. Г. Юхневич, Е. А. Белова. – Текст : непосредственный // *Вестник Гродненского государственного университета имени Янки Купалы. Серия 5. Экономика. Социология. Биология*. – 2017. – Том 7, № 1. – С. 158–164.



5. Мищенко, О. А. П. К вопросу актуальности очистки промышленных сточных вод от ионов тяжелых металлов при помощи высших водных растений / О. А. Мищенко, В. П. Тищенко. – Текст : непосредственный // Актуальные проблемы лесного комплекса. – 2020. – № 58. – С. 109–115.

6. Ефремова, М. Е. Анализ очистки сточных вод с помощью эйхорнии / М. Е. Ефремова. – Текст : непосредственный // Modern scientific research : II Международная научно-практическая конференция, 23 января 2023 г. : труды конференции. – Пенза : Наука и просвещение, – 2023. – С. 93–96.

7. Холодова, С. Н. О возможности применения водного гиацинта для очистки загрязненных вод / С. Н. Холодова, Д. А. Рудиков. – Текст : непосредственный // Вода и экология: проблемы и решения. – 2019. – № 3 (79). – С. 70–76.

8. Improved of growth and phytostabilization potential of lead (Pb) in *Glebionis coronaria* L. under the effect of IAA and GA3 alone and in combination with EDTA by altering biochemical attributes of stressed plants / A. Tamam, W. El-Aggan, R. Abou-Shanab, M. Mubarak // Int. J. Phytoremediation. – 2021. – № 23. – P. 958–968.

9. Palanivel, T. M. Phytoremediation potential of castor (*Ricinus communis* L.) in the soils of the abandoned copper mine in Northern Oman : implications for arid regions / T. M. Palanivel, B. Pracejus, R. Victor // Environ Sci Pollut Res. – 2020. – № 27. – P. 17359–17369.

10. Малышева, А. И. Особенности использования многолетних злаковых культур в озеленении городских и сельских территорий / А. И. Малышева, Е. Н. Ермакова. – Текст : непосредственный // Актуальные вопросы современных технологий производства и переработки сельскохозяйственной продукции : материалы Всероссийской (национальной) научно-практической конференции с международным участием, 1 марта 2023 г. : труды конференции / Курский государственный аграрный университет им. И. И. Иванова. – Курск. – 2023. – Часть 1. – С. 239–246.

SAMODOLOVA Olesya Aleksandrovna, assistant of the chair of water management and environment¹, postgraduate student of the chair of urban planning, engineering networks and systems²

THE USE OF PERENNIAL CEREAL PLANTS IN THE TREATMENT OF SURFACE WASTEWATER FROM URBANIZED AREAS

¹Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering

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

e-mail: osamodolova@lan.spbgasu.ru

²South Ural State University

76, Lenin Prospekt, Chelyabinsk, 454080, Russia.

Tel.: +7 (902) 602-29-66; e-mail: samodolova@mail.ru

Key words: surface wastewater, canary, bioaccumulator plant, phytoremediation, local purification.

The results of research on the composition and structure of the canary plant are presented. The efficiency of extraction of heavy metals by the studied plant from the surface wastewater of residential areas is determined depending on the temperature and time of contact of the canary with wastewater. As a result of the study, the assumption was confirmed about the possibility of using canary as a potential bioaccumulator plant.



REFERENCES

1. Sablii L., Korenchuk M., Kozar M. Using of Lemna minor for polluted water treatment from biogenic elements // *Biotechnologia Acta*. 2019. № 12, P. 79-84.
2. Mishchenko O. A., Tishchenko V. P. Vliyanie ionov tyazhelykh metallov na rasteniya [The effect of heavy metal ions on plants]. *Sovremennyye issledovaniya v gumanitarnykh i estestvennonauchnykh otraslyakh* [Modern research in the humanities and natural sciences]. *Sbornik nauchnykh statey. Tikhookeanskiy gos. un-t. Moscow, Pero*, 2020. Ch. VI. P. 6-11.
3. Nikolaykina N. E., Nikolaykin N. I. Primenenie vysshey vodnoy rastitelnosti dlya doochistki stochnykh vod aeroportov [The use of higher aquatic vegetation for the post-treatment of airport wastewater] *Nauchnyy vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo un-ta grazhdanskoy aviatsii* [Scientific Bulletin of the Moscow State Technical University of Civil Aviation]. 2020, Vol. 23, № 3, P. 73-82.
4. Yukhnovich G. G., Belova E. A. Ochistka stochnykh i prirodnykh vod vysshimi rasteniyami [Purification of wastewater and natural waters by higher plants]. *Vestnik Grodnenskogo gosudarstvennogo universiteta im. Yanki Kupaly. Seriya 5. Ekonomika. Sociologiya. Biologiya*. [Bulletin of the Yanka Kupala Grodno State University. Episode 5. Economy. Sociology. Biology]. 2017, Vol. 7, № 1, P. 158-164.
5. Mishchenko O. A., Tishchenko V. P. K voprosu aktualnosti ochistki promyshlennykh stochnykh vod ot ionov tyazhelykh metallov pri pomoshchi vysshikh vodnykh rasteniy [On the issue of the relevance of industrial wastewater treatment from heavy metal ions using higher aquatic plants]. *Aktualnye problemy lesnogo kompleksa* [Actual problems of the forest complex]. 2020, № 58, P. 109-115.
6. Efremova M. E. Analiz ochistki stochnykh vod s pomoshchyu eykhornii [Analysis of wastewater treatment using eichornia]. *Modern scientific research : sbornik statey II Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy. Penza, Nauka i prosvyashchenie*, 2023, P. 93-96.
7. Kholodova S. N., Rudikov D. A. O vozmozhnosti primeneniya vodnogo giacinta dlya ochistki zagryaznennykh vod [On the possibility of using water hyacinth to purify polluted waters]. *Voda i ekologiya: problemy i resheniya* [Water and ecology: problems and solutions]. 2019, № 3(79), P. 70-76.
8. Tammam A., El-Aggan W., Abou-Shanab R., Mubarak M. Improved of growth and phytostabilization potential of lead (Pb) in *Glebionis coronaria* L. under the effect of IAA and GA3 alone and in combination with EDTA by altering biochemical attributes of stressed plants // *Int. J. Phytoremediation*. 2021. № 23. P. 958–968.
9. Palanivel T. M., Pracejus B., Victor R. Phytoremediation potential of castor (*Ricinus communis* L.) in the soils of the abandoned copper mine in Northern Oman: implications for arid regions // *Environ Sci Pollut Res*. 2020. № 27. P. 17359–17369.
10. Malysheva A. I., Ermakova E. N. Osobennosti ispolzovaniya mnogoletnikh zlakovykh kultur v ozelenenii gorodskikh i selskih territoriy [Features of the use of perennial cereals in landscaping urban and rural areas]. *Aktualnye voprosy sovremennykh tekhnologiy proizvodstva i pererabotki selskohozyajstvennoy produktsii* [Current issues of modern technologies of production and processing of agricultural products]: *Materialy Vserossiyskoy (natsionalnoy) nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem. Kurskiy gosudarstvennyy agrarny un-t im. I. I. Ivanova. Kursk*, 2023, Ch. 1, P. 239-246.

© О. А. Самодолова, 2025

Получено: 20.01.2025 г.