



УДК 628.3:633.584.4

**А. П. САМОДОЛОВ<sup>1,2</sup>**, ассистент кафедры водопользования и экологии, аспирант кафедры градостроительства, инженерных сетей и систем;  
**Д. В. УЛЬРИХ<sup>1</sup>**, д-р техн. наук, доц., декан факультета инженерной экологии и городского хозяйства

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТРОСТНИКА ДЛЯ ОЧИСТКИ КИСЛЫХ СТОКОВ ОТ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет»

Россия, 190005, г. Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4.

Тел.: (812) 316-35-10; эл. почта: dulrikh@lan.spbgasu.ru

<sup>2</sup>ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)», Южно-Уральский государственный университет

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

эл. почта: samodolov@mail.ru

*Ключевые слова:* техногенные воды, тростник, горно-обогатительное предприятие, биоаккумуляция, тяжелые металлы, поллютанты.

---

*Приведены результаты исследований взаимодействия тростника и кислотного стока горнометаллургического предприятия. Проанализирована возможность использования тростника для очистки кислых стоков, определена эффективность извлечения растениями тяжелых металлов. Исследования показали, что тростник можно эффективно использовать для очистки стоков от тяжелых металлов 1 и 2 класса опасности. Растения в агрессивной среде продолжили развитие и размножение, при этом извлекли значительную часть поллютантов из исходного стока.*

---

Научно-технический прогресс приводит к постоянному увеличению потребления природных ресурсов, в том числе ископаемых. Разработка месторождений полезных ископаемых приводит к значительному загрязнению почв, подземных вод, заболачиванию рек и водоемов. Негативное влияние добычи полезных ископаемых на поверхностные и подземные воды проявляются в эрозии разливов, отложении осадков, понижении уровня грунтовых вод, оседании грунтов, нарушении гидрологического цикла. Самыми опасными для окружающей среды и чаще всего встречающимися загрязнителями рудничных вод считаются хлористые соединения и свободная серная кислота, которой сопутствуют растворимые соли, главным образом сульфаты тяжелых металлов [1–5].

К основным современным методам очистки сточных вод относят адсорбцию/абсорбцию, ионный обмен, электродиализ, флотацию, электрофлотацию, электрокоагуляцию, обратный осмос и фиторемедиацию. Самым перспективным, по мнению авторов, методом является фиторемедиация – метод очистки техногенных сточных вод от тяжелых металлов с использованием растений. Способность растения корневой системой извлекать из почвы и воды тяжелые металлы и накапливать их в надземной части растения называют биоаккумуляцией. Основные достоинства этого метода – относительно низкая стоимость и простота во внедрении и обслуживании.

Цель проведенного исследования – оценка эффективности биоаккумуляции тяжелых металлов тростником из кислотных стоков горно-металлургических предприятий.

Тростник обыкновенный (*Phragmites communis*, syn. *P. australis*) – высокое многолетнее прибрежно-водное травянистое растение. Развивает мощные, толстые и длинные (до 2 м) подземные (редко надземные) очень ветвистые корневища. Стебли прямые (соломина) до 1 см толщины, полые, гладкие, гибкие, от ветра не ломаются. Листья 5–25 мм шириной, плотные серо- или темно-зеленые, длинные, узкие, ланцетно-линейные или линейные, суживающиеся к концу, заостренные, плоские, жесткие. Стебель заканчивается крупной (до 50 см длиной), развесистой, густой метелкой, с темно-буроватыми или фиолетовыми колосками (рис. 1) [6].



Рис. 1. Тростник в природных условиях (материал автора)

При проведении экспериментов образцы тростника помещали в цилиндры с 400 мл сточной воды.

Для оценки эффективности биоаккумуляции тяжелых металлов изучали изменение концентрации поллютантов в стоке. Через заданные промежутки времени 3, 6, 9, 24, 48, 72, 144 и 168 часов отбирали пробы стока. Температура при проведении исследования составляла 20 °С.

Химический состав исходного стока и его изменения в зависимости от условий испытаний определяли на атомно-эмиссионном спектрометре OPTIMA 2100DV с индуктивно связанной плазмой.

Для изучения структуры и состава вегетативных органов растений использовали методы электронно-микроскопического и микрорентгеноспектрального анализа на микроскопе JEOL JSM-6460 LV.

Исходный сток представляет собой смесь подотвальных вод с высоким содержанием поллютантов, в основном представленных тяжелыми металлами и низким водородным показателем. При проведении эксперимента учитывали, что растения будут высаживаться в природные водоемы, где концентрированный сток с предприятия разбавлен поверхностными водами, поэтому сильноокислый сток, отобранный на предприятии, разбавили дистиллированной водой в соотношении 1:10. Величина водородного показателя стока равна 3,04, поэтому одновременно с очисткой от загрязнителей необходимо рассматривать возможность



нейтрализации сточных вод. Химический состав исходного стока представлен в таблице.

### Химический состав исходного стока

Элемент	Al	As	Co	Fe	Cu	Pb	Zn
Содержание, мг/л	29,4	0,06	0,26	7,47	2,03	0,05	13,13

Как видно из таблицы, исходный сток загрязнен вредными веществами 1-го и 2-го класса опасности (1 класс – мышьяк, свинец, цинк, 2 класс – медь, кобальт), алюминием и железом. Эффективность биоаккумуляции оценивали по количественному изменению тяжелых металлов, входящих в состав исходного стока в статических условиях.

На рис. 2 приведены результаты исследования эффективности биоаккумуляции в системе «растение – кислотный сток» в статических условиях.

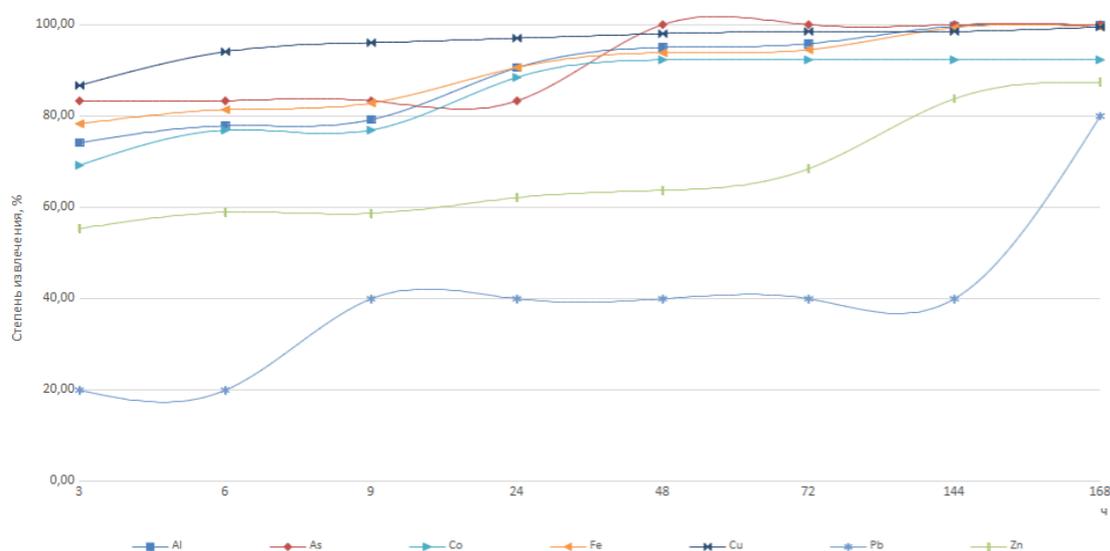


Рис. 2. Степень извлечения поллютантов из исходного при  $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$  при различном времени контакта, % (материал автора)

Как видно из результатов исследований, тростник посредством биоаккумуляции позволяет снизить концентрацию поллютантов в среднем на 80–100 %. Исключением является биоаккумуляция свинца, где наблюдается низкий уровень извлечения.

Необходимо отметить, что уровень pH в системе «растение – исходный сток» значительно увеличивается, до 5,82, что говорит о том, что тростник способен оказывать нейтрализующее действие на кислый сток.

При проведении микрорентгеноспектрального анализа выявлены увеличение концентрации тяжелых металлов в вегетативных органах тростника. При этом физиологического угнетения тростника в период исследований не наблюдалось, у растений появились новые побеги.

Результаты исследований, представленные в данной статье, показывают, что тростник позволяет эффективно удалить из подотвального стока значительную



часть поллютантов, включая наиболее опасные, отнесенные к 1 и 2 классу, при одновременной нейтрализации стока.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Олизаренко, В. В. Рудничный водоотлив при обработке медно-колчеданных месторождений Южного Урала / В. В. Олизаренко, М. М. Мингажев. – Магнитогорск : МГТУ, 2010. – 252 с. – ISBN 978-5-9967-0130-8.
2. Шадрунова, И. В. Гидроминеральные медьсодержащие георесурсы Урала / И. В. Шадрунова, А. С. Самойлова, А. Ю. Глухова. – Магнитогорск : Минитип, 2006. – 156 с. – ISBN 5-8004-0059-8.
3. Малышев, Ю. Н. Физико-химические процессы при добыче полезных ископаемых и их влияние на состояние окружающей среды / Ю. Н. Малышев, А. Т. Айруни, Е. Ю. Куликова. – Москва : Издательство Академии Горных Наук, 2002. – 270 с. – ISBN 5-7892-0092-3.
4. Абдрахманов, Р. Ф. Гидрогеоэкология Башкортостана / Р. Ф. Абдрахманов. – Уфа : Информреклама, 2005. – 344 с. – ISBN 5-94780-062-4.
5. Абдрахманов Р. Ф. Влияние техногенеза на поверхностные и подземные воды башкирского Зауралья и их охрана от загрязнения и истощения / Р. Ф. Абдрахманов, Р. М. Ахметов // Геологический сборник. – 2007. – № 6. – С. 266–269.
6. Макаров, В. Н. Возможность использования камыша в городских мерзлотных ландшафтах для биотехнологической очистки загрязненных водоемов / В. Н. Макаров. – Текст : электронный // Современные проблемы ландшафтоведения и геоэкологии : материалы VI Международной научной конференции. – Минск, 2018. – С. 143-145. – URL: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/209481>.

**SAMODOLOV Aleksander Pavlovich<sup>1,2</sup>, assistant of the chair of water management and ecology, postgraduate student of the chair of urban planning, engineering networks and systems; ULRIKH Dmitriy Vladimirovich<sup>1</sup>, doctor of technical sciences, associate professor, dean of the faculty of environmental engineering and urban management**

#### THE USE OF REEDS TO PURIFY ACIDIC WASTEWATER FROM HEAVY METALS

<sup>1</sup>St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering  
4, 2nd Krasnoarmeyskaya St., Saint Petersburg, 190005, Russia. Tel.: +7 (812) 316-35-10;  
e-mail: [dulrikh@lan.spbgasu.ru](mailto:dulrikh@lan.spbgasu.ru)

<sup>2</sup>South Ural State University (SUSU)

76, Lenin Prospekt, Chelyabinsk, 454080, Russia; e-mail: [samodolov@mail.ru](mailto:samodolov@mail.ru)

*Key words:* man-made waters, reeds, mining and processing enterprise, bioaccumulation, heavy metals, pollutants.

---

*The article describes the results of research on the interaction of reed and acid runoff of a mining and metallurgical enterprise. The possibility of using reeds to purify acidic wastewater is analyzed, and the efficiency of extracting heavy metals by plants is determined. Studies have shown that reed can be effectively used to clean wastewater from heavy metals of hazard class 1 and 2. Plants in an aggressive environment continued their development and reproduction, while extracting a significant part of the pollutants from the source runoff.*



## REFERENCES

1. Olizarenko V. V., Mingazhev M. M. Rudnichnyy vodootliv pri obrabotke medno-kolchedannykh mestorozhdeniy Yuzhnogo Urala [Mine drainage during processing of copper-pyrite deposits of the Southern Urals]. Magnitogorsk, MGTU, 2010, 252 p.
2. Shadrinova. I. V., Samoiloa A. S., Glukhova A. Yu. Gidromineralnye medsoderzhashchie georesursy Urala [Hydromineral copper-containing geo-resources of the Urals]. Magnitogorsk, Minitip, 2006, 156 p.
3. Malyshev Y. N., Ayruni A. T., Kulikova E. Yu. Fiziko-khimicheskie protsessy pri dobyche poleznykh iskopaemykh i ikh vliyaniye na sostoyaniye okruzhayushchey sredy [Physico-chemical processes in the extraction of minerals and their impact on the environment]. Moscow, Izd. Akademii Gornyykh Nauk, 2002. P. 270.
4. Abdrakhmanov R. F. Hidrogeoeкологиya Bashkortostana [Hydrogeoeecology of Bashkortostan]. Ufa, Informreklama, 2005, 344 p.
5. Abdrakhmanov R. F., Akhmetov R. M. Vliyaniye tekhnogeneza na poverkhnostnye i podzemnye vody bashkirskogo Zauralya i ikh okhrana ot zagryazneniya i istoshcheniya [The influence of technogenesis on surface and groundwater of the Bashkir Trans-Urals and their protection from pollution and depletion]. Geologicheskii sbornik [Geological collection]. 2007, № 6. P. 266-269.
6. Makarov V. N. Vozmozhnost ispolzovaniya kamysha v gorodskikh merzlotnykh landshaftakh dlya biotekhnologicheskoy ochistki zagryaznennykh vodoyomov [The possibility of using reeds in urban permafrost landscapes for biotechnological purification of polluted reservoirs]. Sovremennyye problemy landshaftovedeniya i geoeologii [Modern problems of landscape science and geoeecology]. materialy VI Mezhdunar. nauch. konf. Minsk, 2018, P. 143-145. – URL: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/209481>.

© А. П. Самодолов, Д. В. Ульрих, 2024

Получено: 07.11.2024 г.