

Естественные науки. 2023. № 4 (13). С. 35–41.

*Yestestvennye nauki = Natural Sciences*. 2023; 4 (13): 35–41 (In Russ.)

Научная статья

УДК 504.75

doi 10.54398/1818507X\_2023\_4\_35

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИОФИЛЬТРОВ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОГО УДАЛЕНИЯ ТЯЖЁЛЫХ МЕТАЛЛОВ И ОРГАНИЧЕСКИХ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ: ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

*Давыдова Екатерина Васильевна<sup>1✉</sup>, Мурзаева Эльмира Камаловна<sup>2</sup>*

<sup>1, 2</sup>Астраханский государственный университет имени В. Н. Татищева,  
г. Астрахань, Россия

katya\_11\_05@mail.ru<sup>✉</sup>

**Аннотация.** Биофильтр — это функциональный материал, полученный путём контролируемого термического разложения органического сырья из сельскохозяйственных культур, отходов лесного хозяйства, осадка сточных вод, биомассы водорослей, тростника и других органических соединений природного происхождения. Благодаря своим внутренним свойствам биофильтры получили широкое применение в качестве адсорбента для удаления широкого спектра загрязняющих веществ, таких как органические загрязнители и тяжёлые металлы. В настоящее время накопление загрязняющих веществ в промышленных, городских и сельскохозяйственных сточных водах стало серьёзной экологической проблемой. В этом исследовании были рассмотрены публикации, в которых основное внимание было уделено удалению тяжёлых металлов и органических загрязнителей с помощью биологических фильтров.

**Ключевые слова:** сточные воды, загрязнения, адсорбция, биофильтры, загрязнения окружающей среды, водные объекты, поверхностные воды

**Для цитирования:** Давыдова Е. В., Мурзаева Э. К. Использование биофильтров для эффективного удаления тяжёлых металлов и органических загрязнителей: обзор современных исследований // Естественные науки. 2023. № 4 (13). С. 35–41. [https://doi.org/10.54398/1818507X\\_2023\\_4\\_35](https://doi.org/10.54398/1818507X_2023_4_35).

## USING BIOFILTERS FOR THE EFFECTIVE REMOVAL OF HEAVY METALS AND ORGANIC POLLUTANTS: A REVIEW OF MODERN RESEARCH

Davydova Ekaterina V.<sup>1✉</sup>, Murzaeva Elmira K.<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Astrakhan Tatishchev State University, Astrakhan, Russia

katya\_11\_05@mail.ru✉

**Abstract.** A biofilter is a functional material obtained through the controlled thermal decomposition of organic raw materials from agricultural crops, forestry waste, sewage sludge, algae biomass, reeds and other organic compounds of natural origin. Due to their intrinsic properties, biofilters are widely used as adsorbents for the removal of a wide range of pollutants such as organic pollutants and heavy metals. Currently, the accumulation of pollutants in industrial, municipal and agricultural wastewater has become a serious environmental problem. This study reviewed publications that focused on the removal of heavy metals and organic pollutants using biological filters.

**Keywords:** wastewater, pollution, adsorption, biofilters, environmental pollution, water bodies, surface water

**For citation:** Davydova E. V. Murzaeva E. K. Use of biofilters for effective removal of heavy metals and organic pollutants: a review of current research. *Yestestvennye nauki = Natural Sciences*. 2023; 4 (13): 35–41. [https://doi.org/10.54398/1818507X\\_2023\\_4\\_35](https://doi.org/10.54398/1818507X_2023_4_35).

**Введение.** Появляющиеся загрязняющие вещества представляют собой синтетические или природные химические вещества, попадающие в воду и отрицательно влияющие на здоровье человека и окружающую среду [1]. В течение последнего десятилетия проводились исследования по выявлению источника, распространению и адсорбции загрязняющих веществ, таких как фармацевтические препараты и средства личной гигиены, стойкие органические загрязнители (СОЗ), косметические продукты, химические вещества, нарушающие работу эндокринной системы, и перфторированных соединений значительно возросло [2]. Основным источником загрязнения сточных вод являются сбросы загрязнённых поверхностных вод и промышленных сточных вод [3]. Поверхностные воды загрязняются, когда в них смешиваются возникающие загрязнители, такие как антибиотики, пестициды и пр. [4]. Сброс загрязняющих веществ в сточные воды увеличивается с каждым годом и делает характеристики сточных вод более токсичными, чем исходный источник воды [5]. До 2005 г. исследования в развивающихся странах не проводились из-за отсутствия представления о новых загрязнителях и их влиянии на экосистему и здоровье человека [6]. Исследования новых загрязнителей были начаты и постепенно расширялись с 2005 г., но отсутствовали надлежащие технологии и публикации исследований по удалению новых загрязнителей из сточных вод [2].

Беспокойство по поводу новых загрязнителей заключается в том, что неизвестно как они повлияют на здоровье человека, окружающую среду и водную среду в среднесрочной или долгосрочной перспективе. Учитывая, что доступно так мало комплексных исследований, это исследование было направлено

на выявление и синтез данных о загрязнителях в сточных водах, поступающих из сточных вод муниципальных, сельскохозяйственных и промышленных объектов [7].

Несмотря на то, что знания и возможности исследований расширились в области удаления загрязняющих веществ из сточных вод, их доступность может поставить под угрозу водных обитателей, людей и животных [8]. Мониторинг новых загрязнителей в сточных водах затруднён из-за их следовых концентраций, варьирующихся от наногرامмов на литр (нг/л) до миллиграммов на литр (мг/л), а также отсутствия дорогих, сложных и высокоточных аналитических приборов. Для удаления загрязняющих веществ из сточных вод было исследовано множество физических, химических и биологических методов [1–13]. Среди них наиболее благоприятным методом был метод уменьшения количества появляющихся загрязнений с использованием адсорбции [9].

Из-за отсутствия современных технологий очистки от новых токсинов экологические проблемы развивающихся стран становятся неотъемлемым аспектом тяжёлого экономического кризиса. Поэтому в последние десятилетия учёные сосредоточились на поиске экономически эффективных решений экологических проблем, вызванных неочищенными промышленными сточными водами. Загрязнители, такие как канцерогенные тяжёлые металлы, органические красители, фенолы, нитраты и другие соли, нанесли ущерб водной среде и человеческой жизни [10]. Ради окружающей среды устранение таких вредных веществ должно быть главным приоритетом. За последнее десятилетие учёные сообщили о ряде эффективных способов, включая анодирование в сочетании с анодной биосорбцией и химическим окислением [2–8]. Чтобы быть эффективным, помимо способности удалять примеси из очищенных сточных вод, метод также должен быть экономичным и простым в использовании. Процесс адсорбции очень эффективен при удалении загрязняющих веществ из сточных вод, что позволяет значительно сократить объём сточных вод. Очистка сточных вод на протяжении десятилетий в значительной степени опиралась на коммерческий активированный уголь. Конечно, адсорбция на активированном угле имеет множество преимуществ, включая способность удалять различные загрязняющие вещества, включая красители всех видов, а также другие органические и неорганические загрязнители, такие как хлорированные и нехлорированные, фенольные соединения, ионы, металлы, пестициды и моющие средства [11].

В качестве эффективного адсорбента активированный уголь продемонстрировал свою исключительную способность удалять различные красители и металлы, однако его высокая цена по-прежнему является серьёзным недостатком [12]. Растительные материалы изучались на предмет их потенциального применения в процессах очистки сточных вод. Растительные материалы можно найти в большинстве стран, и они обладают такой же адсорбционной способностью, что и коммерческий активированный уголь [13].

**Материалы и методы.** Для исследования был использован обзор литературы с использованием значительного числа статей, опубликованных в период

с 2012 по 2022 г. из баз данных РИНЦ и Google Scholar. В этом исследовании обобщены способы получения, производства и механизмы удаления загрязняющих веществ из сточных вод с использованием экономичного и высокоэффективного адсорбента, которым является биоуголь.

Был проведён поиск в литературе биоугля, полученного из других отходов, включая жом сахарного тростника, осадки сточных вод, биомассу водорослей, навоз животных и солому из древесины / растений. Например, поиск был выполнен с использованием ключевых слов: биоуголь, адсорбция, фруктовая кожура, органические загрязнители, удаление тяжёлых металлов, промышленные, муниципальные и сельскохозяйственные сточные воды (табл.).

Таблица — Обзор биофильтров и их применения в различных областях

Материал	Методы приготовления	Температура, °С	Время, часы	Применение
Пшеничная солома	Пиролиз	550	0,75	Для удаления возникающих загрязнений из многокомпонентного раствора
Хвойная древесина	Быстрый пиролиз	770	1	Для удаления возникающих загрязнений из многокомпонентного раствора
Остатки сельскохозяйственного леса	Медленный пиролиз	300–700	0,01–2,0 (°С/сек)	Для удаления тяжёлых металлов из сточных вод
Отходы рисовой шелухи	Пиролиз	450	2	Удаление Cr (VI) из сточных вод
Бамбук	Пиролиз	370	8	Удаление загрязняющих веществ из воды
Фруктовая кожура	Пиролиз	400–500		Удаление загрязнённых пальмовым маслом сточных вод
Биомасса	Пиролиз и прокаливание	400	6	Расширение сотрудничества в области сточных вод и полимеров

Существует несколько методов удаления загрязняющих веществ из сточных вод, показанных на рисунке. По сравнению с другими методами адсорбция имела лучшую скорость удаления загрязнений [13].

В последние годы применение биоугля стало популярным направлением, преимущества которого включают улучшение почвы, повышение урожайности в сельском хозяйстве. Недавние исследования адсорбентов на основе биоугля для удаления водных загрязнителей оказали положительное влияние как на секвестрацию углерода, так и на контроль загрязнения воды. Благодаря обилию сырья, низкой стоимости и благоприятным физическим / химическим свойствам поверхности биоуголь способен поглощать загрязнители воды [4–8].



Рисунок — Технологии очистки загрязняющих веществ

**Заключение.** В исследовании были рассмотрены различные биоугли, свойства, влияющие факторы и способы удаления новых загрязнителей из сточных вод. В последние годы биоуголь широко документирован как мощный адсорбент для удаления органических загрязнителей из широкого спектра экологических матриц. В этом исследовании был проведён тщательный обзор литературы по биоуглю для адсорбции органических веществ из воды с целью осветить самые последние достижения исследований.

#### Список литературы

1. Ван, В. Экотоксикологическое воздействие микропластика на водную пищевую сеть: от первичного производителя до человека: обзор / В. Ван и др. // Экотоксикология и экологическая безопасность. — 2019. — Т. 173. — С. 110–117.
2. Висанджи, З. Новые загрязнители в развивающихся странах: оптимизация устойчивых решений по очистке / З. Висанджи и др. // Международная конференция по гидроинформатике. — 2018.
3. Башер, Б. Формирование азотистых функциональных групп в биоугольных материалах и их роль в уменьшении выбросов опасных органических загрязнителей из сточных вод / Б. Башер и др. // Журнал опасных материалов. — 2021. — Т. 416. — С. 126–131
4. Галиндо-Миранда, Дж. М. Наличие новых загрязнителей в поверхностных водах окружающей среды и методология их анализа — обзор / Дж. М. Галиндо-Миранда и др. // Водоснабжение. — 2019. — Т. 19, № 7. — С. 1871–1884.
5. Агуэра, А. Новые тенденции в аналитическом определении возникающих загрязнителей и продуктов их трансформации в природных водах / А. Агуэра, М. Х. Мартинес Буэно, А. Р. Фернандес-Альба // Наука об окружающей среде и исследования загрязнения. — 2013. — Т. 20. — С. 3496–3515.
6. Деблонд, Т. Новые загрязнители в сточных водах: обзор литературы / Т. Деблонд, К. Коссу-Легиль, П. Хартеманн // Международный журнал гигиены и гигиены окружающей среды. — 2011. — Т. 214, № 6. — С. 442–448.
7. Ян, Ю. Применение биоугля для очистки загрязненных отложений / Ю. Ян и др. // Журнал опасных материалов. — 2021. — Т. 404. — С. 124052.
8. Мираджи, Х. Тенденции исследования новых загрязнителей водной среды Танзании / Х. Мираджи и др. // Scientifica. — 2016. — Т. 2016.
9. Луо, З. Новые взгляды на адсорбцию органических загрязнений биоуглем: обзор / З. Луо и др. // Хемосфера. — 2022. — Т. 287. — С. 132113.

10. Он, Л. Биоуголь сахарного тростника как новый катализатор высокоэффективного окислительного удаления органических соединений в воде / Л. Он и др. // Химико-технический журнал. — 2021. — Т. 405. — С. 126895.

11. Чжу, Х. Взгляд на адсорбцию фармацевтических препаратов и средств личной гигиены (PPCP) на биоугле и активированном угле с помощью машинного обучения / Х. Чжу и др. // Журнал опасных материалов. — 2022. — Т. 423. — С. 127060.

12. Амбайе, Т. Г. Механизмы и адсорбционная способность биоугля для удаления органических и неорганических загрязнителей из промышленных сточных вод / Т. Г. Амбайе и др. // Международный журнал экологических наук и технологий. — 2021. — С. 1–22.

13. Аджибаде, П. А. Адсорбция кетопрофена и бензофенона на магнитном нанокompозите из водного раствора феррита марганца и биоугля / П. А. Аджибаде, Э. К. Ннадозие // Химия окружающей среды и экотоксикология. — 2022. — Т. 4. — С. 140–147.

### References

1. Van, V. et al. Ekotoksikologicheskoe vozdeystvie mikroplastika na vodnuyu pishchevuyu set: ot pervichnogo proizvoditelya do cheloveka: obzor. *Ekotoksikologiya i ekologicheskaya bezopasnost = Ecotoxicology and environmental safety*. 2019; 173: 110–117.

2. Visandzhi, Z. et al. Novye zagryazniteli v razvivayushchikhsya stranakh: optimizatsiya ustoychivyykh resheniy po ochistke. *Mezhdunarodnaya konferentsiya po gidroinformatike = International Conference on Hydroinformatics*. 2018.

3. Basher, B. et al. Formirovanie azotistyykh funktsionalnykh grupp v biougolnykh materialakh i ikh rol v umenshenii vybrosov opasnykh organicheskikh zagryazniteley iz stochnykh vod. *Zhurnal opasnykh materialov = Hazardous Materials Log*. 2021; 416: 126–131.

4. Galindo-Miranda, Dzh. M. et al. Nalichie novyykh zagryazniteley v poverhnostnykh vodakh okruzhayushchey sredy i metodologiya ih analiza — obzor. *Vodosnabzhenie = Water supply*. 2019; 19(7): 1871–1884.

5. Aguera, A., Martines Bueno, M. H., Fernandes-Alba, A. R. Novye tendentsii v analiticheskom opredelenii vznikayushchikh zagryazniteley i produktov ih transformatsii v prirodnykh vodakh. *Nauka ob okruzhayushchey srede i issledovaniya zagryazneniya = Environmental Science and Pollution Research*. 2013; 20: 3496–3515.

6. Deblond, T., Kossu-Legil, K., Hartemann, P. Novye zagryazniteli v stochnykh vodakh: obzor literatury. *Mezhdunarodnyy zhurnal gigieny i gigieny okruzhayushchey sredy = International Journal of Hygiene and Environmental Health*. 2011; 214(6): 442–448.

7. Yan, Yu. Et al. Primenenie biouglya dlya ochistki zagryaznennykh otlozheniy. *Zhurnal opasnykh materialov = Hazardous Materials Log*. 2021; 404: 124052.

8. Miradzhi, Kh. Et al. Tendentsii issledovaniya novyykh zagryazniteley vodnoy sredy Tanzanii. *Scientifica*. 2016; 2016.

9. Luo, Z. et al. Novye vzglyady na adsorbtsiyu organicheskikh zagryazneniy biouglem: obzor. *Hemosfera = Chemosphere*. 2022; 287: 132113.

10. Он, Л. et al. Biougol sakharnogo trostnika kak novyy katalizator vysokoeffektivnogo okislitel'nogo udaleniya organicheskikh soedineniy v vode. *Khimiko-tekhnicheskiiy zhurnal = Chemical-technical journal*. 2021; 405: 126895.

11. Chzhu, Kh. et al. Vzglyad na adsorbtsiyu farmatsevticheskikh preparatov i sredstv lichnoy gigieny (PPCP) na biogle i aktivirovannom ugle s pomoshchyu mashinnogo obucheniya // *ZHurnal opasnykh materialov = Hazardous Materials Log*. 2022; 423: 127060.

12. Ambaye, T. G. et al. Mekhanizmy i adsorbtsionnaya sposobnost biouglya dlya udaleniya organicheskikh i neorganicheskikh zagryazniteley iz promyshlennykh stochnykh vod. *Mezhdunarodnyy zhurnal ekologicheskikh nauk i tekhnologiy = International Journal of Environmental Science and Technology*. 2021: 1–22.

13. Adzhibade, P. A., Nnadozie, E. K. Adsorbciya ketoprofena i benzofenona na magnitnom nanokompozite iz vodnogo rastvora ferrita marganca i biouglya. *Khimiya okruzhayushchey sredy i ekotoksikologiya = Environmental Chemistry and Ecotoxicology*. 2022; 4: 140–147.

**Информация об авторах**

Давыдова Е. В. — магистрант;

Мурзаева Э. К. — магистрант.

**Information about the authors**

Davydova E. V. — undergraduate;

Murzaeva E. K. — undergraduate.

**Вклад авторов**

Все авторы сделали эквивалентный вклад в публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Contribution of the authors**

All authors have made equivalent contributions to publications.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 16.11.2023; одобрена после рецензирования 21.11.2023; принята к публикации 24.11.2023.

The article was submitted 16.11.2023; approved after reviewing 21.11.2023; accepted for publication 24.11.2023.