



Обзорная статья/Review Article

УДК 504.4.054

DOI: 10.36718/1819-4036-2024-9-3-10

Ирина Евгеньевна Липпо

Всероссийский научно-исследовательский институт интегрированного рыбоводства, филиал ФИЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста, п. им. Воровского, Московская обл., Россия

lippoir@bk.ru

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЫСШИХ ВОДНЫХ РАСТЕНИЙ ДЛЯ ФИТОРЕМЕДИАЦИИ ВОДЫ ОТ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ И РАЗЛИЧНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Цель исследования – проведение ретроспективного анализа литературных данных для обобщения знаний о значении фиторемедиаторов в очистке сточных вод и при выращивании рыб в индустриальных условиях. В ходе исследования было проанализировано более 120 отечественных и зарубежных источников. Для поиска использованы такие базы данных, как Cyberleninka, Elibrary, Frontiersin, Google Scholar, Researchgate и др. Проведенный обзор существующей литературы, описывающий возможности различных видов высших водных растений, позволяет сделать вывод, что большинство из растений обладает способностью эффективно осуществлять биоремедиацию воды в различных условиях. Это открывает перспективы для разработки новых методов использования растительных компонентов в очистных сооружениях. Кроме того, они имеют потенциал для удаления токсичных соединений и органических отходов из водной среды, а также могут быть применены в качестве компонента биофильтра или основного элемента для циклической очистки воды. В настоящее время существуют некоторые технологии, которые используют водные растения для ремедиации воды, однако данное направление требует дальнейшего исследования и развития. С учетом оценки потенциала различных растений-ремедиаторов можно сделать вывод, что большинство высших водных растений имеют способность утилизировать из воды опасные соединения и участвовать в очистке от органических элементов. В первом случае имеет место разработка новых способов утилизации растительных отходов, содержащих токсичные элементы. А при получении растительной продукции, выращенной на рыбохозяйственных водоемах или в условиях гидропоники, возникает необходимость разработки рецептуры новых кормов с применением данной продукции для кормления животных.

Ключевые слова: фиторемедиация, сточные воды, аккумуляция, фитоочистка, макрофиты, ряска, высшие водные растения

Для цитирования: Липпо И.Е. Оценка возможности использования высших водных растений для фиторемедиации воды от органических веществ и различных соединений // Вестник КрасГАУ. 2024. № 9. С. 3–10. DOI: 10.36718/1819-4036-2024-9-3-10.

Благодарности: исследование выполнено в рамках госзадания № FGGN-2024-0016.

Irina Evgenyevna Lippo

All-Russian Research Institute of Integrated Fish Farming, branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution FRC VIZh named after L.K. Ernst, Vorovskogo settlement, Moscow Region, Russia
lippo@bk.ru

USING HIGHER AQUATIC PLANTS POSSIBILITY ASSESSMENT FOR PHYTOREMEDIATION OF WATER FROM ORGANIC SUBSTANCES AND VARIOUS COMPOUNDS

The aim of the study is to conduct a retrospective analysis of literature data to summarize knowledge about the importance of phytoremediators in wastewater treatment and fish farming under industrial conditions. During the study, more than 120 domestic and foreign sources were analyzed. The following databases were used for the search: Cyberleninka, Elibrary, Frontiersin, Google Scholar, Researchgate, etc. The conducted review of the existing literature describing the capabilities of various types of higher aquatic plants allows us to conclude that most plants have the ability to effectively carry out water bioremediation under various conditions. This opens up prospects for the development of new methods for using plant components in treatment facilities. In addition, they have the potential to remove toxic compounds and organic waste from the aquatic environment, and can also be used as a component of a biofilter or the main element for cyclic water purification. Currently, there are some technologies that use aquatic plants for water remediation, but this area requires further research and development. Taking into account the assessment of the potential of various remediation plants, it can be concluded that most higher aquatic plants have the ability to utilize hazardous compounds from water and participate in the purification of organic elements. In the first case, there is the development of new methods for the disposal of plant waste containing toxic elements. And when receiving plant products grown in fishery reservoirs or in hydroponics, there is a need to develop a recipe for new feeds using these products for feeding animals.

Keywords: phytoremediation, wastewater, accumulation, phytoremediation, macrophytes, duckweed, higher aquatic plants

For citation: Lippo I.E. Using higher aquatic plants possibility assessment for phytoremediation of water from organic substances and various compounds // Bulliten KrasSAU. 2024;(9): 3–10 (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2024-9-3-10.

Acknowledgments: the study has been carried out within the framework of state assignment № FGN-2024-0016.

Введение. Индустриальное развитие общества сильно сказывается на антропогенном загрязнении, многие производства и заводы рыбохозяйственного назначения оказывают прямое воздействие на окружающую среду, в т. ч. и водную, так как чаще всего используют природные воды для работы. Подобные действия неоспоримо оказывают влияние на естественные водоемы и гидробионтов в них [1–3].

Загрязнение воды оказывает значимое влияние на здоровье людей. Помимо нехватки пресной воды, вызванной ее ограниченными запасами, существует и другая проблема – загрязнение воды, связанное с прогрессом цивилизации. Согласно данным Всемирной организации здравоохранения, 25 % всех заболеваний связаны с использованием загрязненной воды в питьевых целях [4, 5].

Фиторемедиация представляет собой естественный процесс очищения окружающей сре-

ды от антропогенных загрязнителей. Данный термин используется для обозначения способов очистки сточных вод, природных водоемов и прудов с применением метаболического потенциала водных растений и макрофитов [6].

Чаще всего для очистки применяют водные растения, поскольку они в отличие от микроорганизмов обладают способностью накапливать ионы тяжелых металлов. Более того, водные растения сохраняют жизнеспособность в течение длительного времени и их остатки с накопленными ядовитыми веществами легче утилизировать, если речь идет об очистке воды от опасных веществ [7, 8]. Фиторемедиация предлагает несколько значимых преимуществ: экономическая эффективность, поскольку затраты намного ниже, чем у традиционных методов; возможность извлечения загрязнителей вместе с растениями-ремедиаторами и дальнейшая утилизация, а также обеспечение безопасности

для очищаемой среды и окружающих объектов. В то же время необходимо учитывать некоторые недостатки этого метода, такие как продолжительность процесса и глубина очистки [9].

В системах фитотехнологий органические вещества способны разлагаться как в аэробных, так и анаэробных условиях. В аэробном случае кислород поступает из атмосферы благодаря конвективно-диффузионным процессам и через корни макрофитов. Для эффективного извлечения органических и биогенных веществ из сточных вод необходимо учитывать различные факторы, такие как pH, температура воды, количество кислорода, содержание углерода, нагрузка на систему и условия поступления загрязнителей. Кроме того, важно учитывать время нахождения воды в системе, ее гидрологический баланс и своевременность удаления водных растений. Обычно в качестве субстрата используют песок и гравий, но также в некоторых ситуациях для улучшения условий очищения применяют древесные опилки, цеолит, слюду, золу, уголь, торф или компост. Многие из этих материалов можно комбинировать с растениями для достижения синергетического эффекта в очистке [10].

Исследования, направленные на изучение возможности фиторемедиации воды с использованием высших водных растений для очистки природной воды от органических загрязнений и токсичных соединений, на данный момент практически не проводились. Исходя из этого, исследования в данной области являются на сегодняшний день актуальными [4].

Цель исследования – проведение ретроспективного анализа литературных данных для обобщения знаний о значении фиторемедиаторов в очистке сточных вод и при выращивании рыб в промышленных условиях.

Материалы и методы. В ходе исследования было проанализировано более 120 отечественных и зарубежных источников. Для поиска использованы такие базы данных, как Cyberleninka, Elibrary, Frontiersin, Google Scholar, Researchgate и др.

Результаты и их обсуждение. Для фиторемедиации воды могут быть использованы как наземные, так и водные растения, способные накапливать различные соединения из окружающей среды. Наиболее распространенными водными растениями, используемыми для фиторемедиации воды, являются: ряска малая (*Lemna minor*), вольфия (*Wolffia*), пистия телоре-

зовидная (*Pistia stratiotes*), роголистник (*Ceratophyllum*), водный гиацинт (*Eichornia*) и другие, которые встречаются на территории Российской Федерации [9].

Водные растения способны удалять из среды различные биогены, такие как азот и фосфор, и включать их в собственный процесс метаболизма. А в процессе ризофильтрации ряска малая (*Lemna minor*) способна накапливать в своих тканях белковые соединения [11]. В ряске малой содержится почти столько же белка, сколько в листьях бобов, а питательные свойства этой травы приближены к культурным зерновым злакам [12].

Известно, что растения рода *Lemnoideae* можно использовать не только для очистки вод, но и впоследствии перерабатывать в качестве кормовой добавки для животных, дополнительного источника белка, растительных волокон и минеральных веществ. По литературным данным, в сухом веществе ряски содержится до 38 % белка, до 5 % жира, 17–23 % клетчатки, 6 % кальция, 3 % фосфора, 2 % магния. Ряска содержит незаменимые аминокислоты (аргинин, лизин), аспарагиновую и глютаминовую кислоты, углеводы, витамины группы А, В и Е. Из важнейших макро- и микроэлементов она богата бромом, йодом, кальцием, что делает ее хорошим источником питательных веществ [12, 13].

Растения, используемые в качестве ремедиаторов, имеют немаловажное значение при очистке вод от органических соединений. В работе Е.Э. Нефедьевой (2017) в ходе эксперимента было установлено, что растения, помещенные в отстойник с загрязненной отходами водой, успешно вбирали в себя различные соединения, по окончании эксперимента отработанные растения утилизировали, сжигая в электропечах. После сжигания в печи зола брикетировалась и применялась как удобрение. Данный способ может быть успешно использован для утилизации растений после ремедиации, если они находились в сильно загрязненной водной среде. Кроме того, погруженные в воду растения, к примеру рода *Elodea*, могут быть размещены внутри несущего элемента для биологической загрузки в качестве добавочной загрузки или как один из блоков очистки. Применение данного способа является хорошей возможностью создать биофильтр полностью или частично из растительных компонентов [14].

Помимо снижения количества органических соединений в воде с помощью фиторемедиаторов возможно и извлечение из водоема тяжелых металлов и других токсичных соединений. Г.А. Сорокиной и соавторами (2013) была изучена возможность адаптации пистии телорезовидной (*Pistia stratiotes*) к действию ионов меди. Согласно полученным данным, взрослые образцы пистии телорезовидной могут сохранять жизнеспособность при воздействии ионов меди в концентрациях, в 125 раз превышающих ПДК [15]. Также в литературных данных [16, 17] упоминается, что содержание большинства металлов в высших водных растениях, как правило, отмечается в большем количестве в плавающих макрофитах, чем в корневых надводных гелофитах, поэтому они могут быть более перспективны для ремедиации вод.

Исследование С.А. Остроумова и Т.В. Шестакова (2009) позволило установить, что макрофит роголистник погруженный (*C. demersum*) оказывает значительное влияние на снижение концентрации металлов в растворе. Эксперименты показали, что присутствие роголистника погруженного способствует ускорению процесса снижения концентрации поллютантов (металлов Cu, Zn, Cd, Pb) в воде. Это имеет большое значение для разработки фитотехнологий очистки воды. Интересно отметить, что согласно данным авторов, снижение концентрации металлов в воде наблюдалось и после гибели растения [18]. А согласно представленным Т.А. Кирдей данным (2017) добавление гуминовых кислот служит эффекторами фитоэкстракции и повышает уровень накопления свинца, меди и кадмия в растениях, тем самым повышая эффективность фиторемедиации [19].

Авторами Б.А. Каримовым и А.М. Исмаиловой (2017) проведено исследование, посвященное культивированию ряски малой на сточных водах очистных сооружений, очищенных в аэротенках. В результате эксперимента было установлено, что оптимальными условиями для максимального массонакопления ряски малой являются смесь сточных вод и водопроводной воды в пропорции 50 : 50 %, при этом среднесуточный прирост ряски составлял 126,4 г/м. Органические соединения из сточных вод могут использоваться для получения из них более питательной растительной продукции, которая в случае соответствия пищевым требованиям

может быть использована для приготовления кормов сельскохозяйственным животным [20].

При работе с водными участками, загрязненными опасными или токсичными соединениями, целесообразно использование водных растений, способных впитывать данные соединения, с последующей утилизацией полученной растительной массы. Этот способ экономически оправдан, так как очистительные сооружения чаще всего дорогостоящие, а в случае с фиторемедиаторами стоит вопрос только правильной переработки.

Однако если нет необходимости очистки воды от токсичных соединений, а речь идет о ремедиации воды при выращивании рыб в установке замкнутого водоснабжения или водоемах, то при добавлении водных макрофитов в цикл выращивания можно значительно снизить количество растворенной в воде органики, так как растения после поглощения используют ее для собственного метаболизма. Впоследствии растения, накопившие в себе вещества, могут применяться как кормовая добавка для сельскохозяйственных животных или быть составной частью корма.

Как показывает практика, в рыбохозяйственных водоемах отсутствуют опасные загрязнения, а отходы от выращивания рыб (их экскременты и остатки кормов) создают питательную среду и имеют необходимые удобрения для полноценного развития растений, в связи с чем данная фитопродукция является безопасной для кормления животных.

В работе Т.В. Кирилиной и соавторов (2011) рассматривается возможность очистки сточных вод от соединений азота и фосфора с помощью погруженных макрофитов. Растения помещались в секционный проточный резервуар, разделенный перегородками, конструкция представляла из себя фитофильтр. В процессе опыта были экспериментально изучены особенности утилизации органических веществ из сточных вод с использованием роголистника *Ceratophyllum demersum* и *Ceratophyllum submersum*. В течение проведенного эксперимента исследователями было отмечено снижение концентраций азота и фосфора, а в дальнейшем выдвинута гипотеза о возможности формирования на поверхности растений микробиоценоза, участвующего в протекании процесса нитрификации. Подтверждением является тот факт, что микроорганизмы крепятся к поверхности растений,

формируя подобие биопленки, аналогичной пленке, формирующейся в биофилт্রে [21, 22].

Также известен способ, описанный авторами Н.Ю. Кирюшиной и В.С. Юровой (2022), при котором в тонущую биозагрузку фильтра высаживались растения таким образом, чтобы комбинировалась классическая технология биофилтра и фитофилтра [23].

Проведенный обзор существующей литературы, описывающий возможности различных видов высших водных растений, позволяет сделать вывод, что большинство из растений обладает способностью эффективно осуществлять биоремедиацию воды в различных условиях. Это открывает перспективы для разработки новых методов использования растительных компонентов в очистных сооружениях. Кроме того, они имеют потенциал для удаления токсичных соединений и органических отходов из водной среды, а также могут быть применены в качестве компонента биофилтра или основного элемента для циклической очистки воды. В настоящее время существуют некоторые технологии, которые используют водные растения для ремедиации воды, однако данное направление требует дальнейшего исследования и развития.

Заключение. С учетом оценки потенциала различных растений-ремедиаторов можно сделать вывод, что большинство высших водных растений имеют способность утилизировать из воды опасные соединения и участвовать в очистке от органических элементов. В первом случае имеет место разработка новых способов утилизации растительных отходов, содержащих токсичные элементы. А при получении растительной продукции, выращенной на рыбохозяйственных водоемах или в условиях гидропоники, возникает необходимость разработки рецептуры новых кормов с применением данной продукции для кормления животных.

Список источников

1. Бригида А.В., Елизарова А.С., Шишанов Г.А. Влияние кислородных режимов водной среды на физиологическое состояние осетровых рыб, разводимых в установках замкнутого водоснабжения (обзор) // Рыбоводство и рыбное хозяйство. 2023. Т. 17, № 9 (212). С. 629–638.
2. Елизарова А.С., Бригида А.В. Влияние условий инкубации икры на процент выклева и выживаемость личинки русского осетра (*Acipenser guldenstadtii* Brandt) // Современные проблемы и перспективы развития рыбного хозяйства и аквакультуры в регионах: мат-лы Всерос. науч.-практ. конф. / Дагестан. гос. аграр. ун-т им. М.М. Джамбулатова, 2023. С. 62–68.
3. Елизарова А.С., Шишанов Г.А., Бригида А.В. Возможность использования ихтиогенного осадка для удовлетворения кормовых потребностей последующих трофических уровней в биологических системах // Современное состояние и перспективы развития кормопроизводства и рационального кормления животных: сб. науч. мат-лов Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Уфа, 2022. С. 109–113.
4. Петухова Д.Е., Бахирева О.И., Пан Л.С. Исследование макрофитов с целью применения для очистки природных вод от ионов стронция // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Химическая технология и биотехнология. 2022. № 3. С. 5–15.
5. Полякова Е.В. Стронций в источниках водоснабжения Архангельской области и его влияние на организм человека // Экология человека. 2012. № 2. С. 9–14.
6. Бочка В.В. Устойчивость роголистника погруженного (*Ceratophyllum demersum* L.) к воздействию ионов меди и цинка // Мат-лы XV Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых / Краснояр. гос. аграр. ун-т. Красноярск, 2022. С. 74–78.
7. Душенков В., Раскин И. Фиторемедиация: зеленая революция в экологии // Химия и жизнь – XXI век. 1999. № 11/12. С. 48–49.
8. Бардюкова А.В. Оценка перспективы использования свободноплавающих гидрофитов для фиторемедиации вод // Молодые исследователи – регионам: мат-лы Междунар. науч. конф. Вологда: Вологод. гос. ун-т, 2019. С. 418–419.
9. Деменкова Л.Г., Мартынюк Т.В. Фиторемедиация сточных вод рыбохозяйственного производства // Экология и безопасность техносфере: современные проблемы и пути решения: сб. тр. Всерос. науч.-практ. конф. Томск: Нац. исследовательский Томский политехнический ун-т, 2017. С. 78–80.
10. Казмирук В.Д. Барьерная роль макрофитов при загрязнении водных объектов микро-

- пластиком // Наука. Инновации. Технологии. 2021. № 3. С. 133–149. DOI: 10.37493/2308-4758.2021.3.9.
11. Аль Кассаб А.А., Шевченко Г.А., Хващевская А.А. Применение ряски (*Lemna minor*) для очистки сточных вод из метантенка // Высокие технологии в современной науке и технике (ВТСНТ-2016): сб. науч. тр. V Междунар. науч.-техн. конф. молодых ученых, аспирантов и студентов. Томск, 2016. С. 314–315.
 12. Хишова О.М., Дубашинская Н.В., Авдаченко В.Д. Некоторые аспекты безопасности травы ряски малой // Рецепт. 2016. Т. 19, № 4. С. 463–467. EDN WXDSPD.
 13. Климова Е.В., Евсютичева Д.Е. Возможности использования макрофита *lemna minor* в пищевой промышленности // Все о мясе. 2020. № 5S. С. 134–136.
 14. Доочистка сточных вод с помощью фиторемедиации / Е.Э. Нефедьева [и др.] // Вестник Казанского технологического университета. 2017. Т. 20, № 10. С. 145–148.
 15. Оценка возможности использования пистии телорезовидной (*Pistia stratiotes*) и ряски малой (*Lemna minor*) для фиторемедиации водной среды / Г.А. Сорокина [и др.] // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2013. № 11. С. 182–186.
 16. Филипенко Е.Н., Тихоненкова Л.А., Филипенко С.И. Способность макрофитов Кучурганского водохранилища к накоплению металлов в водоеме-охладителе Молдавской ГРЭС // Вестник Приднестровского университета. Сер. «Медико-биологические и химические науки». 2019. № 2 (62). С. 73–81.
 17. Ekperusi A., Sikoki F., Nwachukwu E. Sorption of cadmium, chromium, lead, and vanadium from artificial wetlands using *Lemna aequinoctialis* // International Journal of Phytoremediation. 2023. DOI: 10.1080/15226514.2023.2272766.
 18. Остроумов С.А., Шестакова Т.В. Снижение измеряемых концентраций Cu, Zn, Cd, Pb в воде экспериментальных систем с *Ceratophyllum demersum*: потенциал фиторемедиации // Доклады Академии наук. 2009. Т. 428, № 2. С. 282–285.
 19. Курдей Т.А. Влияние гумусовых кислот низинного торфа на ремедиационные свойства растений пшеницы при комплексном загрязнении тяжелыми металлами // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2021. Т. 11, № 2. С. 228–235. DOI: 10.21285/2227-2925-2021-11-2-228-235.
 20. Каримов Б.А., Исмаилова А.М. Культивирование *Lemna minor* L. на сточных водах городской канализации // Universum: химия и биология. 2017. № 1 (31). С. 16–19.
 21. Аспекты биотрансформации фосфора в микробной дефосфотации сточных вод / А.А. Хасанова [и др.] // Перспективные направления физико-химической биологии и биотехнологии: сб. тез. XXXIII Зимней междунар. молодежной науч. шк. (Москва, 08–11 февраля 2021 года). М.: Ин-т биоорганической химии им. акад. М.М. Шемякина и Ю.А. Овчинникова РАН, 2021. С. 177. EDN WLTTGU.
 22. Савельева Л.С., Эпов А.Н. Очистка сточных вод на биоплато // Экология и промышленность России. 2000. № 8. С. 26–28.
 23. Курюшина Н.Ю., Юрова В.С. Использование фитофильтров при очистке сточных вод // Рациональное использование природных ресурсов и переработка техногенного сырья: фундаментальные проблемы науки, материаловедение, химия и биотехнология: мат-лы Междунар. науч. конф. (Алушта-Белгород, 30 мая – 3 июня 2022 г.). Белгород: Белгород. гос. технолог. ун-т им. В.Г. Шухова, 2022. С. 173–176. EDN KBPSCF.

References

1. Brigida A.V., Elizarova A.S., Shishanov G.A. Vliyaniye kislorodnykh rezhimov vodnoy sredy na fiziologicheskoye sostoyaniye osetrovyykh ryb, razvodimyykh v ustanovkakh zamknutogo vodosnabzheniya (obzor) // Rybovodstvo i rybnoye hozyajstvo. 2023. Т. 17, № 9 (212). С. 629–638.
2. Elizarova A.S., Brigida A.V. Vliyaniye usloviy inkubacii ikry na procent vykleva i vyzhivaemost' lichinki russkogo osetra (*Acipenser guldenstadtii* Brandt) // Sovremennyye problemy i perspektivy razvitiya rybnogo hozyajstva i akvakul'tury v regionah: mat-ly Vseros. nauch.-prakt. konf. / Dagestan. gos. agrar. un-t im. M.M. Dzhambulatova, 2023. С. 62–68.
3. Elizarova A.S., Shishanov G.A., Brigida A.V. Vozmozhnost' ispol'zovaniya ihtioyennogo osadka dlya udovletvoreniya kormovykh potrebnostey posleduyuschih troficheskikh urovnej v

- biologicheskikh sistemah // Sovremennoe sostoyanie i perspektivy razvitiya kormoproizvodstva i racional'nogo kormleniya zhivotnyh: sb. nauch. mat-lov Vseros. nauch.-prakt. konf. s mezhdunar. uchastiem. Ufa, 2022. S. 109–113.
4. Petuhova D.E., Bahireva O.I., Pan L.S. Issledovanie makrofitov s cel'yu primeneniya dlya ochistki prirodnyh vod ot ionov stronciya // Vestnik Permskogo nacional'nogo issledovatel'skogo politehnicheskogo universiteta. Himicheskaya tehnologiya i biotehnologiya. 2022. № 3. S. 5–15.
 5. Polyakova E.V. Stroncij v istochnikah vodosnabzheniya Arhangel'skoj oblasti i ego vliyanie na organizm cheloveka // `Ekologiya cheloveka. 2012. № 2. S. 9–14.
 6. Bochka V.V. Uстойchivost' rogolistnika pogruzhennogo (*Ceratophyllum demersum* L.) k vozdeystviyu ionov medi i cinka // Mat-ly XV Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. molodyh uchenykh / Krasnoyar. gos. agrar. un-t. Krasnoyarsk, 2022. S. 74–78.
 7. Dushenkov V., Raskin I. Fitoremediaciya: zelenaya revolyuciya v `ekologii // Himiya i zhizn' – XXI vek. 1999. № 11/12. S. 48–49.
 8. Bardyukova A.V. Ocenka perspektivy ispol'zovaniya svobodnoplavayuschih gidrofitov dlya fitoremediacii vod // Molodye issledovateli – regionam: mat-ly Mezhdunar. nauch. konf. Vologda: Vologod. gos. un-t, 2019. S. 418–419.
 9. Demenkova L.G., Martynyuk T.V. Fitoremediaciya stochnyh vod rybohozyajstvennogo proizvodstva // `Ekologiya i bezopasnost' tehnosfere: sovremennye problemy i puti resheniya: sb. tr. Vseros. nauch.-prakt. konf. Tomsk: Nac. issledovatel'skij Tomskij politehnicheskij un-t, 2017. S. 78–80.
 10. Kazmiruk V.D. Bar'ernaya rol' makrofitov pri zagryaznenii vodnyh ob`ektov mikroplastikom // Nauka. Innovacii. Tehnologii. 2021. № 3. S. 133–149. DOI: 10.37493/2308-4758.2021.3.9.
 11. Al' Kassab A.A., Shevchenko G.A., Hvashevskaya A.A. Primenenie ryaski (*Lemna minor*) dlya ochistki stochnyh vod iz metantenka // Vysokie tehnologii v sovremennoj nauke i tehnike (VTSNT-2016): sb. nauch. tr. V Mezhdunar. nauch.-tehn. konf. molodyh uchenykh, aspirantov i studentov. Tomsk, 2016. S. 314–315.
 12. Hishova O.M., Dubashinskaya N.V., Avdachenok V.D. Nekotorye aspekty bezopasnosti travy ryaski maloj // Recept. 2016. T. 19, № 4. S. 463–467. EDN WXDSPD.
 13. Klimova E.V., Evsyuticheva D.E. Vozmozhnosti ispol'zovaniya makrofita *lemna minor* v pischevoj promyshlennosti // Vse o myase. 2020. № 5S. S. 134–136.
 14. Doochistka stochnyh vod s pomosch'yu fitoremediacii / E.`E. Nefed'eva [i dr.] // Vestnik Kazanskogo tehnologicheskogo universiteta. 2017. T. 20, № 10. S. 145–148.
 15. Ocenka vozmozhnosti ispol'zovaniya pistii telorezovidnoj (*Pistia stratiotes*) i ryaski maloj (*Lemna minor*) dlya fitoremediacii vodnoj sredy / G.A. Sorokina [i dr.] // Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2013. № 11. S. 182–186.
 16. Filipenko E.N., Tihonenkova L.A., Filipenko S.I. Sposobnost' makrofitov Kuchurganskogo vodozhranilischa k nakopleniyu metallov v vodoemohladi tele Moldavskoj GR`ES // Vestnik Pridnestrovskogo universiteta. Ser. «Medikobiologicheskie i himicheskie nauki». 2019. № 2 (62). S. 73–81.
 17. Ekperusi A., Sikoki F., Nwachukwu E. Sorption of cadmium, chromium, lead, and vanadium from artificial wetlands using *Lemna aequinoctialis* // International Journal of Phytoremediation. 2023. DOI: 10.1080/15226514.2023.2272766.
 18. Ostroumov S.A., Shestakova T.V. Snizhenie izmeryaemykh koncentracij Cu, Zn, Cd, Pb v vode `eksperimental'nyh sistem s *Ceratophyllum demersum*: potencial fitoremediacii // Doklady Akademii nauk. 2009. T. 428, № 2. S. 282–285.
 19. Kirdej T.A. Vliyanie gumusovykh kislot nizinnogo torfa na remediacionnye svoystva rastenij pshenicy pri kompleksnom zagryaznenii tyazhelymi metallami // Izvestiya vuzov. Prikladnaya himiya i biotehnologiya. 2021. T. 11, № 2. S. 228–235. DOI: 10.21285/ 2227-2925-2021-11-2-228-235.
 20. Karimov B.A., Ismailova A.M. Kul'tivirovanie *Lemna minor* L. na stochnyh vodah gorodskoj kanalizacii // Universum: himiya i biologiya. 2017. № 1 (31). S. 16–19.
 21. Aspekty biotransformacii fosfora v mikrobnogo defosfotacii stochnyh vod / A.A. Hasanova [i dr.] // Perspektivnye napravleniya fiziko-himicheskoy biologii i biotehnologii: sb. tez. XXXIII zimney mezhdunar. molodezhnoy nauch. sh. (Moskva, 08–11 fevralya 2021 goda).

- M.: In-t bioorganicheskoy himii im. akad. M.M. Shemyakina i Yu.A. Ovchinnikova RAN, 2021. S. 177. EDN WLTTGU.
22. Savel'eva L.S., `Erov A.N. Ochistka stochnyh vod na bioplato // `Ekologiya i promyshlennost' Rossii. 2000. № 8. S. 26–28.
23. Kiryushina N.Yu., Yurova V.S. Ispol'zovanie fitofil'trov pri ochistke stochnyh vod // Racional'noe ispol'zovanie prirodnyh resursov i pererabotka tehnogenogo syr'ya: fundamental'nye problemy nauki, materialovedenie, himiya i biotekhnologiya: mat-ly Mezhdunar. nauch. konf. (Alushta-Belgorod, 30 maya – 3 iyunya 2022 g.). Belgorod: Belgorod. gos. tehnolog. un-t im. V.G. Shuhova, 2022. S. 173–176. EDN KBPSCF.

Статья принята к публикации 22.08.2024 / The article accepted for publication 22.08.2024.

Информация об авторах:

Ирина Евгеньевна Липпо, младший научный сотрудник лаборатории фундаментальных основ питания сельскохозяйственных животных и рыб

Information about the authors:

Irina Evgenyevna Lippo, Junior Researcher, Laboratory of Fundamental Principles of Nutrition of Farm Animals and Fish

