

## ОБЗОР

УДК 58:628.3

**ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВАЛЛИСНЕРИИ СПИРАЛЬНОЙ (VALLISNERIA SPIRALIS) В ПРОЦЕССЕ ФИТОРЕМЕДИАЦИИ СТОЧНЫХ ВОД****Раимбеков К.Т., Илиязов Ж.И.***Ошский гуманитарно-педагогический институт имени А.С. Мырсабекова, Ош,  
e-mail: turgunovich67@bk.ru, joodarbek05@mail.ru*

Влияние человека на окружающую среду и отрицательное действие загрязнения на природные воды выходят за пределы локального воздействия, т.е. приобретают региональный и постепенно даже глобальный характер. Не исчезающая угроза для биосферы заключается в загрязнении водоемов различными сточными водами. Органические вещества синтетического происхождения, тяжелые металлы отрицательно влияют на репродуктивные органы водных макрофитов. Все загрязняющие вещества, поступающие в природные воды, вызывают в них различные качественные изменения, которые могут проявляться в изменении химического состава воды, в частности в появлении в ней вредных веществ. При нарушении предельно допустимой нормы создается угроза нарушения экологического равновесия в биосфере, опасность которого трудно переоценить. На современном этапе развития перед человечеством встает важная задача охраны гидросферы. В данной статье собраны результаты научных работ ведущих ученых и проведен комплексный анализ возможности использования валлиснерии спиральной для очистки производственных, коммунально-бытовых и сельскохозяйственных сточных вод с целью дальнейшего использования их в практике биоремедиации различных видов загрязненных вод. Обзор литературных источников показывает, что выращиваемая валлиснерия спиральная в сточной воде эффективно очищает от ионов тяжелых металлов (железо, медь, цинк) и дает лучший результат аккумуляции. Очищенные воды соответствуют нормативным требованиям, предъявляемым для сбрасывания в открытые водоемы. Анализ лабораторных исследований показывает, что при использовании валлиснерии спиральной в процессе фитогидроремедиации эффективность очистки улучшается в несколько раз.

**Ключевые слова:** фиторемедиация, биоплато, фитомасса, сточная вода, аккумуляция, фитоочистка

**POSSIBILITIES OF USING VALLISNERIA SPIRALIS IN THE PROCESS OF PHYTOREMEDIATION WASTE WATER****Raimbekov K.T., Iliyazov Zh.I.***A.S. Myrsabekov Kyrgyz humanitarian and pedagogical Institute, Osh,  
e-mail: turgunovich67@bk.ru, joodarbek05@mail.ru*

The human impact on the environment and the negative impact of pollution on natural waters go beyond the local impact, i.e. they become regional and gradually even global. A continuing threat to the biosphere is the contamination of reservoirs with various waste waters. Organic substances of synthetic origin, heavy metals negatively affect the reproductive organs of aquatic macrophytes. All pollutants entering natural waters cause various qualitative changes in them, which can manifest in changes in the chemical composition of water, in particular the appearance of harmful substances in it. If the maximum permissible norm is violated, there is a threat of violation of the ecological balance in the biosphere, the danger of which is difficult to overestimate. At the present stage of development, humanity faces an important task of protecting the hydrosphere. This article contains the results of scientific works of leading scientists, and a comprehensive analysis of the possibility of using spiral wallisneria for the treatment of industrial, municipal and agricultural waste water for further use in the practice of bioremediation of various types of polluted water. A review of literature sources shows that when growing spiral wallisneria in waste water, it is effectively cleared of heavy metal ions (iron, copper, zinc) and gives a better accumulation result. The treated water meets the regulatory requirements for discharge into open reservoirs. Analysis of laboratory studies shows that when using helical wallisneria in the process of phyto-hydroremediation, the cleaning efficiency improves several times.

**Keywords:** bioremediation, bio plateau, phytomass, waste water, accumulation, phytocide

Одним из перспективных направлений защиты и рационального применения водных ресурсов считается проектирование новых, современных технологических систем очистки загрязненных вод различного происхождения. Такие научно обоснованные системы позволяют в несколько раз сократить загрязнение водоемов. В последнее время активно ведутся научные исследования по очистке различных промышленных сточных вод с использованием высших во-

дных растений. В высших водных растениях не происходит активное накопление вредного для организма количества веществ. Сравнительно более дешевым и более эффективным способом очистки загрязненных вод с использованием высших водных растений является фиторемедиация [1–3].

Научное название «фиторемедиация» получили совокупные методы очистки грунтов, атмосферного воздуха и загрязненных вод с применением зеленых растений. Одно

из основных направлений комплексного метода биоремедиации – это фиторемедиация. Поля орошения и поля фильтрации были основаны на использовании водных растений и являются одним из первых методов очистки загрязненных вод, которые легко применяются в Израиле. В пятидесяти годах двадцатого века были проведены первые научные исследования по использованию водных растений в биологической очистке сточных вод. Но только в восьмидесятых годах двадцатого века началось более активное развитие данной методики. Одна из положительных сторон данного метода заключается в биологической очистке сточных вод от радионуклидов, различных ядов, моющих веществ, ионов тяжелых металлов, органических соединений. При данном методе в результате биосинтеза вода несколько раз обогащается кислородом, полученным в биомассе, и в воде уничтожаются патогенные бактерии. Расщепляются на составные химические элементы большинство токсичных для живых организмов веществ. Одним из наиболее важных результатов, проведенных Л.М. Журавлевой, является систематический анализ экономической эффективности применения методов биотехнологии для доочистки загрязненных вод ОАО «КНПЗ» города Самары. В качестве основного фильтра в процессе фиторемедиации были применены: рдест курчавый и валлиснерия спиральная. Из общедоступной научной литературы следует, что в ОАО «КНПЗ» города Самары целесообразно соорудить фитоочистку загрязненных вод проектировать в третичном отстойнике. Проведенные исследования дали один из наиболее важных результатов: использование высших водных растений в доочистке сточных вод предприятия обеспечивает их соответствие предельно допустимым нормам, которые утверждены для сбрасываемых стоков. Примерно за два года окупаются средства, затраченные на фитоочистку загрязненных вод [4].

Цель исследования: изучить, систематизировать и обобщить научные литературные материалы по возможности использования валлиснерии спиральной в процессе фиторемедиации сточных вод.

Представленными водно-воздушными растениями биоплато возможно решение современных проблем водопользования на малых и крупных промышленных предприятиях. Обычно применение данного способа происходит на участках, находящихся в непосредственной близости от населенных пунктов, на мелких водосборах, очень часто в зоне потопления рек или водохранилищ. Однако необходимо отметить, что не полностью очищенные загрязненные воды часто

сбрасываются на окраинах городов в водоемы, в русловые участки природных рек и загрязняют их. Данная проблема может быть решена с помощью биогидроботанического метода с использованием погруженных видов высших водных растений. Известно, что часто характеризуются сточные воды различного происхождения повышенной кислотностью и наиболее сложным химическим составом. Этим обусловлена актуальность выбора видов водных растений. Для проведения таких многопараметровых комплексных исследований требуется подбор видов высших водных растений, более эффективных в очищении в различных экологических условиях от токсических веществ, способных устойчиво выдерживать повышенную щелочность загрязненных вод на химических и других предприятиях [5].

Следует отметить, что экспериментальный анализ биомассы валлиснерии спиральной доказывает фильтрацию ионов тяжелых металлов. В лабораторных условиях при отдельном культивировании спиральной валлиснерии у железа сравнительно более высокий показатель. Научные исследования показали, что высокий результат очистки от ионов тяжелых металлов (цинк, медь, железо) в сточных водах до предельно допустимых концентраций достигается при культивировании валлиснерии спиральной. В данном случае в биомассе водных растений происходит фильтрация ионов вышеуказанных металлов. Таким образом, более эффективную защиту биосферы от экотоксикантов, доочистку сбрасываемых в открытые водоемы загрязненных вод обеспечит использование водных макрофитов [5].

Практически все исследования показали эффективные, аккумуляционные способности валлиснерии спиральной. Было проведено сравнительное исследование эффективности водных макрофитов – пистии телорезовидной, ряски малой, валлиснерии спиральной – с целью дальнейшего использования их в доочистке канализационных сточных вод.

Нельзя не заметить, что лабораторный анализ на содержание металлов при доочистке загрязненных вод водными макрофитами доказал наиболее активную аккумуляционную способность валлиснерии спиральной по отношению к Fe и Zn. Это объясняется видовым отличием вышеотмеченного растения по способности эффективно аккумулировать токсичные вещества [6].

Согласно [7] спроектированной биоинженерной биотехнологии очистки коммунально-бытовых сточных вод представителями высшей водной растительности с применением адсорбента научные экс-

перименты для выявления оптимального сочетания адсорбента (опоки, керамзита и вермикулита) + валлиснерии спиральной показали эффективность ее применения с опоками. Качественный состав воды, очищенной экспериментально подтвержденным устройством, отвечает всем требованиям, предъявляемым к качеству воды рыбохозяйственных водоемов.

Необходимо отметить, что данные растения относятся к погруженным в воду, оптимальный для их жизнедеятельности температурный режим от +14 до +25 °С. Данный жизненный режим обеспечит эффективность в их круглогодичном использовании. Регулярность поступления на биологическую очистку сточных вод ОАО «КНПЗ» имеет постоянную температуру от +12 до +26 °С. Вышеназванные экологические факторы: в зимний период водные растения предотвращаются от массового вымерзания. Для культивирования высших водных растений, таким образом, необходимо строительство специальных сооружений оранжерейного типа. Нужно отметить, что преимущество культивирования в устройстве данного типа водных растений – в сравнительно легком контроле и обслуживании биомассы растений. Очень важна для эффективности и стабильности работы устройства регулярность контроля расхода сточных вод и биомассы водного макрофита. При увеличении биомассы используемых растений свыше 14 г/дм<sup>3</sup> необходимо излишки удалять регулярно и сырую биомассу компостировать на промышленной площадке. Наконец, в дальнейшем можно полученный компост применять для озеленения и облагораживания производственных площадок. В зимний период нет необходимости устройство убирать из отстойника, потому что постоянные загрязнённые тёплые воды обеспечивают в достаточной мере температурный режим, необходимый для жизнедеятельности водных растений [8].

Научная статья Е.Д. Тухватуллина [9] посвящена актуальной экологической проблеме загрязнения малых природных рек ионами тяжелых металлов. В качестве решения данной проблемы автор предлагает рассматривать биологический метод очистки, основанный на аккумуляционной способности тяжелых металлов представителей высших водных растений валлиснерии спиральной и кладофоры шаровидной.

Исследователи разных стран проводили исследования по изучению аккумуляционной способности высших водных растений и делали сравнительный анализ эффективности кладофоры шаровидной, урути во-

дной, ряски малой, валлиснерии спиральной, эйхорнии отличной для доочистки нефтесодержащих сточных вод. Итогом этих исследований стало то, что у валлиснерии спиральной были отмечены сравнительно более эффективные показатели доочистки загрязненных вод. Эксперименты показали, что валлиснерия спиральная уменьшает содержание сульфатов на 60%, железа на 100%, фосфата иона на 96% [10].

И.С. Егоров [11] проводил научное исследование по изучению процесса фиторемедиации коммунально-бытовых загрязненных вод валлиснерией спиральной с использованием разных адсорбентов. Доказано, что для снижения загрязнения естественных водоемов коммунально-бытовыми загрязненными водами целесообразно применять в биосорберах водных макрофитов в сочетании с адсорбентами.

Исследования по изучению влияния на урожайность *vallisneria spiralis*, *elodea canadensis*, *azolla caroliniana*, *potamogeton crispus*, *eichhornia crassipes* сроков сбора биомассы проводились на опытном участке Ошского гуманитарно-педагогического института с целью определения наиболее оптимального варианта. Практически все исследования показали, что при ежедневном сборе средний прирост биомассы в течение суток заметно замедляется. Следует отметить, что суточный прирост биомассы вышеотмеченных видов водных растений снижается также при отсутствии систематического сбора биомассы. Нельзя не заметить, что одним из главных факторов, действующих на замедление суточного прироста изученных видов водных растений, считается быстрое увеличение их плотности. Результаты комплексных исследований показали, что наиболее эффективный рост и накопление биомассы отмечается при регулярном сборе биомассы через каждые 3 суток [12].

Согласно [13] в Пермском государственном техническом университете проведены аналитические экспериментальные исследования по оценке возможности вероятности применения высших водных растений для аккумуляции различных биогенных элементов в процессе фиторемедиации городских сточных вод.

В лабораторных условиях сотрудниками Иркутского государственного технического университета были проведены исследования особенностей сравнительно сложных процессов элиминирования фосфора и солей азота из модельных растворов, в которые были погружены водные макрофиты. Большинство используемых водных макрофитов является частью флоры Сиби-

ри. Для научных экспериментов использовались нижеследующие виды макрофитов: элодея густолиственная, элодея канадская, валлиснерия спиральная, пистия телорезовидная, рдест пронзеннолистный и гребенчатый, уруть колосистая, роголистник темно-зелёный, ряска трёхдольная и малая, многокоренник, нителла хараломкая, драпарнальдия байкальская и песчаная. Эффективность элиминирования биофильных элементов из их растворов, несомненно, зависит от вида высших водных растений и их биомассы, концентрации загрязнителя, температуры. Это доказано на основании научных экспериментов с модельными растворами солей азота и фосфора. Также были выявлены наиболее ценные факторы, эффективно влияющие на скорость гидрофиторемедиации, и экспериментально доказаны их пределы. Из используемых высших водных растений рдест, уруть и нителла сравнительно более эффективно удаляли биофильные элементы [14].

Разработан оптимальный способ очистки сбрасываемых вод от солей аммония, нитритов и нитратов. Метод основан на использовании водных макрофитов на доочистке сточных вод. Фиторемедиация воды осуществляется в аэротенках и во вторичных отстойниках. В качестве фильтрата применяют валлиснерию спиральную. Сырая биомасса имела первоначальную плотность: от 7 до 14 кг в 1 м<sup>3</sup> объёма воды. Нужно отметить, что при расходе сточной воды 11 м<sup>3</sup> на 1 м<sup>3</sup> бассейна 1000 г биомассы растения аккумулирует в среднем около 2,71 г азотистых веществ в сутки. Таким образом, разработанный метод позволяет в несколько раз повысить эффективность очистки от солей аммония, нитритов и нитратов. Разработанный метод гидрофиторемедиации может быть применен на малых и крупных очистительных сооружениях. Невозможность использования в холодное время года считается недостатком данного метода [15].

В некоторых работах отмечено, что в основном с оптимизацией производственной деятельности нефтеперерабатывающей и нефтедобывающей промышленности в последние годы связано экономическое развитие Астраханской области. Сбрасывание значительного количества сточных вод, которые загрязнены нефтесодержащими отходами – нефтешламами, характерно для таких предприятий. На территории Астраханской области в настоящее время построено более 15 накопителей-резервуаров. Около 350 тысяч тонн высокотоксичных мазуто- и нефтесодержащих сточных вод содержится в резервуаре. В городах области, несмотря на это, в недостаточном

количестве имеются специализированные организации, которые занимаются непосредственной утилизацией высокотоксичных сточных вод. Проведенные экспериментальные исследования по моделированию систем фиторемедиации замасоченных сточных вод с применением валлиснерии спиральной, ряски малой, элодея канадской считаются основой для проектирования системы биоремедиации и рекультивации водоемов и транспортировки в Астраханской области [16].

Проведены многопараметровые и комплексные экспериментальные исследования для определения воздействия одновременных дополнений додецилсульфата натрия и ПАВ-содержащего смесового препарата «Аист» на рост и развитие валлиснерии спиральной. Также в условиях периодических повторяющихся добавок исследованы предельно допустимые нагрузки валлиснерии спиральной на смесовой препарат «Аист» и додецилсульфат натрия. Валлиснерия спиральная оказалась сравнительно более восприимчивой к действию додецилсульфата натрия и при концентрации 450; 650; 850 и 1000 мг/л. Следует отметить, что при таких концентрациях гибель более 50% растений была зафиксирована через 17, 14, 8 и 6 суток. При добавлении смесового препарата «Аист» в концентрации 200, 250 и 350 мг/л валлиснерия спиральная начала умирать. С целью исследования стабильности роста валлиснерии спиральной при систематическом действии додецилсульфата натрия был осуществлен второй этап лабораторного эксперимента. Таким образом, установлено, что действие додецилсульфата натрия более благоприятно для валлиснерии спиральной при одноразовой добавке 0,7–1,9 мг/л. При концентрации одноразовых добавок выше 50 мг/л время инкубации продолжалось 1–4 недели. Если одноразовая доза составляет 1,9–8,3 мг/л, продолжительность инкубационного периода увеличивается до 30 дней [17].

Были исследованы способности аккумуляции и проведено сравнительное исследование эффективности валлиснерии спиральной, ряски малой, эйхорнии отличной для очистки вод, загрязненных нефтепродуктами. Были определены для очистки сточных вод ОАО «Газпромнефт ОНПЗ» перспективные виды макрофитов [18].

Согласно [19] у некоторых представителей высших водных растений в процессе эволюции выработалась систематичность в фазе развития и роста. Результаты эксперимента по исследованию действия срока сбора биомассы на продуктивность валлиснерии спиральной в условиях города Ош

показали, что при сборе биомассы через каждые три дня фиксировался оптимальный рост. Нужно отметить, что резко замедляется прирост биомассы при каждодневном сборе, потому что растения механически повреждаются при каждодневном сборе. Отсутствие системного сбора прироста отрицательно влияет на прирост биомассы.

В разной фазе на развитие водных растений влияет целый комплекс абиотических и биотических экологических факторов. Водоёмы ТЭС и АЭС отличаются от природных водоёмов и имеют сложную природно-техногенную систему. Систематический сброс теплых вод считается основным фактором, воздействующим на рост и развитие макрофитов. Валлиснерия спиральная в истоке сбросного канала образует только моновидовые сообщества. В летние месяцы в зоне сильного подогрева водные макрофиты не могут конкурировать с валлиснерией спиральной. Валлиснерия спиральная на участках умеренного подогрева выступает уже как сопутствующий вид [20].

Согласно [21] в Беловодском водохранилище валлиснерия спиральная встречается в зонах сильного и умеренного подогрева. Морфология валлиснерии спиральной в этих зонах заметно различается. Длина листа в зоне сильного подогревания превышала 20–25 см при ширине 0,4 см; в умеренной зоне – 65–70 и 1,5 см. Это объясняется тем, что сбросной канал в зимний период не замерзает. Vegetация валлиснерии спиральной здесь круглогодичная, и два раза в год происходит цветение.

### Заключение

1. В доступных источниках научной литературы не удалось обнаружить сведений о проведении комплексных и многопараметровых исследований по определению возможности использования валлиснерии спиральной в процессе фиторемедиации различных сточных вод.

2. Возможности использования валлиснерии спиральной для доочистки загрязнённых вод ограничены их вегетационным периодом и климатическими условиями местности.

### Список литературы

1. Калайда М.Л., Борисова С.Д. Доочистка производственных сточных вод с помощью высших водных растений // Экология и промышленность России. 2010. № 3. С. 33–35.
2. Раимбеков К.Т., Момбеков С.Т. Анализ основных методов биологической очистки как основа интенсификации работы сооружений // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2020. № 2. С. 45–49.
3. Раимбеков К.Т. Разработка методов массового культивирования *Azolla caroliniana* в условиях Юга Кыргызстана // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2020. № 3. С. 12–16.

4. Журавлева Л.М. Совершенствование фитотехнологии доочистки сточных вод ОАО «КНПЗ» г. Самары // Альманах современной науки и образования. 2011. № 11 (54). С. 60–61.

5. Зайнутдинова Э.М., Ягафарова Г.Г. Очистка сточных вод от ионов тяжелых металлов с использованием водных растений // Башкирский химический журнал. 2013. Т. 20. № 3. С. 150–152.

6. Чачина С.Б., Гостева А.Н. Использование высших водных растений для доочистки канализационных сточных вод ОАО «ОМСК водоканал» // Омский научный вестник. 2012. № 2. С. 203–207.

7. Егоров И.С., Золотокопова В.И., Егорова В.И. Биоинженерная технология уменьшения загрязнения рыбохозяйственных водоёмов // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2014. № 4. С. 45–48.

8. Курицын В.Н., Панкратова Н.А., Кравченко И.Б., Мешерякова Н.В. Поверхностное пластическое деформирование микрошариками – технологический деформирование повышения выносимости деталей с концентраторами напряжений // Альманах современной науки и образования. 2011. № 11. С. 61–64.

9. Тухватуллина Е.Д. Биологические методы очистки малых рек от экотоксикантов // Проблемы современной науки в исследованиях молодых ученых: материалы Всероссийской научно-практической конференции (Уфа, 30 марта 2017 года). Уфа: Изд. Уфимский государственный нефтяной технический университет, 2017. С. 363–365.

10. Чачина С.Б., Таранникова О.А. Использование биотехнологических методов доочистки нефтесодержащих сточных вод промышленных предприятий // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2014. № 8 (3). С. 23–27.

11. Егоров И.С. Уменьшение загрязнения водоёмов бытовыми сточными водами // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. 2015. № 3 (13). С. 13–16.

12. Раимбеков К.Т. Влияние срока сбора биомассы на урожайность высших водных растений // Научное обозрение. Биологические науки. 2020. № 1. С. 40–41.

13. Калинина Е.В. Снижение содержания биогенных элементов в процессе биологической очистки городских сточных вод высшими водными растениями: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Пермь, 2007. 21 с.

14. Храмова Т.Г., Жданова Г.О. Элиминирование макрофитами биогенов из модельных растворов // Известия Иркутского государственного университета. 2015. № 12. С. 73–79.

15. Вайсман Я.И., Рудакова Л.В., Калинина Е.В. Способ очистки сточных вод от аммонийных солей, нитритов и нитратов // Патент РФ № 2322399. Патентообладатель: Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Пермский государственный технический университет». 2008. Бюл. № 11.

16. Гальперина А.Р. Разработка приемов биоремедиации замасленных сточных вод: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Уфа, 2012. 24 с.

17. Раимбеков К.Т. Определение предельно возможных нагрузок веществ, загрязняющих биосистему с высшими водными растениями // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2019. № 5. С. 45–51.

18. Чачина С.Б. Использование высших водных растений: эйхорнии, ряски малой и валлиснерии спиральной для доочистки сточных вод ОАО «Газпромнефть – ОНПЗ» // Омский научный вестник. 2011. № 1 (104). С. 196–200.

19. Раимбеков К.Т. Влияние срока сбора прироста биомассы на урожайность высших водных растений // Научные обозрения. Биологические науки. 2020. № 1. С. 40–44.

20. Зарубина Е.Ю., Соколова М.И. Влияние подогревых сбросных вод на состав, структуру и продуктивность высшей водной растительности водоема-охладителя Беловодской ГРЭС (Юг Западной Сибири) // Факторы устойчивости растений в экстремальных природных условиях и техногенной среде: материалы Всероссийской научной конференции (Иркутск, 10–13 июня 2013 г.). М.: Изд. «Директ-Медиа», 2015. С. 115–120.

21. Зарубина Е.Ю., Соколова М.И. Многолетние изменения популяции *Vallisneria spiralis* L. в водоеме-охладителе Беловодской ГРЭС (юг Западной Сибири) // Российский журнал биологических инвазий. 2010. № 4. С. 10–18.