

УДК [628.357.3:628.394.4]:[628.394.6.098:581.526.3]

И. С. Егоров, С. В. Золотокопова, В. И. Егорова

## БИОИНЖЕНЕРНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ УМЕНЬШЕНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ РЫБОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ВОДОЁМОВ

Целью исследований являлась разработка биоинженерной технологии очистки бытовых сточных вод высшей водной растительностью с использованием адсорбента. Задачи исследования: определить вид высшей водной растительности, наиболее эффективно очищающий воду от органических соединений (нитриты, аммонийный азот, фосфаты); определить целесообразность использования сорбентов в сочетании с высшей водной растительностью; подобрать оптимальные сочетания высшей водной растительности и сорбентов, обеспечивающие эффективную очистку бытовых сточных вод. Эксперименты проводили в лабораторных условиях на созданной модели биосорбера. Материал – адсорбент (опоки, керамзит и вермикулит) + высшая водная растительность (тростник обыкновенный (*Phragmites australis*), валлиснерия спиральная (*Vallisneria spiralis*), плавающая водная растительность – ряска (*Lemna*). Установлено, что присутствие адсорбента в комбинации с ряской уменьшает скорость и ухудшает качество очистки. Валлиснерия спиральная дает лучший результат в комбинации с опоками и является более эффективным средством борьбы с нитритами, чем ряска. Наилучший результат, даже без адсорбента, зафиксирован при использовании тростника обыкновенного, а в сочетании с ряской, вермикулитом или опоками его адсорбирующие свойства улучшаются еще больше. С учетом результатов исследований предложено локальное устройство для очистки бытовых сточных вод. Качество воды, очищенной предложенным устройством, соответствует требованиям, предъявляемым к качеству воды рыбохозяйственных водоемов.

**Ключевые слова:** загрязнение водоемов, бытовые сточные воды, устройство для очистки, высшая водная растительность, биоинженерная технология.

### Введение

В настоящее время одной из самых острых стала проблема загрязнения водоемов рыбохозяйственного значения бытовыми сточными водами в зоне застройки коттеджных поселков. Согласно данным Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды Российской Федерации, в последние годы на большинстве водных объектов наметилось ухудшение качества воды до 3-го класса разряда «б» («очень загрязненная» вода) и 4-го класса («грязная» вода). Качество воды р. Волги ниже г. Астрахани в последние четыре года наблюдений стабилизировалось на уровне 4-го класса («грязная»). Загрязнение вызывает зарастание поверхности высшей водной растительностью, сопровождающееся эвтрофикацией водоемов и снижением количества кислорода, в результате чего начинается массовая гибель рыбы.

В данной ситуации выход один – очищать сточные воды необходимо в местах их происхождения, т. е. в непосредственной близости от жилых домов или поселка, чтобы предотвратить загрязнение поверхностных и грунтовых вод биогенными элементами. Наиболее эффективным и доступным является биологический метод очистки бытовых сточных вод.

Одним из важнейших участников природных процессов самоочищения воды являются водные растения, в том числе макрофиты. В зависимости от образа жизни макрофиты разделяют на несколько экологических групп, независимо от их систематического положения. В первую группу входят погруженные гидрофиты (рдест), 70 % объема которых составляют воздухоносные полости и большой межклетник, что позволяет им находиться во взвешенном состоянии в воде, при этом корневая система выполняет якорные функции [1–3]. Ко второй группе относятся полупогружные макрофиты (камыш, тростник и др.), представители которых выбрасывают над поверхностью воды зеленые облиственные и цветоносные побеги и существуют большую часть вегетации в двух средах – водной и воздушной [1, 2, 4]. К третьей экологической группе относятся свободноплавающие на поверхности растения (ряска), которые корнями держатся за грунт [5].

Мозаичностью морфологических и гидрологических условий обусловлена неравномерность заселения водоемов макрофитами, сопровождающаяся образованием множества более

или менее различающихся между собой экологических биотопов. Это вносит большие сложности в интегральные расчеты продукционно-деструкционных процессов, протекающих в водных средах, которые играют важную роль при прогнозировании их экологического состояния и осуществлении мероприятий по инженерному устройству водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение [1]. Отметим, что основную роль в продуцировании органического вещества водоемов играет воздушно-водная растительность (50–90 %) и незначительную роль – плавающая (0,5–5 %) [6].

Эффективность действия высшей водной растительности определяется густотой посадки побегов на единицу площади, наличием у растений водных корней и видом общей поверхности растений.

Прибрежно-водная растительность, выделяя при фотосинтезе кислород, оказывает благотворное влияние на кислородный режим водоема, а обитающие на поверхности растений бактерии и водоросли (перифитон) участвуют в очистке воды, что увеличивает ее прозрачность и уменьшает содержание биогенных веществ.

Целью наших исследований являлась разработка биоинженерной технологии очистки бытовых сточных вод высшей водной растительностью с использованием адсорбента. Для этого необходимо было решить следующие задачи:

- определить, какой вид высшей водной растительности наиболее эффективно очищает воду от органических соединений (нитриты, аммонийный азот, фосфаты);
- определить целесообразность использования сорбентов в сочетании с высшей водной растительностью;
- подобрать оптимальные сочетания высшей водной растительности и сорбентов, обеспечивающие эффективную очистку бытовых сточных вод.

#### Материалы и методы исследования

В лабораторных условиях была создана модель биосорбера и проведены эксперименты для определения лучшего сочетания адсорбент + высшая водная растительность при очистке бытовых сточных вод.

В эксперименте использовали тростник обыкновенный (*Phragmites australis*), валлиснерия спиральная (*Vallisneria spiralis*), ряска (*Lemna*), в качестве адсорбента – опоки, керамзит и вермикулит. Для определения аммонийного азота, нитритов и фосфатов применяли фотометрический метод.

#### Результаты исследования и их обсуждение

В ходе экспериментов определяли степень загрязнения воды аммонийным азотом, нитритами и фосфатами до очистки и через 3, 7, 10 и 21 день с учетом ПДК, принятой для рыбохозяйственных водоемов.

В ходе экспериментов было установлено, что в среднем от аммонийного азота вода очистилась на 99,93 % (табл. 1), от нитритов – на 98,8 % (табл. 2), от фосфатов – на 94,2 % (табл. 3).

Таблица 1

Динамика количества аммонийного азота

Загрузка	Количество аммонийного азота, мг/л						Итоговый показатель очистки, %
	До очистки	Через 3 дня	Через 7 дней	Через 10 дней	Через 21 день	ПДК для рыбохозяйственных водоемов	
<b>Тростник</b>	40,0	15,6	4,7	0,8	0,02	0,4	99,95
Тростник + опоки	40,0	11,4	2,6	0,5	0,03	0,4	99,93
Тростник + керамзит	40,0	12,8	3,1	0,4	0,01	0,4	99,98
Тростник + вермикулит	40,0	14,5	4,5	0,7	0,04	0,4	99,9
<b>Ряска</b>	40,0	15,2	2,3	0,5	0,03	0,4	99,93
Ряска + опоки	40,0	16,3	2,5	0,3	0,04	0,4	99,9
Ряска + керамзит	40,0	17,8	2,6	0,4	0,05	0,4	99,88
Ряска + вермикулит	40,0	19,7	2,9	0,5	0,06	0,4	99,9
<b>Валлиснерия спиральная</b>	40,0	11,6	1,8	0,2	0,03	0,4	99,93
Валлиснерия спиральная + опоки	40,0	11,2	1,5	0,1	0,02	0,4	99,95
Валлиснерия спиральная + керамзит	40,0	11,4	1,1	0,1	0,02	0,4	99,95
Валлиснерия спиральная + вермикулит	40,0	12,4	1,7	0,2	0,04	0,4	99,9

Таблица 2

## Динамика количества нитритов

Загрузка	Количество нитритов, мг/л						Итоговый показатель очистки, %
	До очистки	Через 3 дня	Через 7 дней	Через 10 дней	Через 21 день	ПДК для рыбохозяйственных водоемов	
<b>Тростник</b>	2,0	1,2	0,4	0,07	0,03	0,02	98,5
Тростник + опоки	2,0	1,0	0,2	0,05	0,02	0,02	99
Тростник + керамзит	2,0	1,3	0,2	0,04	0,03	0,02	98,5
Тростник + вермикулит	2,0	1,4	0,3	0,08	0,04	0,02	98
<b>Ряска</b>	2,0	0,9	0,3	0,02	0,01	0,02	99,5
Ряска + опоки	2,0	0,7	0,2	0,02	0,01	0,02	99,5
Ряска + керамзит	2,0	0,9	0,2	0,03	0,02	0,02	99
Ряска + вермикулит	2,0	1,2	0,4	0,04	0,03	0,02	98,5
<b>Валлиснерия спиральная</b>	2,0	1,5	0,5	0,04	0,01	0,02	99,5
Валлиснерия спиральная + опоки	2,0	1,6	0,6	0,06	0,02	0,02	99
Валлиснерия спиральная + керамзит	2,0	1,8	0,8	0,08	0,03	0,02	98,5
Валлиснерия спиральная + вермикулит	2,0	1,9	0,8	0,09	0,04	0,02	98

Таблица 3

## Динамика количества фосфатов

Загрузка	Количество фосфатов, мг/л						Итоговый показатель очистки, %
	До очистки		Через 7 дней	Через 10 дней	Через 21 день	ПДК для рыбохозяйственных водоемов	
<b>Тростник</b>	5,0	3,8	1,8	0,9	0,4	0,5	92
Тростник + опоки	5,0	3,6	1,5	0,7	0,2	0,5	96
Тростник + керамзит	5,0	3,7	1,7	0,8	0,3	0,5	94
Тростник + вермикулит	5,0	3,9	1,9	1,1	0,5	0,5	90
<b>Ряска</b>	5,0	3,4	1,4	0,5	0,3	0,5	94
Ряска + опоки	5,0	3,6	1,6	0,6	0,1	0,5	98
Ряска + керамзит	5,0	3,5	1,8	0,7	0,2	0,5	96
Ряска + вермикулит	5,0	3,7	2,1	0,6	0,4	0,5	92
<b>Валлиснерия спиральная</b>	5,0	2,9	1,2	0,4	0,2	0,5	96
Валлиснерия спиральная + опоки	5,0	2,6	1,1	0,3	0,1	0,5	98
Валлиснерия спиральная + керамзит	5,0	2,8	1,3	0,5	0,3	0,5	94
Валлиснерия спиральная + вермикулит	5,0	2,9	1,4	0,7	0,5	0,5	90

После окончания эксперимента (через 21 день) были сделаны следующие выводы:

1. При использовании плавающей водной растительности (ряски) нет никакой необходимости в дополнительном использовании адсорбента, т. к. его присутствие только уменьшает скорость и ухудшает качество очистки.

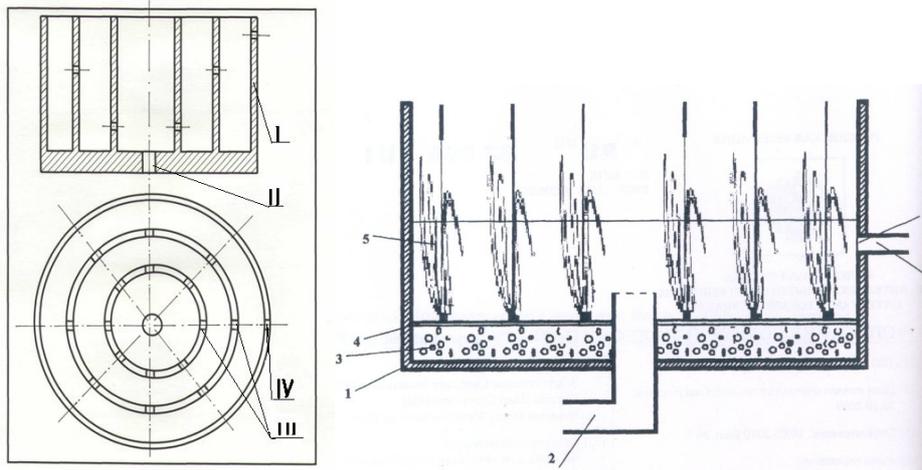
2. В случае с валлиснерией спиральной лучший результат получен при ее использовании с опоками.

3. По сравнению с валлиснерией ряска является более эффективным средством борьбы с таким загрязнением, как нитриты.

4. Тростником обыкновенным через 21 день вода была очищена в среднем от аммонийного азота – на 99,95 %, от нитритов – на 98,5 %, от фосфатов – на 92 %.

Таким образом, использование тростника обыкновенного для очистки сточных вод, даже без адсорбента, дает наилучший результат, а в сочетании с ряской, вермикулитом или опоками его адсорбирующие свойства улучшаются еще больше.

С учетом результатов исследований нами было разработано локальное устройство для очистки бытовых сточных вод, которое представляет собой радиальную ёмкость из полимерных материалов с внутренними перегородками. Бытовые сточные воды поступают через дно в центре бассейна в первое отделение, где на дне уложен адсорбент и высажен тростник. После очистки вода поступает во второе отделение, где происходит её доочистка ряской. И уже после этого вода попадает в третье отделение, где происходит её обеззараживание ультрафиолетовыми лучами и дальнейший забор (рис.).



Устройство для очистки бытовых сточных вод

Качество воды, очищенной таким образом, соответствует требованиям, предъявляемым к качеству воды рыбохозяйственных водоемов.

### Заключение

Эксперименты для определения лучшего сочетания адсорбент (опоки, керамзит и вермикулит) + высшая водная растительность (тростник обыкновенный (*Phragmites australis*), валлиснерия спиральная (*Vallisneria spiralis*), ряска (*Lemna*)) при очистке бытовых сточных вод в лабораторных условиях на созданной модели биосорбера показали следующее.

1. При использовании плавающей водной растительности (ряски) нет никакой необходимости в дополнительном использовании адсорбента, т. к. его присутствие только уменьшает скорость и ухудшает качество очистки.

2. В случае с валлиснерией спиральной лучший результат получен при ее использовании с опоками.

3. По сравнению с валлиснерией ряска является более эффективным средством борьбы с таким загрязнением, как нитриты.

4. Использование тростника обыкновенного для очистки сточных вод, даже без адсорбента, дает наилучший результат, а в сочетании с ряской, вермикулитом или опоками его адсорбирующие свойства улучшаются еще больше.

С учетом результатов исследований разработано локальное устройство для очистки бытовых сточных вод.

Качество воды, очищенной предложенным устройством, соответствует требованиям, предъявляемым к качеству воды рыбохозяйственных водоемов.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кокин В. А. Экология высших водных растений / В. А. Кокин. М.: Изд-во: МГУ, 1982. 158 с.
2. Хатчинсон Д. Лимнология / Д. Хатчинсон. М.: Прогресс, 1969. 569 с.
3. Эйнон Л. О. Роль света в формировании первичной продукции в водоемах / Л. О. Эйнон // Водные ресурсы. 1987. № 5. С. 45–54.
4. Катанская В. И. Высшая водная растительность континентальных водоемов СССР / В. И. Катанская. М.: Наука, 1981. 187 с.
5. Садчиков А. П. Экология прибрежно-водной растительности / А. П. Садчиков, М. А. Кудряшов. М.: Изд-во НИИ-Природа, РЭФИА, 2004. 220 с.
6. Авакян А. Б. Водохранилища мира / А. Б. Авакян, В. А. Шарапов, В. П. Салтанкин; отв. ред.: Г. В. Воропаев, С. Л. Вендров. М.: Наука, 1979. 287 с.

Статья поступила в редакцию 18.08.2014

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Егоров Иван Сергеевич** – Россия, 414056, Астрахань; Астраханский государственный технический университет; аспирант кафедры «Инженерная экология и природообустройство»; vesper-89@yandex.ru.

**Золотокопова Светлана Васильевна** – Россия, 414056, Астрахань; Астраханский государственный технический университет; д-р техн. наук, профессор; профессор кафедры «Инженерная экология и природообустройство»; zolotokopova@mail.ru.

**Егорова Вера Ивановна** – Россия, 414056, Астрахань; Астраханский государственный технический университет; канд. биол. наук, доцент; доцент кафедры «Прикладная биология и микробиология»; lekaego@mail.ru.



*I. S. Egorov, S. V. Zolotokopova, V. I. Egorova*

**BIOENGINEERING TECHNOLOGY  
OF REDUCTION OF POLLUTION  
OF FISHERY PONDS**

**Abstract.** The aim of the studies is to develop the bioengineering technology of the purification of sewage waters with higher aquatic vegetation, using adsorbent. The tasks of the study are to define the type of the higher aquatic plants, the most effective in purification of the water from organic compounds (nitrites, ammonium nitrogen, phosphate); to determine the feasibility of using sorbents in combination with higher aquatic vegetation; to select the optimal combinations of higher aquatic vegetation and sorbents providing the effective purification of the sewage waters. The experiments were held in the laboratory using the developed model of bio-sorbent. The material is an adsorbent (gaizes, expanded clay and vermiculite) + higher aquatic vegetation (common reed grass (*Phragmites australis*), tape-grass (*Vallisneria spiralis*), floating aquatic vegetation – duckweed (*Lémna*). It is found that the presence of adsorbent in combination with the duckweed decreases the rate and worsens the quality of purification. Tape-grass gives better results if combined with gaizes and is more effective in struggle with nitrites than duckweed. The best result, even without adsorbent, is fixed while using common reed grass, and if it is combined with duckweed, vermiculite or gaizes its adsorbing properties become more improved. Taking into account the results of the researches, a local device for purification of sewage waters is offered. The quality of water, purified with this device, corresponds to the norms specified for the quality of water in the fishery ponds.

**Key words:** pollution of water bodies, sewage water, cleaning devices, higher aquatic vegetation, bioengineering technology.

REFERENCES

1. Kokin V. A. *Ekologiya vysshikh vodnykh rastenii* [Ecology of higher aquatic vegetation]. Moscow, Izd-vo MGU, 1982. 158 p.
2. Khatchinson D. *Limnologiya* [Limnology]. Moscow, Progress Publ., 1969. 569 p.
3. Einor L. O. Rol' sveta v formirovanii pervichnoi produktsii v vodoemakh [The role of light in formation of the primary products in the water basins]. *Vodnye resursy*, 1987, no. 5, pp. 45–54.
4. Katanskaia V. I. *Vyshshaia vodnaia rastitel'nost' kontinental'nykh vodoemov SSSR* [Higher aquatic vegetation of the continental water basins in the USSR]. Moscow, Nauka Publ., 1981. 187 p.
5. Sadchikov A. P., Kudriashov M. A. *Ekologiya pribrezhno-vodnoi rastitel'nosti* [Ecology of coastal-water vegetation]. Moscow, Izd-vo NIA-Priroda, REFIA, 2004. 220 p.
6. Avakian A. B., Sharapov V. A., Saltankin V. P. *Vodokhranilishcha mira* [World water reservoirs]. Otvetstvennye redaktory: G. V. Voropaev, S. L. Vendrov. Moscow, Nauka Publ., 1979, 287 p.

The article submitted to the editors 18.08.2014

**INFORMATION ABOUT THE AUTHORS**

**Egorov Ivan Sergeevich** – Russia, 414056, Astrakhan; Astrakhan State Technical University; Postgraduate Student of the Department "Engineering Ecology and Nature Construction"; vesper-89@yandex.ru.

**Zolotokopova Svetlana Vasilievna** – Russia, 414056, Astrakhan; Astrakhan State Technical University; Doctor of Technical Sciences, Professor; Professor of the Department "Engineering Ecology and Nature Construction"; zolotokopova@mail.ru.

**Egorova Vera Ivanovna** – Russia, 414056, Astrakhan; Astrakhan State Technical University; Candidate of Biology, Assistant Professor; Assistant Professor of the Department "Applied Biology and Microbiology"; lekaego@mail.ru.

