

## Биоинженерные сооружения для очистки загрязненных поверхностных стоков

*Д.В. Ульрих*

*Южно-Уральский государственный университет (НИУ), Челябинск*

**Аннотация:** В статье рассматривается возможность использования биоинженерных сооружений для очистки загрязненных поверхностных стоков. Приведены примеры существующих технологических решений. Так, например, в Институте гидробиологии НАНУ было предложено использовать биологический пруд как сооружение доочистки воды, которая транспортируется из Днепра; в научно-инженерном центре (НИЦ) «Потенциал-4» предложены различные типы биоинженерных сооружений на основе закрытого биологического пруда гидропонного типа используемого в технологиях очистки сточных вод в виде водоохранного сооружения, которое объединяет основные элементы очистки с использованием иммобилизованной микрофлоры и макрофитов; в Хабаровском институте инженерного транспорта предложен способ очистки сточных вод от нефтепродуктов путем использования "фитофильтра" из зарослей рогоза и аира обыкновенного. Автором настоящей статьи представлена технологическая схема очистки как кислых, так и слабокислых поверхностных стоков в биоинженерном сооружении с использованием растений-макрофитов в виде комплекса гидатофитов, гидрофитов, гелофитов. Установлено, что очистка стоков в предложенном сооружении варьирует от 72 до 98%.

**Ключевые слова:** Биологический пруд, биоценоз, гидатофит, гидрофит, гелофит, тяжелый металл, загрязненный сток, фильтрация, фитофильтр, очистное сооружение.

Как известно критерием эффективности любой системы водоподготовки и водоочистки является не только доля удаляемых загрязняющих веществ, но и удельные затраты энергии и ресурсов для очистки единицы объема сточной воды. Расходы реагентов и энергии достигают в отдельных случаях около 70% себестоимости очистки воды. Где возможна экономия материальных и энергетических ресурсов для систем водоподготовки и очистки воды? Этот резерв заложен самой природой, изучая закономерности деструкции или накопления загрязнителей в биоценозах, можно создать высоко энергоэффективные очистные сооружения. Взятый в последние 40 лет курс на разработку и внедрение фитотехнологий очистки сточных вод к настоящему времени уже имеет практическую реализацию и широко применяется в мире. Исследования

---

природных процессов, в частности очистительного (метаболического) потенциала водной растительности проводятся в более 80 странах мира, в основном в Северной Америке, Европе, Юго-Восточной Азии и Океании.

С 1991 г. на эту тему в мире опубликовано более 4 тыс. работ, и их число растет в геометрической прогрессии, примерно удваиваясь каждые 2-4 года. Это быстрорастущая индустрия во многих странах мира. В последнее десятилетие резко возросло количество исследований, проводимых в Китае, а также количество биоинженерных сооружений, создаваемых с применением фитотехнологий. Согласно статистическим данным, в 2011 г. в Китае действовало 425 таких сооружений, используемых в основном для очистки сельскохозяйственных ирригационных стоков, при искусственном обводнении водных объектов и обводнении территорий для восстановления лесов. При этом каждый год строятся и вводятся в действие 15-30 новых сооружений.

Биоинженерные очистные сооружения в этих странах относятся к наилучшим доступным технологиям. Наибольшее распространение среди биоинженерных очистных сооружений поверхностных стоков получили биофильтрационные каналы, биофильтрационные склоны, биоплато, биопруды, фитофильтры [1, 23, 24].

Таким образом, основная цель рассматриваемого исследования – анализ и обоснование технологий очистки поверхностных стоков с использованием биологических прудов с водной растительностью.

### **Основные подходы и принципы очистки поверхностных сточных вод**

В разных странах проводятся исследования по новым биологическим методам очистки сточных вод, позволяющих достигнуть лучшие результаты в очистке и сохранении естественного биоценоза при попадании в реки и

---

озера очищенных стоков, что, в свою очередь, является самым серьезным вопросом защиты биосферы.

Из самых постоянно встречающихся способов очистки загрязненных стоков является выдерживание их в биопрудах - отстойниках, в которых концентрация поллютантов в течение определенного периода времени снижается до требуемых значений за счет естественного процесса самоочищения, который осуществляется водорослями, беспозвоночными организмами, микроорганизмами и высшими водными растениями (далее ВВР).

Практика эксплуатации биологических прудов с высшей водной растительностью показала ее наибольшую надежность и эффективность. Независимые эксперты сходятся во мнении, что затраты по "традиционной" очистке воды на порядок выше по сравнению с технологией, в которой применяется высшая водная растительность [2].

Известны искусственные биологические пруды открытого типа, которые предназначены для очистки сточных вод, где в качестве макрофитов используют рогоз, ирис, рдест, касатик, стрелолист, тростник озерный с плотностью посадки до 15 растений на 1 м<sup>2</sup>. Вид растений выбирают в зависимости от природы поллютантов. Биологический пруд заполняют водой до уровня от 0,3 до 1,5 м при скорости течения 0,005–0,01 м/с [3]. Эффективность работы таких открытых биоинженерных сооружений немного снижается в осенне-зимний период (до 70% [4]), но качество очистки не ухудшается выше ПДК для выпуска очищенной воды в естественные водоемы [5].

В Украине использование ВВР на разных типах биологических прудов, обеспечивает эффективную очистку и доочистку производственных, хозяйственно-бытовых сточных вод и загрязненного поверхностного стока, не требуя затрат электроэнергии и использования реагентов при

---

незначительном периодическом эксплуатационном обслуживании, началось еще в прошлом веке. В Институте гидробиологии НАНУ предложено и исследовано использование биологических прудов, как биоинженерного сооружения доочистки воды, которая транспортируется из Днепра для водообеспечения таких регионов, как Донбасс и Крым [6, 7]. Широкое внедрения сооружений с использованием ВВР производится в Институте экологических проблем, г. Харьков.

В научно-инженерном центре (НИЦ) «Потенциал-4» работы по разработке технологии доочистки и водоотведения возвратных вод с применением ВВР в закрытом биологическом пруду гидропонного типа начаты еще с 1990 года. НИЦ «Потенциал-4» предложены разные типы биоинженерных сооружений на основе закрытого биологического пруда гидропонного типа. Эти сооружения используются в разработках и технологиях очистки сточных вод как водоохранное сооружение, которое объединяет основные элементы очистки с использованием иммобилизованной микрофлоры и высших водных растений и водоотведение доочищенных возвратных вод в водоем непосредственно или опосредствованно (через поток грунтовых вод) при наличии благоприятных гидрогеологических условий площадки, на которой обустраивают эти сооружения.

В Иркутском национальном исследовательском техническом университете под руководством профессора С.С. Тимофеевой более 30 лет проводятся исследования по разработке и внедрению технологий очистки сточных вод с использованием макрофитов [8 - 20].

Хабаровским институтом инженерного транспорта разработан способ очистки стоков от нефтепродуктов с помощью "фитофильтра" из зарослей рогоза и айра. Для этой же цели на Красноводском нефтеперерабатывающем заводе используются камеры, заполняемые морской травой "зостера", запасы

---

которой практически неисчерпаемы на юго-восточном побережье Каспийского моря.

Применение ВВР для очистки воды в биологических прудах от различных поллютантов является наиболее эффективной системой очистки. Результаты внедрений технологий в практику свидетельствуют о больших преимуществах применения биопрудов с ВВР в технологиях очистки сточных вод.

### **Технология очистки стоков в биопруду**

Для очистки сточных вод горнорудной промышленности разработано биоинженерное очистное сооружение, способствующее максимальной очистке стоков от тяжелых металлов. Схема очистки сточных вод от тяжелых металлов включает в себя последовательно расположенные от стока фильтрующие элементы, биопруд и водоотвод, в качестве фильтрующих элементов используются фильтрационная секция, заполненную известняком, и фильтрующий модуль, заполненный материалом на основе дунитов, при этом в биопруд высажены водные растения в виде комплекса гидатофитов, гидрофитов, гелофитов. Данный вариант технологической схемы целесообразен для кислых стоков и стоков с более высоким рН раствора.

Технологическая схема для очистки кислых стоков содержит последовательно расположенные от стока фильтрационную секцию, заполненную известняком, фильтрационный модуль, биопруд с растениями-макрофитами в виде комплекса гидатофитов, гидрофитов, гелофитов. В пространстве биопруда заселяются рекомендованные нами растения, такие как: рдест пронзеннолистный, уруть колосистая, рдест гребенчатый, кубышка жёлтая, рогоз узколистый, рдест блестящий, сабельник болотный и кладофора сборная. Очистка от тяжелых металлов и иных загрязнений в холодное время года осуществляется фильтрующими секциями и Харовыми водорослями - хара обыкновенная. Дно и стенки биопруда и фильтрационной

---

секции выполнены из экранярующего слоя суглинков, для предотвращения фильтрации воды в нижние слои почвогрунтов и предотвращения контакта укореняющихся водных растений с техногенно-нагруженным грунтом. На дне пруда над слоем суглинка расположен слой из плодородного грунта в качестве субстрата для растений. Глубина пруда не менее 1,5-2 м. У противоположной от стока стенке биопруда выполнены дренаж и водоотвод.

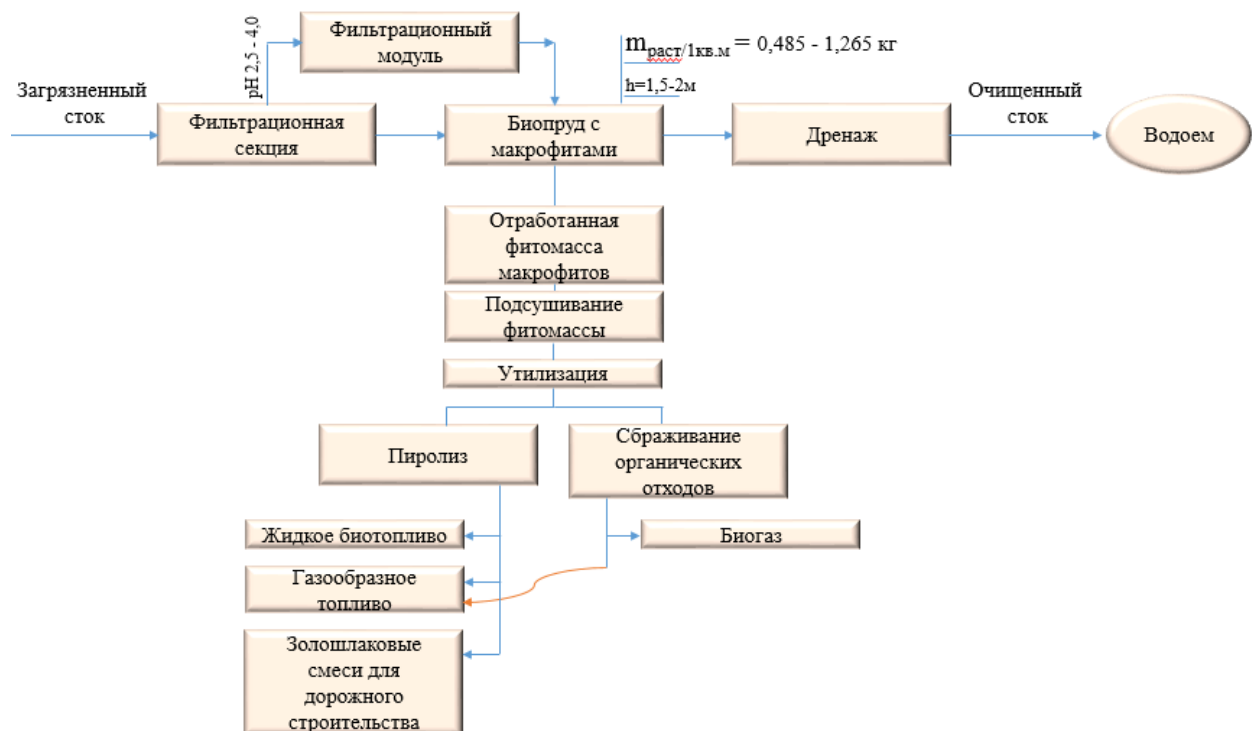


Рис. 1. - Технологическая схема очистки стоков в биологическом пруду

Для очистки слабокислых стоков непосредственно у стока расположена фильтрационная секция, заполненная гравием, огороженная от биопруда барьером в виде стальных сеток [21,22].

Отработанная фитомасса растений подвергается утилизации согласно технологической схеме.

Результаты натурных исследований указывают на достаточно высокие показатели качества очистки как кислых, так и слабокислых стоков. На



выходе биопруда в стоке наблюдается снижение тяжелых металлов на 72-98%.

### Литература

1. Тимофеева С.С., Ульрих Д.В., Тимофеев С.С. Фитофильтры для очистки сточных вод // Журн. «Вестник технологического университета». 2016. Т.19, №16. С. 162-166.
2. Марков П.П., Маркова Н.А., Соколова Э.В., Денисов В.Д. Биогидрботаническая очистка производственных сточных вод предприятий сложного химического комплекса при создании замкнутой системы их водного хозяйства // Тр. Ин-та ВОДГЕО Исследования процессов механической и биологической очистки промышленных сточных вод. М., 1980, С. 130-141.
3. Чуянов Г.Г. Хвостохранилища и очистка сточных вод // Екатеринбург: Изд. УГГГА, 1998. – 246 с.
4. Miller R.M. Biosurfactant-facilitated remediation of metal-contaminated soils // biopolymers / U. L. Lao, A. Chen, M. R. Matsumoto et al. // Environ. Health Perspectives. 1995. Vol. 103. pp. 59-62.
5. Mulligan C. N., Yong R. N., Gibbs B. F. Surfactant-enhanced remediation of contaminated soil: a review // Engineering Geology. 2001 г. Vol. 60. pp. 371-380.
6. Андреюк Е.И. Методологические аспекты изучения микробных сообществ почвы // Микробные сообщества и их функционирование в почве. – Киев: Наук. думка, 1981. С. 13–23.
7. Christofi N., Ivshina I. B. Microbial surfactants and their use in field studies of soil remediation // J. Appl. Microbiol. 2002. Vol. 93. pp. 915-929.



8. Тимофеева С.С., Тимофеев С.С. Время биотехнологий. Системы с высшей водной растительностью для очистки сточных вод // Вода Magazine. №10 (50), октябрь 2011. - С.56-62.
  9. Тимофеева С.С., Тимофеев С.С. Фитотехнологии и возможности их применения в условиях Восточной Сибири // Вестник ИГСХА, 2012, №48, февраль, С. 136-145
  10. Тимофеева С. С. Экологическая биотехнология. Иркутск: Изд-во ИрГТУ. - 1999 - 210 с.
  11. Кашина Н.Ф., Тимофеева С.С., Ежова Л.Н., Кожова О.М. Оптимизация гидрботанического способа очистки сточных вод от ароматических аминов методами математического планирования эксперимента // Водные ресурсы. - 1983. - №3. - С.153-160.
  12. Тимофеева С.С., Меньшикова О.А. Роль макрофитов в очищении воды от алифатических аминов // Водные ресурсы. - 1984. - №3. С.109-114.
  13. Тимофеева С.С., Краева В.З., Меньшикова О.А. Роль водорослей и высших водных растений в обезвреживании цианид содержащих сточных вод // Водные ресурсы. - 1985. - №6. С.111-116.
  14. Тимофеева С.С., Меньшикова О.А. Использование макрофитов для интенсификации биологической очистки роданид содержащих сточных вод // Водные ресурсы. - 1985. - №6. С.80-85.
  15. Timofeeva S.S., et al. Treatment of sewage containing aromatic amines with participation of macrophytes // Actahydrochim. hydrobiol. Part.1 - 1987. - Bd.15. - Hf.6. - s.611- 622; Part.2. - 1988. - Bd.16. - Hf.1; pp.73-80.
  16. Тимофеева С.С., Русецкая Г.Д. Роль макрофитов в обезвреживании флотореагентов // Водные ресурсы. -1989. -№4. С.187-94.
  17. Тимофеева С.С., Бейм А.М. Роль макрофитов в обезвреживании хлорированных фенолов // Водные ресурсы. - 1992. -№1. С. 89-191.
-



18. Timofeeva S.S., Stom D.I. Present and perspectives of using hydrobotanic treatment for sewage waters // ActaHydrochim. Hydrobiol. - 1986 - v.16 - № 3 - pp. 299-312.

19. Тимофеева С.С., Тимофеев С.С. Биотехнологическая очистка сточных вод объектов нефтедобычи // Безопасность в техносфере, №4, 2010, С. 12-16.

20. Тимофеева С.С., Тимофеев С.С., Медведева С.А. Биотехнологическая утилизация нефтешламов и буровых отходов // Вестник ИрГТУ, № 1, 2010. С. 158-163.

21. Ульрих Д.В. Система очистки сточных вод (варианты): пат. № 2572577 Рос. Федерация: МПК C02F3/32; C02F9/14 / Ульрих Д.В., Брюхов М.Н., Тимофеева С.С., Денисов С.Е. - № 2014123764/10; заявл. 10.06.2014; опубл. 20.12.2015, бюл. № 2.

22. Тимофеева С.С., Ульрих, Д.В. Технологические решения фиторемедиации поверхностных сточных вод // Сборник трудов VII Международного конгресса «Чистая вода. Казань»: Казань, 2016. С. 192-195.

23. Серпокрылов Н.С., Щербаков С. А. Доочистка шахтных вод на фильтрах с песчаной загрузкой // Инженерный вестник Дона, 2011, №2 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2011/434/.

24. Лаптев А.Г., Бородай Е. Н. Математическая модель процесса адсорбции при очистке сточных вод ТЭС от нефтепродуктов // Инженерный вестник Дона, 2010, №4 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2010/261/.

### References

1. Timofeeva S.S., Ul'rih D.V., Timofeev S.S. Zhurn. «Vestnik tehnologicheskogo universiteta». 2016. T.19, №16. pp. 162-166.



2. Markov P.P., Markova N.A., Sokolova Je.V., Denisov V.D. Tr. In-ta VODGEO Issledovaniya processov mehanicheskoy i biologicheskoy ochistki promyshlennyh stochnyh vod. M., 1980, pp. 130-141.

3. Chujanov G.G. Hvastohranilishha i ochistka stochnyh vod [Tailings dam and sewage water treatment]. Ekaterinburg: Izd. UGGGA, 1998. 246 p.

4. Miller R.M. Biosurfactant-facilitated remediation of metal-contaminated soils. Biopolymers. U. L. Lao, A. Chen, M. R. Matsumoto et al. Environ. Health Perspectives. 1995. Vol. 103. pp. 59-62.

5. Mulligan C. N., Yong R. N., Gibbs B. F. Engineering Geology. 2001 г. Vol. 60. pp. 371-380.

6. Andrejuk E.I. Metodologicheskie aspekty izuchenija mikrobnyh soobshhestv pochvy [Methodological aspects of studying of microbic communities of the soil]. Mikrobnye soobshhestva i ih funkcionirovanie v pochve. Kiev: Nauk. dumka, 1981. pp. 13–23.

7. Christofi N., Ivshina I. B. J. Appl. Microbiol. 2002. Vol. 93. pp. 915-929.

8. Timofeeva S.S., Timofeev S.S. Voda Magazine. №10 (50), oktjabr' 2011. pp.56-62.

9. Timofeeva S.S., Timofeev S.S. Vestnik IGSHA, 2012, №48, fevral', pp. 136-145

10. Timofeeva S. S. Jekologicheskaja biotehnologija [Ecological biotechnology]. Irkutsk: Izd-vo IrGTU. 1999. 210 p.

11. Kashina N.F., Timofeeva S.S., Ezhova L.N., Kozhova O.M. Vodnye resursy. 1983. №3. pp.153-160.

12. Timofeeva S.S., Men'shikova O.A. Vodnye resursy. 1984. №3. pp.109-114.

13. Timofeeva S.S., Kraeva V.Z., Men'shikova O.A. Vodnye resursy. 1985. №6. pp.111-116.

14. Timofeeva S.S., Men'shikova O.A. Vodnye resursy. 1985. №6. pp.80-85.

---

15. Timofeeva S.S., et al. Actahydrochim. hydrobiol. Part.1. 1987. Bd.15. Hf.6. pp.611- 622; Part.2. 1988. Bd.16. Hf.1; pp.73-80.
16. Timofeeva S.S., Ruseckaja G.D. Vodnye resursy. 1989. №4. pp.187-94.
17. Timofeeva S.S., Bejm A.M. Vodnye resursy. 1992. №1. pp. 89-191.
18. Timofeeva S.S., Stom D.I. ActaHydrochim. Hydrobiol. 1986. v.16 № 3. pp. 299-312.
19. Timofeeva S.S., Timofeev S.S. Bezopasnost' v tehnosfere, №4, 2010, pp. 12-16.
20. Timofeeva S.S., Timofeev S.S., Medvedeva S.A. Vestnik IrGTU, № 1, 2010. pp. 158-163.
21. Ul'rih D.V. Sistema ochistki stochnyh vod (varianty) [Sewage treatment system] (options): pat. № 2572577 Ros. Federacija: MPK C02F3/32; C02F9/14. Ul'rih D.V., Brjuhov M.N., Timofeeva S.S., Denisov S.E. № 2014123764/10; zajavl. 10.06.2014; opubl. 20.12.2015, bjul. № 2.
22. Timofeeva S.S., Ul'rih D.V. Sbornik trudov VII Mezhdunarodnogo kongressa «Chistaja voda. Kazan'»: Kazan', 2016. pp. 192-195.
23. Serpokrylov N.S., SHCHerbakov S. A. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2011, №2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2011/434/](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2011/434/).
24. Laptev A.G., Borodaj E. N. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2010, №4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2010/261/](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2010/261/).