

## Геоэкология

DOI: 10.34828/UdSU.2023.72.29.003

УДК 628.31

*М.В. Графкина, Д.В. Витковский*

### НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ФИТООЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

**Аннотация.** Мощное техногенное негативное воздействие оказывается на поверхностные водные объекты окружающей среды посредством загрязнения их промышленными, бытовыми и ливневыми стоками. Разработаны и применяются различные системы очистки сточных вод, в последнее время все шире стали использоваться природоподобные технологии, к которым можно отнести и фитоочистку сточных вод. Фитоочистные сооружения представляют собой сооружения, в которых помимо инженерных методов используется биометоды, когда очистка вод происходит, в том числе под действием специфического состава микроорганизмов, развивающихся в водной среде в корневой зоне растений и на иных субстратах, входящих в систему очистки. В настоящее время в России нет единого руководящего документа по проектированию фитоочистных сооружений, некоторые характеристики сооружений устанавливаются в ходе НИОКР. Целью данной работы является обобщение подходов к проектированию фитоочистных сооружений. Для достижения данной цели проанализирован зарубежный и отечественный опыт проектирования, требования нормативных правовых актов к проектированию сооружений, обобщены принципы проектирования.

**Ключевые слова:** очистка сточных вод, фитоочистные сооружения, требования к проектированию очистных сооружений, нормативные правовые акты.

*Для цитирования:* Графкина М.В., Витковский Д.В. Некоторые аспекты проектирования фитоочистных сооружений // Управление техносферой: электрон. журнал, 2023. Т.6. Вып. 2. URL: <https://technosphere-ing.ru> С. 158–169. DOI: 10.34828/UdSU.2023.72.29.003.

#### Введение

Гидросфера один из компонентов окружающей среды, который подвергается наиболее мощному негативному техногенному воздействию, особенно от промышленных, бытовых и ливневых стоков страдают поверхностные водные объекты. С целью защиты поверхностных водных объектов от загрязнения сточными водами предлагается довольно широкая

линейка технологий очистки сточных вод, базирующихся на следующих методах очистки [1]:

- механические (фильтрация, отстаивание, гидроциклоны и др.);
- химические (восстановление, окисление, нейтрализация и др.);
- физико-химические (флотация, коагуляция, сорбция и др.);
- биологические (биологические пруды, поля аэрации, анаэробные методы и др.).

В последнее время все больше внимания уделяется технологиям с использованием водных растений, которые называются водно-болотными системами или системами фитоочистки (фитоочистные сооружения – ФОС). Отличительными особенностями этих технологий является их подобие природным объектам, прежде всего, это подобие водно-болотным поверхностным объектам [2, 3].

ФОС представляют собой сооружения, в которых помимо инженерных методов используется биометоды, когда очистка вод происходит, в том числе, под действием специфического состава микроорганизмов, развивающихся в водной среде в корневой зоне растений и на иных субстратах, входящих в систему очистки. ФОС гармонируют с естественным ландшафтом и способны эффективно выполнять функции водоочистки.

Современная классификация выделяет несколько видов ФОС [4]:

- наличие или отсутствие свободной поверхности воды, причем сооружения с подповерхностным стоком более эффективные, чем с со свободной водной поверхностью;
- сооружения без свободной поверхности воды с вертикальным или горизонтальным движением потока очищаемых вод.

ФОС помимо традиционных направлений очистки и извлечения биогенных и органических веществ, тяжелых металлов и радионуклидов, могут применяться и для очистки вод от медицинских препаратов [4]. Растения и

микроорганизмы в ФОС формируют весьма эффективную систему по очистке стоков от органических токсичных соединений. Исследования показывают, что эффективность разложения некоторых из них (пестициды, лекарственные препараты, моющие средства) в ФОС может достигать более 99 %. При этом эффективность удаления токсичной органики в ФОС увеличивается с возрастом сооружения, так как в течение первых двух лет в ФОС формируется микробиоценоз, специфичный для каждого вида сточных вод. В настоящее время продолжают исследования по селекции и генетической модификации растений, применяемых в ФОС для получения желаемых характеристик очистки.

Проблема фитоочистки сточных вод довольно широко представлена в научной литературе. Однако на взгляд авторов недостаточно систематизированы требования и подходы к проектированию очистных сооружений, отсюда тема данных исследований представляется актуальной. Целью данного исследования является систематизация требований и подходов к проектированию фитоочистных сооружений. Для достижения данной цели проанализирован зарубежный и отечественный опыт проектирования, требования нормативных правовых актов к проектированию сооружений, обобщены принципы проектирования.

### **Основная часть**

В результате исследований выявлено, что в некоторых странах приняты руководящие документы по проектированию ФОС. Так по данным Агентства по охране окружающей среды США разработаны «Руководящие принципы искусственных очистных водно-болотных угодий: обеспечение качества воды и среды обитания диких животных». Этот документ включает в себя:

- Руководящие принципы размещения, проектирования, строительства, эксплуатации, технического обслуживания и мониторинга построенных обрабатывающих водно-болотных угодий;

- Информацию о текущей политике Агентства, разрешениях, правилах и ресурсах

- Ответы на общие вопросы.

Руководящие принципы этого документа были разработаны Межведомственной рабочей группой по искусственным водно-болотным угодьям (Агентство по охране окружающей среды США, Инженерный корпус армии, Служба охраны рыбных ресурсов и дикой природы, Служба охраны природных ресурсов, Национальная служба морского рыболовства и Бюро мелиорации) [5]. Также для общего пользования на сайте Агентства размещены:

- 17 тематических исследований по построенным водно-болотным системам, которые включают в себя описание проектов как искусственных, так и естественных водоемов для очистки сточных вод, и среды обитания диких животных;

- Руководство по проектированию водно-болотных систем, где описывается использование ФОС как части управления сточными водами;

- Справочник по созданным водно-болотным угодьям, который подготовлен как общее руководство по проектированию, строительству, эксплуатации и техническому обслуживанию искусственных водно-болотных угодий для очистки бытовых сточных вод, сельскохозяйственных сточных вод, стоков угольных шахт и ливневых стоков в Среднеатлантическом регионе и др.

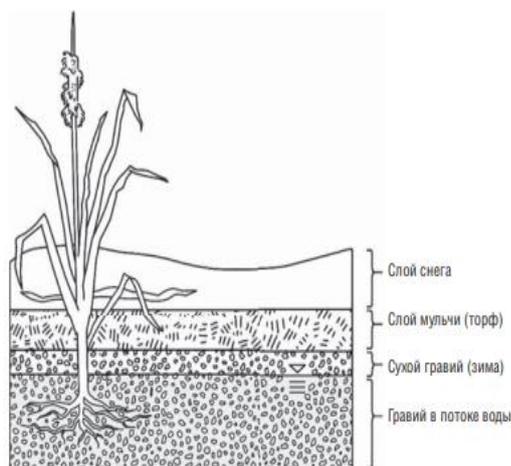
Немецкая ассоциация водоснабжения, сточных вод и отходов (DWA) опубликовала новый стандарт определения размеров, строительства и эксплуатации сооруженных водно-болотных угодий для очистки бытовых и муниципальных сточных вод. Материалы стандарта основаны на широком опыте, накопленном за последние годы в Германии и Европе [6].

По материалам ИТС 8-15 «Очистка сточных вод при производстве продукции (товаров), выполнении работ и оказании услуг на крупных

предприятиях» накоплен значительный опыт применения фитотехнологий в различных странах, например, в:

- Швеции и Норвегии – 71 сооружение ФОС;
- Дании - 130 сооружений;
- Канаде – 67 сооружений;
- Северной Америке 600 сооружений ФОС.

Опыт эксплуатации показал, что эти сооружения работают эффективно даже при низких температурах. Зимнее снижение активности ФОС незначительно по сравнению с тёплым (летним) периодом, если использовать терморегулирующий слой, защищающий сооружение от промерзания зимой. Вариант такой защиты представлен на рис. 1, где в качестве терморегулирующих материалов предлагается использовать рыхлые материалы (торф, легкие почвы, опилки и т.п.), толщина защитного слоя должна определяться с расчетом теплового баланса ФОС [2].



**Рис. 1. Защита ФОС от вымерзания в зимний период**

Авторы обобщили и систематизировали основные нормативные правовые акты, предъявляющие требования к системе фитоочистки. Условно документы разделили на две категории: документы общего действия и документы, отражающие некоторые требования к ФОС.

*Документы общего действия:*

- ст. 44 Водного кодекса РФ, где говорится, что: «использование водных объектов для целей сброса сточных, в том числе дренажных, вод осуществляется с соблюдением требований, предусмотренных настоящим Кодексом и законодательством в области охраны окружающей среды»;

- СанПин 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» устанавливает ПДК вредных веществ;

- Приказ № 552 Министерства сельского хозяйства РФ от 13.12.2016 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения (с изм. на 10 марта 2020 г.)».

*Документы, отражающие некоторые требования к ФОС, представлены в таблице 1.*

Таблица 1.

## Нормативные документы, содержащие требования к ФОС

№ п/п	Нормативный акт	Требования к ФОС
1.	СП 104.13330.2016 «Инженерная защита территории от затопления и подтопления»	п.6.4.1 Естественные и искусственные понижения рельефа (водоемы, долины ручьев, водно-болотные угодья, дождевые сады, биодренажные канавы и пр.) могут быть использованы для отвода атмосферных осадков и их постепенной инфильтрации с соблюдением требований СП 32.13330, СП 42.13330, СП 82.13330;
2.	СП 32.13330.2018 "СНиП 2.04.03-85 Канализация. Наружные сети и сооружения"	п. 9.2.13.5: «Для очистки сточных вод от органических веществ, азота и фосфора в климатических подрайонах IV, ШБ, ШВ, ПБ, ПВ (т.е. для теплого и умеренного климата) на очистных сооружениях до малых включительно допускается применение фитоочистных систем (ФОС), осуществляющих очистку в корневищной системе высшей водной растительности (камыш, рогоз, тростник), развивающейся в дренажном слое инертного материала, с предварительным удалением грубодисперсных примесей на решетках с прозорами не более 10 мм и осветлением в первичных отстойниках или септиках. Для предотвращения промерзания инертного материала в зимний период требуется устройство теплоизоляционного слоя»

*Продолжение табл. 1*

3.	СП 42.13330 12.5 Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений.	Планировка и застройка городских и сельских поселений. Размеры земельных участков для очистных сооружений канализации указаны в соответствующей таблице, но прямых указаний на размеры участков под ФОС в этой таблице нет
4.	СП 82.13330.2016 - Благоустройство территорий	п.5.2. Очистка поверхностного стока в водно-болотных угодьях, перед выпуском в водные объекты должна соответствовать требованиям раздела V СанПиН 2.1.3684-21. Приложение Г - Использование элементов и методов отвода и очистки поверхностного стока: «Водно-болотные угодья (ВБУ) имеют следующие параметры/характеристики, состав: пруд-отстойник глубиной менее 3 м, насос, фильтрационные отсеки, перелив, водовыпуск» при обеспечении требований СП 104.13330.
5	ИТС 8 –2015 «Очистка сточных вод при производстве продукции (товаров), выполнении работ и оказании услуг на крупных предприятиях»	Раздел 6. Перспективные технологии п. ПТ-1. Фитотехнологии очистки сточных вод относят к достоинствам ФОС «очень низкие эксплуатационные затраты и затраты на техническое обслуживание, а также отсутствие необходимости вывоза осадка, малая численность персонала, отсутствие необходимости в реагентах. В сравнении с капитальными затратами традиционного очистного сооружения (аэротенки с удалением биогенных элементов) капитальные затраты при применении фитотехнологий на 20 % — 30 % ниже, чем для классических сооружений».

Таким образом, в России в настоящее время не существует единого руководящего документа, содержащего требования к ФОС, технические показатели и характеристики проекта обычно устанавливаются в ходе НИОКР в проектных организациях.

Обобщение опубликованных в открытом доступе материалов позволяет указать на следующие принципы проектирования ФОС [7, 8], они включают в себя:

- наличие предварительных систем очистки для удаления грубодисперсных примесей на решетках с прозорами не более 10 мм (первичные отстойники, септики для осветления, резервуар Имхоффа и др.). При условии установки решетки с прозором 2мм можно не применять первичные отстойники.);

- собственно в сооружение ФОС входит пруд-отстойник глубиной менее 3 м, насос, фильтрационные отсеки, перелив, водовыпуск;
- сооружения без свободной поверхности воды с вертикальным или горизонтальным движением потока очищаемых вод помещаются в бассейн с субстратом для обеспечения площади поверхности, на которой образуются большие количества разлагающих отходы биопленок;
- в большинстве случаев дно таких бассейнов должно быть облицовано полимерной геомембраной, бетоном или глиной (при наличии глины подходящего типа) для защиты грунтовых вод и окружающих территорий;
- субстратом может быть гравий – обычно известняк или пемза/вулканическая порода, а также в зависимости от материалов местной доступности – песок или смесь различных сред (для заболоченных территорий с вертикальным потоком);
- при проектировании системы с горизонтальным потоком необходимо учитывать эвапотранспирацию;
- при проведении опытно-конструкторских работ уточняются размеры и иные характеристики конструкций модулей и бассейнов;
- в силу целесообразности использования в качестве субстрата местных материалов необходимо проводить исследования фильтрационных процессов (в зависимости от материала, способа уплотнения, вертикального или горизонтального движения воды и др.);
- при модернизации очистных сооружений, на территории которых находятся иловые карты, следует учитывать, что ФОС идеально вписывается на места расположения иловых карт, а это приведет к значительной экономии средств.

## Заключение

ФОС занимают свое место среди технологий по очистке сточных вод. Ряд нормативных документов содержит определённые требования к ФОС. Но в настоящее время в Российской Федерации нет единого руководящего документа по проектированию фитоочистных сооружений, в то же время как в ряде стран они разработаны и используются, что способствует более широкому применению этих сооружений, имеющих очевидные преимущества. Накоплен определённый опыт, позволяющий сформулировать основные принципы проектирования ФОС.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вертинский А.П. Современные методы очистки сточных вод особенности применения и проблематика // Инновации инвестиции. 2019. №1. С. 1750–180.
2. Фитосистемы для очистки сточных вод: современное решение экологических проблем / Н.М. Щеголькова, В. Диас, Е.А. Криксунов, К.Ю. Рыбка // Перспектива XXI – Наилучшие доступные технологии водоснабжения и водоотведения. 2015. № 2. С 46–55.
3. Брешиани Р. Фитоочистка как инновационный метод водоочистки // Вестник МГСУ. 2019. Т. 14. Вып. 7. С. 885–900. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.7.885-900
4. Пора очищать Арктику. Создание фитоочистной системы для доочистки сточных вод горнорудных предприятий от минеральных соединений азота / Л.А. Иванова. и др. Апатиты: Издательство Кольского научного центра, 2021. 88 с.
5. Constructed Wetlands. [Elektronnyi resurs]. Available at: <https://www.epa.gov/wetlands/constructed-wetlands> (accessed: 25.03.2023).
6. Jaime Nivala [ets]. The new German standard on constructed wetland systems for treatment of domestic and municipal wastewater, Water Sci Technol, 2018, 78(11), pp. 2414–2426. DOI: 10.2166/wst.2018.530.
7. Фитоочистка. [Elektronnyi resurs]. URL: <https://darvodgeo.creatrix-digital.ru/content/fito-ochistnye-sooruzheniya> (дата обращения: 20.03.2023).

8. Рыбка К.Ю., Щеголькова Н.М. Принципы проектирования фитоочистных систем // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2019. Т. 27. № 4. С. 255–263 DOI 10.22363/2313-2310-2019-27-4-255-263.

Поступила в редакцию 16.04.2023

***Сведения об авторах***

*Графкина Марина Владимировна*

д.т.н., зав. кафедрой «Экологическая безопасность технических систем Федеральное государственное автономное образовательное учреждение «Московский политехнический университет», 107023, Москва, ул. Большая Семёновская, 38, Россия.

E-mail: [marina/grafkina@rambler.ru](mailto:marina/grafkina@rambler.ru)

*Витковский Денис Викентьевич*

инженер НПО Российские очистные сооружения, 143025 рабочий посёлок Новоивановское, Одинцовский городской округ, Московская область, ул. Западная, 10, Россия.

E-mail: [denis@nporos.ru](mailto:denis@nporos.ru)

*M.V. Grafkina, D.V. Vitkovsky*

## SOME ASPECTS OF DESIGNING PHYTOTREATMENT FACILITIES

**Annotation.** A powerful technogenic negative impact is made on the surface water objects of the environment by polluting them with industrial, domestic and storm water runoff. Various systems of wastewater treatment have been developed and applied, lately nature-like technologies, to which wastewater phytotreatment can be referred. Phytotreatment plants are facilities that in addition to engineering methods use biomethods, where water treatment occurs, including the action of a specific composition of microorganisms that develop in the aquatic environment in the root zone of plants and other substrates that are part of the treatment system. Currently, there is no unified guiding document for the design of phytotreatment plants in Russia, and some characteristics of such facilities are established in the course of R&D. The purpose of this paper is to summarize approaches to the design of phytotreatment plants. To achieve this purpose, foreign and domestic design experience, requirements of normative legal acts for designing constructions have been analyzed and principles of designing have been generalized.

**Keywords:** wastewater treatment, phytotreatment plants, requirements for the design of wastewater treatment facilities, normative legal acts.

*For citation:* Grafkina M.V., Witkowski D.V. [Some aspects of designing phytotreatment facilities]. *Upravlenie tekhnosferoi*, 2023, vol. 6, issue 2. (In Russ.) Available at: <https://technosphere-ing.ru>/pp. 158–169. DOI: 10.34828/UdSU.2023.72.29.003.

## REFERENCES

1. Vertinskii A.P. Sovremennye metody ochistki stochnykh vod osobennosti primeneniya i problematika [Modern methods of wastewater treatment: application features and problems]. *Innovazii investizii [Innovation investment]*, 2019, no.1, pp. 175–180. (In Russ.).
2. Shchegol'kova N.M., Dias V., Kriksunov E.A., Rybka K.Yu. Fitosistemy dlya ochistkistochnykh vod: sovremennoe reshenie ekologicheskikh problem [Phyto-systems for wastewater treatment: a modern solution to environmental problems]. *Perspektiva KhKhI – Nailuchshie dostupnye tekhnologii vodosnabzheniya i vodootvedeniya [Perspective XXI – The best available water supply and sanitation technologies]*, 2015, no. 2, pp. 46–55. (In Russ.).
3. Breshiani R. Fitoochistka kak innovatsionnyi metod vodoochistki [Phytocleaning as an innovative method of water treatment], *Vestnik MGSU*, 2019, vol. 14, issue 7, pp. 885–900. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.7.885-900. (In Russ.).
4. Ivanova L.A. (ets). *Pora ochishchat' Arktiku. Sozdanie fitoochistnoi sistemy dlya doochistki stochnykh vod gornorudnykh predpriyatii ot mineral'nykh soedinenii azota* [It's time to clean up the Arctic. Creation of a phyto-purification system for post-treatment of wastewater from mining

- enterprises from mineral nitrogen compounds], L.A. Ivanova. i dr. Apatity: Izdatel'stvo Kol'skogo nauchnogo tsentra, 2021, 88p. (In Russ.).
5. Constructed Wetlands. [Elektronnyi resurs]. Available at: <https://www.epa.gov/wetlands/constructed-wetlands> (accessed: 25.03.2023).
  6. Jaime Nivala (ets). The new German standard on constructed wetland systems for treatment of domestic and municipal wastewater, *Water Sci Technol*, 2018, 78(11), pp. 2414–2426. DOI: 10.2166/wst.2018.530.
  7. *Fitoochistka* [Phytocleaning]. Available at: <https://darvodgeo.creatrix-digital.ru/content/fitoochistnye-sooruzheniya> (accessed: 20.03.2023).
  8. Rybka K.Yu., Shchegol'kova N.M. Printsipy proektirovaniya fitoochistnykh sistem [Principles of designing phytocleaning systems]. *Vestnik Rossiiskogo universiteta druzhby narodov. Seriya: Ekologiya i bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti* [Bulletin of the Peoples' Friendship University of Russia. Series: Ecology and life safety], 2019, vol. 27, no. 4, pp. 255–263 DOI 10.22363/2313-2310-2019-27-4-255-263 (In Russ.).

Received 16.04.2023

### ***About the Authors***

*Grafkina Marina Vladimirovna*

Doctor of Technical Sciences, Head of the Department, Federal State Autonomous Educational Institution "Moscow Polytechnic University", 107023, Moscow, Bolshaya Semyonovskaya st., 38, Russia.

E-mail: [marina/grafkina@rambler.ru](mailto:marina/grafkina@rambler.ru)

*Vitkovsky Denis Vikentievich*

Engineer NPO, Russian treatment facilities, 143025 industrial settlement Novoivanovskoye, Odintsovo city district, Moscow region, Western, 10, Russia.

E-mail: [denis@nporos.ru](mailto:denis@nporos.ru)