

ПРИМЕНЕНИЕ ГАБИОННЫХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

С.М. Чесалов, Ю.А. Лион, В.В. Птицын, А.В. Малоземов
ООО «ЭКОЛАНДШАФТ-XXI ВЕК»

Габрионные очистные фильтрующие сооружения в некоторых случаях имеют ряд преимуществ по сравнению с промышленными очистными сооружениями. Их использование способствует повышению качества очистки ливневых стоков.

Основным направлением защиты гидросферы от загрязнения является запрет на сброс в водные объекты загрязнённых поверхностных сточных вод, физико-химические и бактериологические показатели которых превышают нормы, установленные законодательством Российской Федерации. В нашей стране сброс поверхностных сточных вод в водные объекты регламентируется нормативами предельно допустимых концентраций (ПДК) вредных веществ в водах водных объектов, представленными в ГОСТ 17.1.2.04-77 [1], СанПиН 2.1.5.980-00 [2], приказе Росрыболовства от 18.01.2010 № 20 [3].

Большинство водных объектов в России относится к объектам рыбохозяйственного значения, и сточные воды, сбрасываемые в них, не могут содержать, например, растворённые нефтепродукты в концентрации более 0,05 мг/л. Следует отметить, что аналогичных требований нет в нормативных документах ни одной

страны мира, как нет и данных о том, что в этих странах усиленно происходит деградация водных объектов, включая ихтиофауну.

Несмотря на многочисленные теоретические и технические разработки в области очистки поверхностных сточных вод, актуальность поиска новых решений сохраняется. Одним из возможных и перспективных направлений является разработка открытых самотёчных очистных сооружений, которые не требуют для своей работы химических реагентов, дорогостоящего оборудования, электро-, тепло- и водоснабжения. К такому типу сооружений относятся габрионные очистные фильтрующие сооружения (ГОФС).

Впервые они были применены в 1997 г. при реконструкции Московской кольцевой автодороги (МКАД), когда потребовалось в сжатые сроки предложить защиту всех водотоков, пересекаемых МКАД, от попадания стоков с полотна автодороги. Тогда появились сооружения, корпус ко-

торых изготавливали из габионных конструкций, отстойники образовывали каскад на ручье или овраге, а за каскадом устраивалось биоплато – искусственное болото с посадками, главным образом рогоза (лат. *Týpha*).

Такие сооружения (рис. 1) обеспечивали очистку поверхностных сточных вод от взвешенных веществ и нефтепродуктов до уровня, требуемого для вод водоёмов рекреационного водопользования, и получили название «водопроточные фильтрующие водоёмы». Опыт получил развитие при строительстве очистных сооружений на Третьем транспортном кольце Москвы и вылетных магистралях (Киевском, Международном, Осташковском и Ярославском шоссе). На рис. 2 представлен самый большой в Москве фильтрующий водоём, расположенный на р. Кровянке. Очистные сооружения из габионных конструкций, имеющие в своём составе гидроботанические площадки и биоплато, использо-

вались и при строительстве кольцевой автодороги в Санкт-Петербурге [4].

Для достижения при очистке поверхностных сточных вод уровня ПДК вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения водопроточные фильтрующие сооружения были модифицированы путём добавления в их конструкцию, кроме отстойника и биоплато, ещё двух ступеней очистки – камеры с зернистой загрузкой и камеры с сорбентом.

Габионные очистные фильтрующие сооружения, как правило, имеют две секции, каждая из которых включает четыре ступени очистки: аккумулирующую ёмкость-отстойник; фильтрующую камеру с зернистой загрузкой; биоплато; фильтрующую камеру с сорбентом (рис. 3).

Габионные очистные фильтрующие сооружения являются открытыми самотёчными сооружениями, и для их работы не требуются реагенты, насосное



Рис. 1. Фрагмент фильтрующего водоёма из габионных конструкций



Рис. 2. Фильтрующий водоём на р. Кровянке в Москве

оборудование, электричество, строительство служебных помещений. Основные условия работы сооружений:

1) не менее чем метровый перепад высот в абсолютных отметках лотков водоподводящей и водоотводящей труб. Абсолютная отметка последней определяется положением точки сброса очищенных сточных вод в водный объект, в который они отводятся;

2) участок, имеющий достаточную площадь для размещения ГОФС соответствующей производительности. Форма сооружения и рельеф участка могут быть любыми.

Для защиты грунта от инфильтрации загрязнённого поверхностного стока всё сооружение гидроизолируется с помощью плёночных материалов. Для реализации технологической схемы в ГОФС используются геомембраны, удобные при монтаже в сочетании с габионными конструкциями.

Ещё одно достоинство ГОФС – с появлением новых материалов и сорбентов они легко могут быть модифицированы в целях снижения стоимости эксплуатации и повышения их надёжности.

Аккумулирующая ёмкость-отстойник имеет глубину отстойной части не менее 1 м, а глубину рабочего объёма – 1–3 м. В отстойнике происходит осаждение взвешенных веществ и всплытие свободных нефтепродуктов. Положение уровня воды определяется конструкцией камеры с зернистой загрузкой и высотной отметкой лотка водоподводящей трубы. Скорость движения воды в аккумулирующей ёмкости-отстойнике определяется конструкцией фильтрующей камеры с зернистой загрузкой и, как правило, имеет значение менее 0,01 м/с. Расчёт рабочего объёма производится с использованием действующих нормативных документов [5–7].

Камера с зернистой загрузкой используется в качестве естественного фильтра и представляет собой ёмкость между двумя рядами габионов, заполненную щебнем и крупнозернистым песком. Указанная конструкция камеры по принципу действия обеспечивает напорную вертикальную (сверху вниз) фильтрацию сточных вод. Размер камеры и фильтрационные свойства зер-

нистой загрузки задают такую скорость фильтрации, чтобы сточные воды находились в отстойнике не менее суток, обеспечивая не менее чем 95%-ную степень очистки сточных вод от взвешенных веществ [7].

Биоплато, входящее в состав ГОФС, представляет собой мелководный, природоподобный водоём, засаженный местными видами макрофитов (рис. 4), в котором поверхностные сточные воды проходят физико-химическую и биологическую очистку. В центральной полосе России для посадки в биоплато используются в основном рогоз узколистный и рогоз широколистный. Рогоз очень устойчив к воздействию различных климатических и техногенных факторов. На практике не зафиксировано ни одного случая гибели растений в биоплато по причине, не связанной с естественными процессами жизнедеятельности многолетних растений. Проектная плотность посадки рогоза составляет 16 шт. на 1 м². Уже на следующий год рогоз разрастается и его плотность может достигать 100 шт./м².

Уровень воды в биоплато определяется конструкцией фильтрующей камеры с сорбентом, при этом его минимальная глубина составляет 0,3 м, максимальная – 0,6 м.

Аналогичные способы очистки, основанные на естественных процессах

самоочищения водоёмов, реализуются в таких инженерных сооружениях, как биологические пруды-отстойники различных типов [6], гидробиотанические площадки [8], Constructed Wetlands [9–12] и фитоочистные системы (ФОС) [13]. Первые эксперименты с использованием биоплато и макрофитов для очистки сточных вод были проведены в Германии в начале 1950-х гг. [11]. С тех пор построены тысячи биологических очистных сооружений, которые используются в разных странах для очистки сточных вод различных типов [11], включая шахтные воды [9–13].

Разработка, проектирование и строительство биоплато, Constructed Wetlands и ФОС продолжается во всём мире, в том числе и в России. В настоящее время, наряду с простейшими искусственными болотами с открытой водной поверхностью, появились сложные гибридные системы, сочетающие искусственные болота с горизонтальной и вертикальной фильтрацией.

Во многих странах ФОС используются как вторичные или третичные ступени очистки, в том числе поверхностных ливневых вод [13]. В этих системах, в отличие от локальных очистных сооружений, создаются условия для естественных биохимических процессов, связанных с функционированием высших водных растений (ВВР) [8]. При очистке сточных вод



Рис. 3. Принципиальное устройство ГОФС

Таблица 1

**Результаты опыта по очистке поверхностных
сточных вод в искусственном биоплато**

Место отбора проб	Дата отбора проб на химический анализ	Параметры			
		БПК ₅ , мг О ₂ /л	Взвешенные вещества, мг/л	Нефтепродукты, мг/л	ХПК, мг О ₂ /л
Поверхностные сточные воды	20.08.2008	11	37	1,6	92
Сточные воды в искусственном биоплато	21.08.2008	5,6	2,4	0,3	57
	22.08.2008	2,2	2,2	0,21	42
Сточные воды	21.08.2008	9	12	0,75	43
в ёмкости сравнения	22.08.2008	5,3	6,4	0,3	43
Норматив для сравнения		До 3	До 10,75	До 0,05	До 30

чаще всего используют такие виды ВВР, как камыш, тростник озёрный, рогоз узколистный и широколистный, рдест гребенчатый и курчавый, спироделла многокоренная, элодея, водный гиацинт (эйхорния), касатик жёлтый, сусак, стрелолист обычный, гречиха земноводная, резуха морская, уруть, хара, ирис и пр. [14]. ВВР являются субстратом для развития различных видов водорослей, грибов, бактерий. Благодаря совместному действию сообщества растений и микроорганизмов происходит поглощение значительного количества биогенных элементов (азота, фосфора, калия, кальция, магния, марганца, серы), осаждение взвешенных веществ, насыщение воды кислородом, а также частичная очистка от тяжёлых металлов (кадмия, меди, свинца, цинка), фенолов, сульфатов, нефтепродуктов, синтетических поверхностно-активных веществ [14]. Кроме того, ВВР обеспечивают практически полную дезодорацию (уничтожение гнилостного запаха очищенных сточных вод).

Однако одно только биоплато не может очистить сточные воды до требуемых ПДК вредных веществ [9-11, 13]. Об этом свидетельствуют данные, полученные при отборе проб из сооружений очистки поверхностных сточных вод,

состоящих только из отстойников и био-плато. Содержание растворённых нефтепродуктов в очищенных сточных водах, выходящих из таких сооружений, превышает уровень ПДК вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения.

Опыты по очистке поверхностных сточных вод на искусственном биоплато подтвердили указанный вывод (табл. 1). Для опыта использовались две цилиндрические ёмкости диаметром 0,5 м и высотой 0,8 м. Первая ёмкость (искусственное биоплато) была заполнена слоем песка толщиной 0,3 м, выше располагался почвенный слой с корневой системой и стеблями рогоза. Средняя плотность посадки растений составляла одно растение на 1 дм². Поверхностные сточные воды были залиты в первую ёмкость слоем 0,2 м над уровнем почвенного слоя с корневой системой рогоза. Вторая ёмкость – ёмкость сравнения – была заполнена слоем песка толщиной 0,3 м, поверх которого осторожно были залиты сточные воды слоем 0,2 м. Опыт длился двое суток.

Представленные в табл. 1 данные показывают, что биоплато за достаточно продолжительное время (2 сут) не в состоянии обеспечить очистку поверхностных сточных вод до нормативов ПДК

вредных веществ. Поэтому ГОФС имеют четыре ступени очистки, а размещение биоплато (третья ступень) перед камерой с сорбентом (четвёртая ступень) является принципиальным и оптимальным. Размер биоплато в нашем случае может быть любой, так как объективно произойдёт перераспределение нагрузки между биоплато и сорбентным фильтром. При наличии места для устройства биоплато нагрузка на фильтр уменьшается, а следовательно, увеличивается срок его работы до замены.

Есть данные о том, что в осенне-зимний период эффективность работы биоплато снижается на 70% [14]. Граница применения биоплато и Constructed Wetlands по отечественным и зарубежным данным всё больше отодвигается на север [11, 14], что приводит к уменьшению периода вегетации макрофитов. Тем не менее и в этих случаях оптимальна конструкция из четырёх ступеней очистки ГОФС, так как биоплато при температурах, близких к 0°C, и наличии жидкого стока будет работать как мелководный отстойник, а доочистка стоков будет происходить на следующей ступени очистки.

Фильтрующая камера с сорбентом. На заключительном этапе после биоплато сток попадает в фильтрующую камеру с сорбентом, который обеспечивает доочистку стоков до нормативов ПДК вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения. Такая схема обеспечивает работу ГОФС в любое время года при наличии жидкого стока.

В качестве сорбента в большинстве случаев используется С-ВЕРАД – модифицированный алюмосиликат, создан-



Рис. 4. Фрагмент биоплато через два года после строительства

ный на основе природного минерала вермикулита. Гранулы сорбента имеют микропористую и микропористую слоисто-чешуйчатую структуру. В результате сорбции на завершающем этапе очистки в камере с сорбентом происходит доочистка сточных вод от нефтепродуктов, тяжёлых металлов, взвешенных и органических веществ.

Перспективным для использования в ГОФС является сорбент МИУ-С, обладающий бактерицидными свойствами и доказанной способностью к эффективному очищению стоков не только от нефтепродуктов, но и от некоторых тяжёлых металлов. МИУ-С сравнительно легко регенерируется и поэтому пригоден для повторного использования [15].

Среди материалов, использовавшихся на предварительной стадии очистки поверхностных сточных вод от нефтяных загрязнений, хорошие результаты обеспечил и сорбент Мегасорб [16, 17].

В случае частичного или полного снижения эффективности биоплато при



Рис. 5. ГОФС заводов Peugeot Citroen и Mitsubishi Motors Corporation в промышленном парке «Росва» г. Калуги

температурах, близких к 0°C , доочистка жидкого стока будет происходить в фильтрующей камере с сорбентом. При указанных температурах возможно значительное увеличение концентраций загрязняющих веществ, поступающих на сорбент, особенно в талом стоке, по сравнению с летним периодом. Количество загрязняющих веществ, удержанных сорбентом, также значительно увеличится. Однако на выходе из ГОФС концентрации загрязняющих веществ в очищенных сточных водах, так же как и в летний период, не превысят ПДК вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения. Таким образом, наличие биоплато в качестве третьей ступени очистки ГОФС увеличивает продолжительность работы фильтрующей камеры с сорбентом примерно на 30–50% относительно расчётного.

Расчёт работы ГОФС проводится так, чтобы частота обслуживания не превышала одного раза в год. Обслуживание ГОФС заключается в выполнении следующих видов работ:

- удаление осадка один раз в 1–2 года;
- замена зернистой загрузки фильтра второй ступени. Простое и самое экономичное решение – снятие верхнего слоя песка толщиной 2–3 см в год [18];
- замена загрязнённого растительного грунта биоплато не чаще одного раза в 5 лет;
- замена загрязнённого сорбента «С-Верад» не чаще одного раза в год (в зависимости от нагрузки).

При проведении работ по обслуживанию очистного сооружения секции поочередно отключаются.

Удаление осадка из аккумулирующей ёмкости-отстойника доступно как

специальной технике (илососам), так и любому виду строительной техники, поскольку сооружение имеет глубину не более 4 м. При большой его площади устраиваются съезды на дно отстойника.

К настоящему моменту в Москве, Московской области, Калуге, Сочи спроектировано и построено уже более 120 ГОФС со сроком службы от 2 до 15 лет с разной площадью водосбора. Сооружения осуществляют очистку стоков, поступающих с автодорог федерального уровня, а также с промышленных площадок крупных предприятий (рис. 5), т.е. с объектов, поверхностные сточные воды с территорий которых отличаются сильной загрязнённостью в течение практически всего года.

Изучение характеристик ГОФС показало, что они применяются для очистки поверхностных сточных вод с территорий в широком диапазоне площадей водосбора – от 1,6 до 377,8 га. Отношение площадей биоплато и ГОФС составляет

от 18 до 48%, а оптимальным следует считать 30–50%.

Из-за сложного характера процессов формирования поверхностных сточных вод, а также переменного, существенно нестационарного режима поступления стоков на очистку как по их объёму, так и по составу содержание основных загрязняющих компонентов также подвержено изменениям. К сожалению, данные постоянных режимных наблюдений и опробований степени очистки сточных вод на ГОФС отсутствуют.

Тем не менее есть надёжные свидетельства того, что в ГОФС, несмотря на всю простоту их конструкции, может происходить очистка поверхностных сточных вод до уровня ПДК вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения.

Многие ГОФС были изучены для оценки их эффективности. В табл. 2 и 3 представлены результаты анализа проб стоков, отобранных

Таблица 2

Результаты химических анализов сточных вод на нефтепродукты и взвешенные вещества, мг/л

Период опробования	Количество объектов (ГОФС)	Место отбора пробы	Нефтепродукты	Взвешенные вещества
Тёплый (2006–2011 гг.)	12	Вход	0,34/49	9/1260
		Выход	<0,05/0,17	2,2/23
Холодный (зима 2005–2011 гг.)	4	Вход	0,21/52	97/1000
		Выход	<0,05/0,062	2,8/8,8
Норматив			0,05	10,75

Таблица 3

Результаты химических анализов сточных вод на БПК₅ и ХПК, мг/л

Период опробования	Количество объектов (ГОФС)	Место отбора пробы	БПК ₅	ХПК
Тёплый (2006–2010 гг.)	6	Вход	3,4/25	35/138
		Выход	1,1/3,4	13/38
Холодный (зима 2011 г.)	1	Вход	4,8	37
		Выход	0,8	14
Норматив			3	30

в разное время года на входе и выходе как с только недавно построенных, так и с проработавших несколько лет сооружений. Из этих данных видно, что уровень очистки стоков по основным загрязняющим компонентам – взвешенным веществам, нефтепродуктам, БПК₅ и ХПК – соответствует требованиям нормативов.

Все анализы выполнялись в лабораториях Аналитического центра контроля качества воды «Роса». Определение содержания нефтепродуктов проводилось с помощью наиболее достоверного метода – ИК-спектрометрии [19].

В заключение хотелось бы отметить следующее:

1. ГОФС относятся к открытым, самотёчным сооружениям, которые не требуют для своей работы использования реагентов, насосного оборудования, электричества, строительства служебных помещений.

2. В состав ГОФС в качестве обязательного и очень важного элемента очистки поверхностных сточных вод должно входить биоплато, в котором

реализуется способность экосистемы водного объекта к самоочищению.

3. ГОФС состоит из одной или двух секций, каждая из которых должна включать четыре ступени очистки: аккумуляющую ёмкость-отстойник; фильтрующую камеру с зернистой загрузкой; биоплато; фильтрующую камеру с сорбентом. Такая последовательность размещения конструктивных элементов ГОФС является принципиальной и обязательной.

4. Результаты многолетних наблюдений и анализы проб стоков, отобранных на входе и выходе из ГОФС, показывают, что эти открытые самотёчные сооружения способны без использования химических реагентов очищать поверхностные сточные воды до уровня, необходимого при сбросе в водные объекты, т.е. способны эффективно реализовать их защиту от загрязнений.

5. За счёт использования габионов, биоплато и отсутствия реагентов ГОФС можно отнести к природоподобным сооружениям, которые могут быть вписаны в рельеф и стать частью ландшафта.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 17.1.2.04-77. Охрана природы. Гидросфера. Показатели состояния и правила таксации рыбохозяйственных водных объектов.
2. СанПин 2.1.5.980-00. Гигиенические требования к охране поверхностных вод.
3. Приказ Росрыболовства от 18.01.2010 № 20 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения».
4. Леонов Е.А., Михайлова М.С. Проблемы очистки сточных вод с поверхности автомобильных дорог на примере кольцевой автомобильной дороги вокруг Санкт-Петербурга // Жизнь и безопасность. 2002. № 3. С. 280–286.
5. Рекомендации по расчёту систем сбора, отведения и очистки поверхностного стока с сельских территорий, площадок предприятий и по определению условий выпуска его в водные объекты. М.: ФГУП «НИИ ВОДГЕО», 2006.
6. СП 32.13330.2012. Канализация. Наружные сети и сооружения. Актуализированная редакция СНиП.
7. СН 496-77. Временная инструкция по проектированию сооружений для очистки поверхностных сточных вод.
8. Очистные сооружения для автодорог // САНТЕХНИКА. 2014. № 2. С. 36–43.

9. Moshiri, Gerald A. Constructed wetlands for Water Quality Improvement. Lewis Publishers, 1993.
10. Mander U., Jenssen P.D. Constructed wetlands for wastewater treatment in cold climates (hardcover). Boston Publishing Company, 2002. P. 344.
11. Vymazal J. Constructed Wetlands for Wastewater Treatment // Water. 2010. P. 530-549.
12. Manual. Constructed Wetlands Treatment of Municipal Wastewaters. National Risk Management Research Laboratory U. S. Environmental Protection Agency. Cincinnati Ohio, 1999. P. 166.
13. Щеголькова Н.М. и др. Применение фитосистем для очистки сточных вод в России // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2014. № 5. С. 20-31.
14. Диренко А.А., Коцарь Е.М. Использование высших водных растений в практике очистки сточных вод и поверхностного стока // Сантехника. Отопление. Кондиционирование. 2006. № 4. С. 12-15.
15. Тарнопольская М.Г. Физико-химические основы очистки воды угольным сорбентом МИУ-С // Водоснабжение и санитарная техника. 2006. № 7. С. 35-39.
16. Лакина Т.А. Использование сорбента «Мегасорб-Ф» для очистки поверхностных сточных вод // Водоснабжение и канализация. 2011. № 1-2. С. 108.
17. Лакина Т.А. Высокоэффективный фильтрующий материал для очистки промышленных и сточных вод от нефтяных загрязнений - сорбент «Мегасорб» // Водоочистка. 2006. № 7. С. 38.
18. Фрог Б.Н., Левченко А.П. Водоподготовка. М., 1996. С. 291.
19. Дорожкина О.В., Шилин С.А., Тихонова И.О. Сравнение аналитических методов определения нефтепродуктов в городских сточных водах. М.: РХТУ им. Д. И. Менделеева. 2013. С. 3.