

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт химии и инженерной экологии

(наименование института полностью)

Кафедра «Рациональное природопользование и ресурсосбережение»

(наименование кафедры)

18.04.01 Химическая технология

(код и наименование направления подготовки)

Экобиотехнология

(направленность (профиль))

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

на тему: Разработка экобиотехнологического комплекса очистки стоков
регулирующей емкости «Копань»

Студент

Ю.М. Сигалов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Научный
руководитель

Е.П. Загорская

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель
программы

к.х.н., д.т.н., доцент, С.В. Афанасьев

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

(личная подпись)

« ____ » _____ 2018г.

Допустить к защите

Заведующий кафедрой

к.п.н., доцент, М.В. Кравцова

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

(личная подпись)

« ____ » _____ 2018г.

Тольятти 2018

Оглавление

| | |
|--|----|
| Введение..... | 4 |
| Глава 1 Анализ проблемы загрязнения поверхностных вод от химических предприятий на примере Северного промузла и регулирующей емкости «Копань» г.о. Тольятти..... | 7 |
| 1.1 Характеристика процессов очистки стоков в регулирующей ёмкости «Копань»..... | 10 |
| 1.2 Анализ очистки стоков на установке НДС..... | 16 |
| Глава 2 Сравнительный анализ и выбор методов и технологий очистки сточных вод предприятий и водоемов..... | 19 |
| 2.1 Геотекстильные фильтры для очистки сточных вод..... | 20 |
| 2.2 Фильтр с пленочной биозагрузкой..... | 26 |
| 2.3 Биологическая очистка..... | 29 |
| 2.4 Биосорбционный фильтр..... | 31 |
| 2.5 Фиторемедиационные технологии извлечения поллютантов из сточных вод..... | 33 |
| 2.6 Зарубежный опыт очистки водоемов с использованием высших водных растений-макрофитов..... | 38 |
| Глава 3 Разработка экобиотехнологического комплекса по биологической очистке воды в регулирующей емкости «Копань»..... | 46 |
| 3.1 Выбор и расчет заградительных биофильтров на основе габионных конструкций..... | 50 |
| 3.2 Описание фитосорбционного модуля..... | 55 |
| 3.3 Биофильтрационный модуль доочистки..... | 61 |
| 3.4 Экспериментальное исследование эффективности комплексов с использованием макрофитов и сорбентов для очистки воды..... | 64 |
| 3.5 Эколого-экономическое обоснование экобиотехнологического комплекса..... | 71 |

| | |
|---------------------------------------|----|
| Заключение..... | 75 |
| Список использованных источников..... | 77 |
| Приложение 1..... | 86 |

Введение

Город Тольятти – это развитый центр не только автомобильной, но и химической промышленности. В городе сконцентрировано несколько крупных химических предприятий, таких как ПАО «КуйбышевАзот», ОАО «Тольяттиазот», ООО «Тольяттикаучук». Однако, помимо своей экономической значимости, эти предприятия оказывают антропогенное воздействие на окружающую природную среду, создают экологическую напряженность.

Как известно, в химической промышленности неотъемлемой частью технологического процесса является вода. После прохождения всех стадий производства на химическом предприятии вода становится загрязненной многими поллютантами. Эти вещества имеют разные классы опасности – от малоопасных до чрезвычайно опасных. Когда они поступают в водоемы, то начинают оказывать негативное действие на окружающую природную среду и в последствии отрицательно влияют на здоровье человека, вызывая серьезные заболевания. Чтобы не допустить этого, требуется очищать производственные сточные воды и доводить их качество до нормативных требований и стандартов.

Сточные воды от расположенных на территории города Тольятти предприятий после очистки сбрасываются в Куйбышевское и Саратовское водохранилища. Но, к сожалению, качество очистки этих стоков не имеет 100% эффективность. Так, больше половины от объема стоков, поступающих в поверхностные воды, являются загрязненными.

Так, на ПАО «КуйбышевАзот» с 2014 года наблюдаются частые превышения загрязнений в воде по концентрациям ХПК и взвешенных веществ. Превышение по ХПК говорит о повышенном содержании органики, что приводит к раннему цветению Волжских водохранилищ. Причина заключается в нарушении технологических процессов установленной

системы очистки стоков предприятия устаревшие технологии, а также изношенное оборудование.

Под руководством ПАО «КуйбышевАзот» была образована регулирующая емкость «Копань», куда сбрасывается основная часть недоочищенных стоков предприятий Северного промышленного узла и ливневые стоки города. Часть стоков, из накопительной ёмкости без очистки поступают непосредственно в Саратовское водохранилище. Анализы состава воды в «Копани» показывают превышения предельно-допустимых концентраций по многим компонентам, особенно по органическим веществам и нефтепродуктам.

Таким образом, экосистема Саратовского водохранилища подвергается серьезному антропогенному воздействию, оказываемого токсичными веществами от стоков, поступающих из регулирующей емкости «Копани», тем самым усиливая эвтрофикацию водоёма. Главная сложность в данном вопросе заключается в способе очистки воды – все основные методы направлены на очистку стоков в условиях производства, где объемы не столь большие. Но затем эти стоки смешиваются в накопительной ёмкости «Копань» куда поступают ещё неочищенные ливнёвые воды.

Поэтому, для решения данной проблемы – снижения загрязнения Саратовского водохранилища, необходимо провести анализ доступных и эффективных методов очистки воды в накопителях и применить их для очистки регулирующей емкости «Копань».

В рамках выполнения магистерской диссертации были поставлены следующие цель и задачи.

Цель: снижение антропогенной нагрузки на Саратовское водохранилище от сточных вод предприятий Северного промузла на основе разработки экобиотехнологического комплекса очистки воды в регулирующей емкости «Копань».

Задачи:

1. Провести анализ проблемы загрязнения поверхностных вод от химических предприятий на примере Северного промузла и регулирующей емкости «Копань» г.о. Тольятти.

2. Провести анализ качества стоков регулирующей емкости «Копань», как источника загрязнения Саратовского водохранилища.

3. Разработать экобиотехнологический комплекс для очистки воды в регулирующей емкости «Копань».

В результате данной работы предложены решения по снижению антропогенного воздействия стоков регулирующей емкости «Копань», на основе предложенного комплекса фито- и биосорбционной очистки воды.

Глава 1 Анализ проблемы загрязнения поверхностных вод от химических предприятий на примере Северного промузла и ругелирующей емкости «Копань» г.о. Тольятти

Загрязнение окружающей нас среды, в частности водной, является серьезной опасностью для здоровья и жизни человека. Согласно данным ВОЗ – Всемирной организации здравоохранения, каждый десятый человек в мире страдает от некачественной питьевой воды. Каждый год загрязняется более 50% источников воды. По России отмечается нарушение требований ГОСТ и ПДК в каждой 5-й пробе по физико-химическим показателям и в каждой 9-й по микробиологическим.

Известно, что качество воды зависит от содержащихся в ней веществ и примесей. Излишние концентрации некоторых веществ могут негативно повлиять на водоем, экосистему и как следствие на человека. Поэтому при сбросе отработанных сточных вод необходимо проводить их очистку и достигать уровня предельно допустимой концентрации вредных веществ в сточных водах.

Очистка сточных вод производится с малой эффективностью в виду устаревшего оборудования и отсутствия модернизации очистных сооружений, а также в виду обхода систем очистки и прямого сброса стоков в водоемы и ливневые канализации.

Для питьевого водоснабжения в г.о. Тольятти используется вода, забираемая из Саратовского водохранилища. В это же водохранилище поступают загрязненные сточные воды, в частности от объекта исследования – регулирующей емкости «Копань».

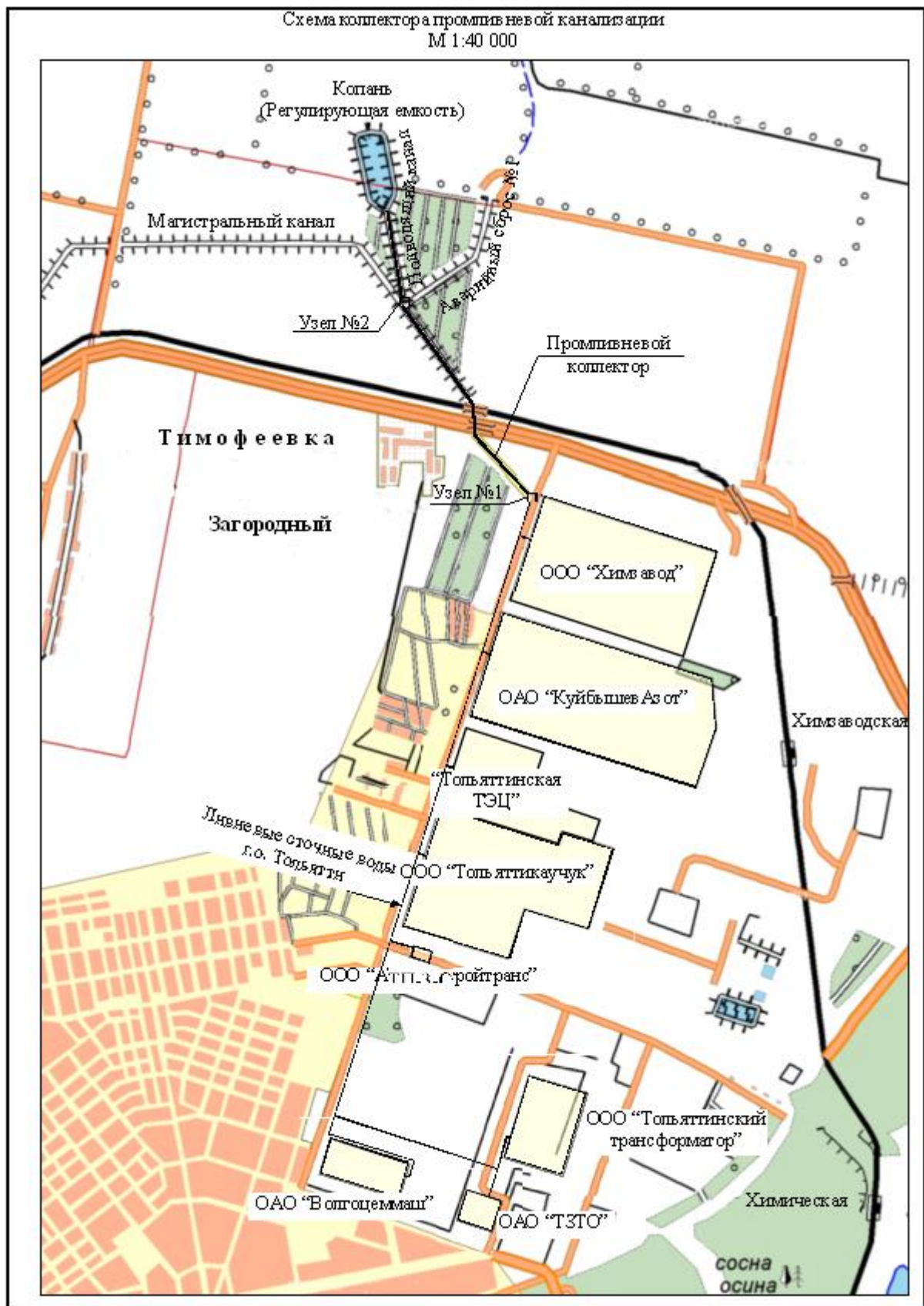
ПАО «КуйбышевАзот» имеет план по организацию комплекса очистных сооружений для накопительной емкости «Копань» еще с 2012г. На данный момент комплекс очистки так и не построен, а стоки продолжают поступать в Саратовское водохранилище без доочистки. Для осуществления

плана требуются колоссальные затраты и на это уйдет возможно еще не один год. Но проблема становится все острее и требуется немедленно внедрить хотя бы решение временного характера, которое позволит подготовить стоки от предприятий Северного промузла к сбросу в водохранилище и прекратит разрушение чувствительной экосистемы Саратовского водохранилища.

С этой целью в данной работе предлагается комплекс мер по биологической очистке.

Регулирующая емкость «Копань» расположена на северной границе г. Тольятти (рисунок 1), к северо-востоку от пересечения Обводного и Санчелеевского шоссе в сторону поселка Новая Васильевка (53.59169°, 49.437619°). Она имеет разделение дамбой на две секции – резервную и рабочую. Ее общий объем составляет 271 тыс. м³ (рабочий объем – 131,0 тыс. м³, резервный объем – 140,0 тыс. м³). Общая площадь емкости равна 143 м² (14,3 га).

Насосная станция № 1, которая принадлежит ОАО «КуйбышевАзот», перекачивает из этой емкости ежедневно 2000 м³/ч стоков в Саратовское водохранилище.



1.1 Характеристика процессов очистки стоков в регулирующей ёмкости «Копань»

На сегодня, все промышленные стоки от предприятий Северного промузла накапливаются в регулирующей емкости «Копань».

Предприятия Северного промузла составляют:

- ООО «Тольяттинский Трансформатор»,
- ОАО «ТЗТО»,
- ОАО «ВЦМ»,
- ООО «Тольяттикаучук»,
- ОАО «Волжская ТГК ф. Тольяттинская ТЭЦ»,
- ПАО «КуйбышевАзот»,
- ООО «Химзавод», включая арендаторов,
- ООО АТП «Стройтранс».

Сточные воды от предприятий Северного промузла поступают в накопительную емкость «Копань» через коллектор и открытый канал. Ее объем равен 271 тыс. м³. Общая площадь емкости и прилегающих хозяйственных строений равна 142998,2 м² – 14,3 га, объем поступающих сточных вод равен 10101,3 тыс. м³/год.

Для анализа состояния регулирующей емкости «Копань» было осуществлено натурное обследование. В процессе обследования было установлено, что откосы озера и рабочей секции емкости в северной части частично заросли камышом и древесно-кустарниковой порослью (рисунок 2). Вода в озере мутная, на ее поверхности наблюдаются нефтяные пятна и взвешенная крошка каучука.



Рисунок 2 – Натурное обследование накопительной емкости «Копань»

За время эксплуатации в центральной части пруда скопилось большое количество отложений, которые постоянно подсасываются насосами и попадают в Саратовское водохранилище, осуществляющее регулирование стока реки Волги а также её притоков – уровень этих отложений варьируется от 0,5 до 1 м.

Часть загрязненных сточных вод Северного промышленного узла и регулирующей емкости «Копань» проходят через очистные сооружения «ТольяттиАзот», но часть стоков идет в обход очистки и сразу попадает в Саратовское водохранилище.

Только в 2012 году объем сточных вод, сброшенных в поверхностные водные объекты, составил 585,21 млн. м³, что на 60,25 млн. м³ больше, чем в 2011 году. Их состав по категории очистки представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Объемы сбрасываемых вод в Саратовское водохранилище

| Категория сбрасываемых вод | Значение, млн. м ³ | |
|----------------------------|-------------------------------|----------|
| | 2012 год | 2011 год |
| 1 | 2 | 3 |
| Загрязненные воды: | 361,51 | 29,75 |
| без очистки | 36,44 | 5,97 |
| недостаточно очищенные | 325,07 | 27,16 |
| Нормативно очищенные | 113,71 | 3,38 |
| Нормативно чистые | 109,99 | 4,63 |

В таблице 2 указан класс качества воды Саратовского водохранилища, а также его загрязнения и их источники [18, 23].

Таблица 2 – Источники загрязнения и загрязняющих веществ в Саратовском водохранилище

| Водный объект | Класс качества воды | Загрязняющие вещества | Основные источники загрязнения |
|---------------------------|---------------------|--|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| Саратовское водохранилище | 4 | Трудноокисляемые органические соединения, азот аммонийный и нитритный, соединения меди, фенолы, хлорорганические пестициды | Хозяйственно-бытовые стоки, ГЭС, затонувшие плавательные средства, стоки от предприятий и очистных сооружений |

Саратовское водохранилище является частью каскада Волжских водохранилищ и как следствие, оказывает на реку негативное влияние за счет находящихся в нем загрязняющих веществ, которые в свою очередь поступают от стоков промышленных и ливневых вод предприятий и городской жизнедеятельности. Схема движения сточных вод представлена на рисунке 3.

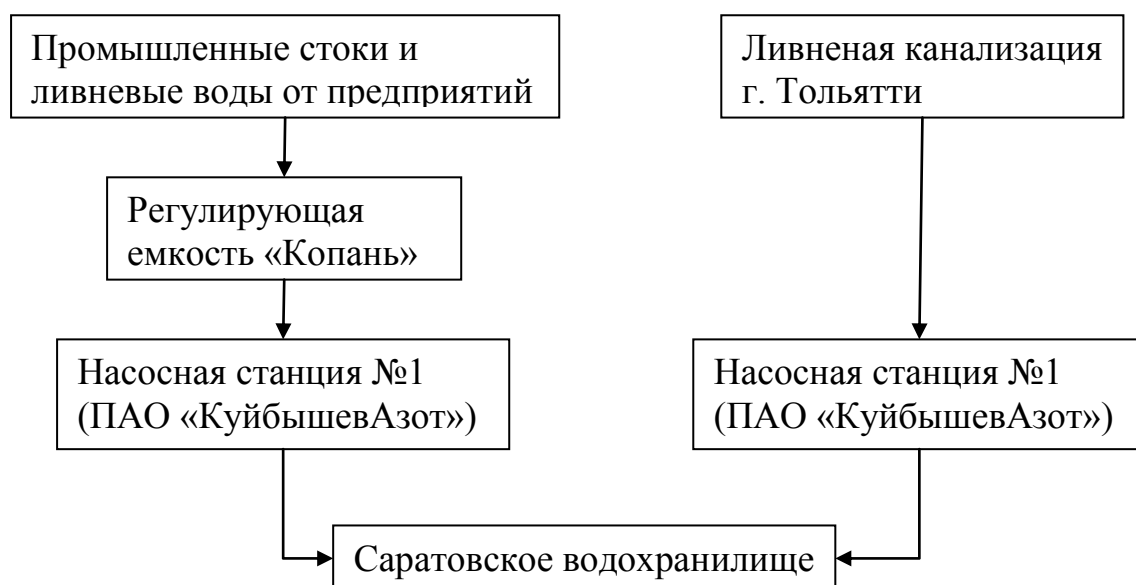


Рисунок 3 – Схема потоков сточных вод

Показатели качества приведены в таблице 3 (данные лаборатории ООО «Центр мониторинга водной и геологической среды»).

Таблица 3 – Качество сточных вод при эксплуатации регулирующей емкости «Копань»

| Показатель | ПДК в пределах НДС, мг/ дм ³ | На входе в накопитель, мг/ дм ³ | На выходе из накопителя, мг/ дм ³ | НДС, т/год | Фактическая эффективность, % |
|----------------------------|---|--|--|------------|------------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| БПК_{полн} | 3,0 | 137,0 | 32,0 | 175,78 | 77 |
| Взвешенные вещества | 11,24 | 104,0 | 76,0 | 658,60 | 27 |
| Сухой остаток | 1316,75 | 2813,0 | 2093,0 | 77153,50 | 26 |
| Хлориды | 122,90 | 108,0 | 87,0 | 7201,19 | 19 |
| Сульфаты | 169,73 | 1198,0 | 813,0 | 9945,14 | 32 |
| Азот аммонийный | 3,43 | 18,7 | 13,3 | 200,98 | 29 |
| Ион аммония | 4,40 | 24,0 | 17,0 | 257,81 | 29 |
| Азот нитратный | 11,82 | 36,0 | 27,0 | 692,58 | 25 |

Продолжение таблицы 3

| Показатели | ПДК в пределах НДС, мг/ дм ³ | На входе в накопитель, мг/ дм ³ | На выходе из накопителя, мг/ дм ³ | НДС, т/год | Фактическая эффективность, % |
|----------------------|---|--|--|------------|------------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Нитрат ион | 51,39 | 155,0 | 118,0 | 3011,14 | 24 |
| Азот нитритный | 0,02 | 1,05 | 0,84 | 1,17 | 20 |
| Нитрит-ион | 0,08 | 3,5 | 2,8 | 4,69 | 20 |
| Железо общее | 0,622 | 2,9 | 2,0 | 36,45 | 31 |
| Медь | 0,001 | 0,019 | 0,012 | 0,059 | 37 |
| Нефтепродукты | 0,158 | 0,38 | 0,33 | 9,26 | 13 |
| Цинк | 0,012 | 0,062 | 0,057 | 0,70 | 8 |
| Фосфаты (по фосфору) | 1,17 | 0,5 | 0,33 | 68,55 | 34 |
| СПАВ (анион.) | 0,036 | 0,38 | 0,21 | 2,11 | 45 |

Из таблицы можно увидеть превышения значений ПДК по 13 веществам из 17: азот аммонийный, азот нитратный, сульфаты, ион аммония, нитрат ион, БПК, нефтепродукты, взвешенные вещества, сухой остаток, железо общее, медь, цинк, СПАВ.

В 10 и более раз значений ПДК превышают **азот аммонийный, нитрит-ион, БПК и взвешенные вещества.**

Исходя из этого, требуется разработать комплекс мероприятий по доочистке стоков в регулирующей ёмкости, который позволит привести к нормам стоки предприятий Северного промузла г. Тольятти и очистить воду из регулирующей емкости «Копань» перед сбросом стоков в Саратовское водохранилище.

В Таблице 4 представлены основные показатели по реализации объекта очистных сооружений согласно плана ПАО «КуйбышевАзот».

Таблица 4 – Техничко-экономические показатели реализации проекта очистных сооружений ПАО «КуйбышевАзот»

| Показатель | Величина |
|---|----------------------------|
| 1 | 2 |
| Производительность очистных сооружений: | |
| I этап очистки | 57600 м ³ /сут. |
| II этап очистки | 51464 м ³ /сут. |
| Приблизительная площадь территории в ограждении | 9,0 га |
| В т.ч. площадь застройки | 3,5 га |
| плотность застройки | 39 % |
| площадь зданий и сооружений | 0,47 га |
| Количество обслуживающего персонала | 74 человека |
| Инженерное обеспечение объекта: | |
| электроэнергия | 1505 кВт |
| теплоснабжение | 1334 кВт |
| Смета строительства: | 848 235,00 тыс. руб. |
| в т.ч.: I этап | 652 706,00 тыс. руб. |
| II этап | 195 529,00 тыс.руб. |

Чтобы обеспечить соответствие нормам сброса сточных вод в первую очередь по взвешенным веществам и нефтепродуктам, по проекту ПАО «КуйбышевАзот» предлагает реконструировать комплексы по очистке воды, которые уже имеются, а также построить новые, а именно:

- модернизировать существующую насосную станцию и отстойно-регулирующую емкость-усреднитель,
- осуществить новое строительство: узел механической очистки, узел реагентного хозяйства, сооружения биологической очистки, сооружения доочистки, узел обработки осадка.

Регулирующая емкость станет в качестве усреднителя расхода и составасточных вод, которые поступают в нее.

Насосная станция будет использоваться для подачи сточных вод на очистные сооружения, или по отдельному каналу напрямую на сброс в р. Волга в соответствии с существующей схемой.

Одним из альтернативных способов предотвращения загрязнения Саратовского водохранилища путем сброса опасных сточных вод из регулирующей емкости «Копань» является организация комплексов доочистки стоков на самих предприятиях. В частности, весомый вклад в загрязнение воды за счет привнесения повышенных концентраций $N-NH_4$, $N-NH_3$, БПК₅ и взвешенных веществ оказывается ПАО «КуйбышевАзот». Это можно увидеть из анализа, приведенного дальше.

1.2 Анализ очистки стоков на установке НДФ.

Для анализа влияния предприятий Северного промузла было взято ПАО «КуйбышевАзот».

Схема потоков сточных вод производств Северного промузла и ПАО «КуйбышевАзот» представлена на рисунке 4.



Рисунок 4 – Схема потоков сточных вод производств Северного промузла и ПАО «КуйбышевАзот»

Аммоний содержащие стоки предприятия ПАО «КуйбышевАзот» проходят биоочистку в цехе № 39 «Переработка органических и неорганических продуктов» методом нитриденитрификации (НДФ).

На очистку поступают два вида стоков – нитрат содержащий сток (NO_3) (ВСТ – вода сточная) и аммоний содержащий сток (NH_4) (КСП – конденсат сокового пара). Они поступают от производства капролактама и цеха производства №3.

Схема очистки представлена на рисунке 5.

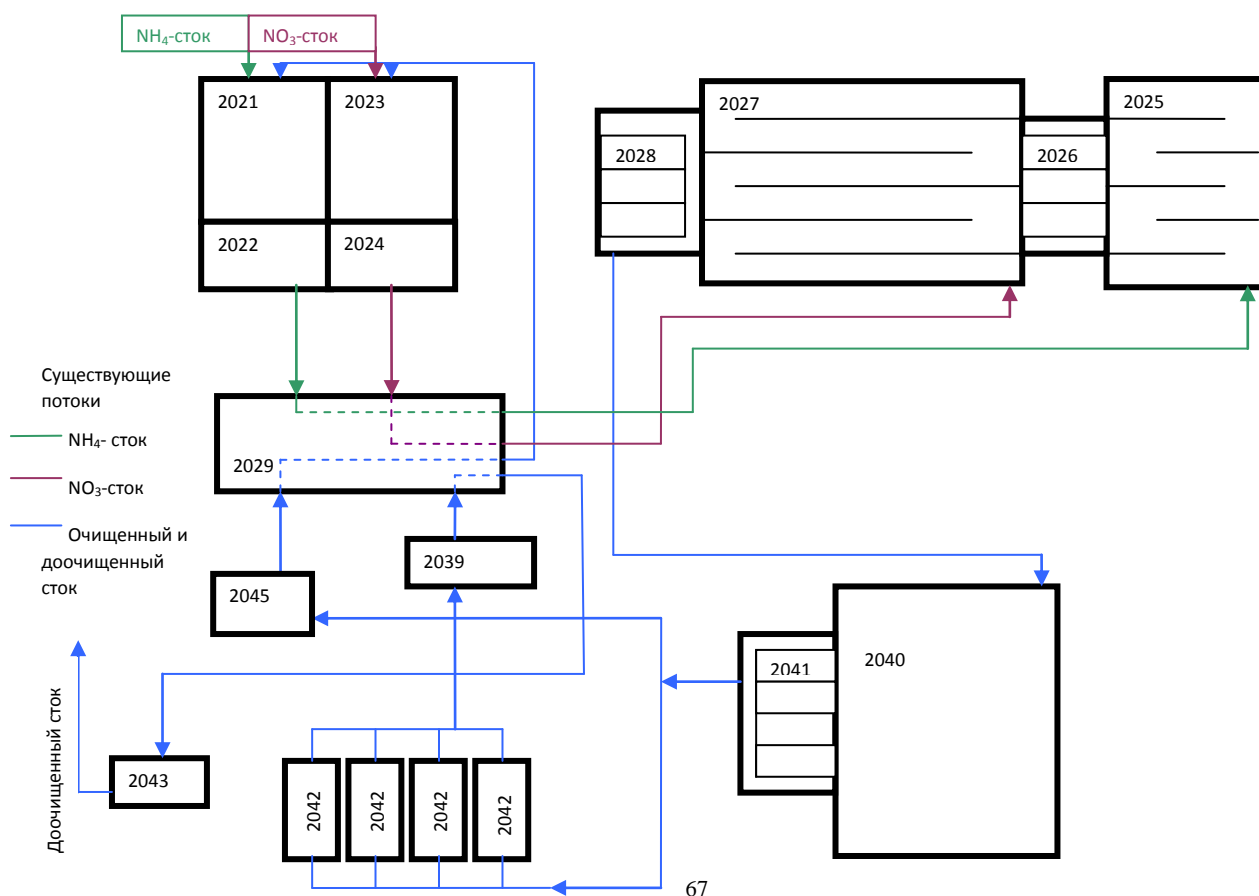


Рисунок 5 – Схема очистки стоков в цехе № 39

2021 – усреднитель стока NH_4 , 2022 – подготовительная камера стока NH_4 , 2023 – усреднитель NO_3 стока, 2024 – подготовительная камера NO_3 стока, 2025 – нитрификатор, 2026 – вторичный отстойник нитрификатора, 2027 – денитрификатор, 2028 – вторичный отстойник денитрификатора, 2029 – насосная станция, 2039 – резервуар доочищенного стока, 2040 – аэротенк доочистки, 2041 – вторичный отстойник аэротенка, 2042 – биореакторы

доочистки, 2043 – установка УФ дезинфекции, 2045 – резервуар очищенного стока.

По данным 01.01.2014 – 30.06.2014 на выходе после очистки на установке НДС в стоках содержались следующие вещества и концентрации, представленные в таблице 5.

Таблица 5 – Состав стока после нитрификации за период 01.01.14-30.06.14 г.

| Наименование показателя | Концентрация на выходе после очистки | ПДК загрязняющего вещества |
|---|---|-----------------------------------|
| 1 | 2 | 3 |
| Азот аммонийный, мг/дм ³ | 11,1 | 3,43 |
| Азот нитратный, мг/дм ³ | 77,0 | 11,82 |
| Азот нитритный, мг/дм ³ | 34,0 | 0,02 |
| ХПК, мгО ₂ /дм ³ | 61,3 | 15 |
| рН | 8,4 | 6,5-8,5 |
| Фосфор, мг/дм ³ | 1,0 | 1,17 |
| Щелочность общая, мгО ₂ /дм ³ | 11,0 | - |

Из таблицы видно, что ПАО «КуйбышевАзот» на выходе после очистки имеет сток с превышениями концентраций по азоту аммонийному, азоту нитратному, азоту нитритному, ХПК.

Глава 2 Сравнительный анализ и выбор методов и технологий очистки сточных вод предприятий и водоемов

В воде присутствует большое количество веществ и соединений. Присутствующие в воде химические соединения делятся на органические и неорганические. Наиболее удачной считается классификация загрязнителей академика Л. А. Кульского (табл. 6).

Таблица 6 – Классификация и методы извлечения веществ при очистке сточных вод

| Вид загрязнителя | Пример метода очистки сточных вод |
|--|---|
| 1 | 2 |
| Нерастворимые в воде грубодисперсные примеси - взвеси, суспензии и эмульсии (первая группа), которые образуют с водой кинетически неустойчивые гетерогенные соединения | Гравитационные методы |
| Вещества коллоидной степени дисперсности ($R < 0,1$ мкм), которые образуют с водой гидрофильные и гидрофобные системы, близкие к коллоидным растворам (вторая группа) | Фильтрация, коагуляция, флотация, седиментация |
| Вещества молекулярной степени дисперсности ($R < 0,01$ мкм). Растворимые органические соединения (третья группа) | Сорбция активированными углями |
| Ионные растворы ($R < 0,001$ мкм). Растворы солей, кислот, щелочей, ионы металлов - электролиты (четвертая группа) | Обессоливания, использование реагентов - перевод ионов в малорастворимые соединения |

В основе разработки технологических схем по очистке стоков находится анализ концентрации загрязнений. В мировой практике все большее внимание стали уделять биологической очистке воды, к методам которой относятся фиторемедиационные технологии. В частности, такие способы очистки используют для загрязненных водоемов.

Далее в работе приводится анализ возможных современных методов биотехнологической и биосорбционной очистки сточных вод, природных водоемов, а также проводится анализ макрофитов.

Цель: рассмотреть действенные способы и опыт очистки сложнозагрязненных промышленных стоков и подобрать действенные и применимые методы для разрабатываемого комплекса.

2.1 Геотекстильные фильтры для обработки сточных вод

Геотекстиль - это прочные, проницаемые полимерные ткани, изготовленные в тканых и нетканых структурах. Геотекстиль изготавливается из полипропилена (ПП) или полиэфира (ПЭТ) и многих видов тканых, иглопробивных и жаропрочных материалов для обеспечения фильтрации, разделения.

Особенности функционирования геотекстильного фильтра заключаются в том, чтобы задерживать взвешенные твердые частицы из воды, образовывать плёнку из прикрепленных на фильтре микроорганизмов и разлагать загрязняющие вещества, сорбированные из перколяционной жидкости.

Анализ литературных источников показал, что использование геотекстиля для биологической очистки воды является довольно новым способом, но имеет большие перспективы в очистке воды от загрязнений, в особенности ливневых и промышленных стоков.

Главной проблемой использования геотекстиля является засорение пор. В ряде исследований было выявлено, что засорение нетканого геотекстиля зависит от плотности волокна. Кроме того, водоросли и органическое вещество в природных водах могут забивать геотекстиль [85].

Фильтры геотекстиля привлекательны для роста микроорганизмов. Коернер и Кернер обнаружили, что 75-100% потери проницаемости фильтрата происходит из-за закупорки биомассой при росте биоплёнки [84].

Кроме того, использование геотекстильных фильтров для очистки сточных вод или потоков требует высокой гидравлической мощности. Для восстановления гидравлической мощности используются такие методы, как обратная промывка, замена фильтра и интервалы отдыха для переваривания избытка органического материала.

Зарубежными исследователями проводились опыты с геотекстильными фильтрами. В подобных исследованиях была использована вода после первичной очистки сточных вод. В зависимости от погодных условий очищались комбинированные сточные воды, как правило в среднем 283,906 м³/сут и 757,082 м³/сут. Зона обслуживания включала центр города, жилые районы и отрасли промышленности, стоки которых предварительно обрабатывались для уменьшения органической нагрузки [92].

В таблице 7 представлены результаты анализов воды, с которой проводились испытания.

Таблица 7 – Характеристика показателей качества воды

| Параметр | Концентрация, (мг/л) |
|---|-----------------------------|
| 1 | 2 |
| БПК ₅ | 33 |
| Взвешенные частицы | 21 |
| ХПК | 151 |
| Нитрит-аммоний (NH ₃) | 13.5 |
| Нитраты (NO ₃ ⁻) | 1.82 |
| Растворенный кислород | 1.7 |
| Фенол | 0.04 |
| Железо | 0.95 |
| Фосфаты (PO ₄ ⁻²) | 0.22 |
| Сульфаты (SO ₄ ⁻²) | 40 |
| рН | 7 |

Список свойств геотекстилей приведен в таблице 8. Хотя обычно используют проницаемость или гидравлическую проводимость (К, см/с), как

свойство, характеризующее сопротивление текучести пористой среды. Для потока обычно используют диэлектрическую проницаемость (γ , в единицах сек^{-1}) в геотекстилях.

Таблица 8 – Характеристика различного вида геотекстиля

| Полимер | Размер пор, мм | Проницаемость, с^{-1} | Прочность, кН | Прочность на разрыв, кН |
|-------------------------------|----------------|--------------------------------|---------------|-------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Тканевый (ГТ1) | 0,600 | 0,05 | 0,28 | 0,28 |
| Тканевый (ГТ2) | 0,212 | 0,28 | 0,60 | 0,45 |
| ПЭТ-непрерывная нить (ГТ3) | 0,149-0,210 | 2,01 | 0,50 | 0,47 |
| Сшитое нетканое волокно (ГТ4) | 0,212 | 2,10 | 0,2 | 0,17 |
| Сшитое волокно (ГТ5) | 0,120-0,180 | 1,60 | 0,53 | 0,45 |

ГТ = Геотекстиль.

Эти результаты были получены для фильтров, имеющих внутреннюю пористость.

В исследованиях Коркута сток в испытаниях с 1 по 9 проходил параллельно через два фильтра (рисунок 6). ГТ3 и ГТ4 представляли собой различные продукты с одинаковой диэлектрической проницаемостью и пористостью, как указано в таблице 8, но с разными текстурами поверхности в результате способа изготовления (сшитое волокно в сравнении с непрерывной нитью). В колонне 1 ГТ3 был верхним фильтром, а ГТ4 - двумя нижними фильтрами. Фильтры колонны 2 были расположены в обратном порядке [92].

На рисунке 7 показано, что БПК₅ значительно уменьшался даже при очень высокой гидравлической нагрузке, равном $4,315 \text{ л/м}^2$ в сутки в испытаниях 1 и 2, но не соответствовал цели вторичной очистки. Только в одном испытании, очистка дошла уровня – $<10 \text{ мг/л}$, когда гидравлическая нагрузка уменьшилась до $1,465 \text{ л/м}^2$ в день или меньше.

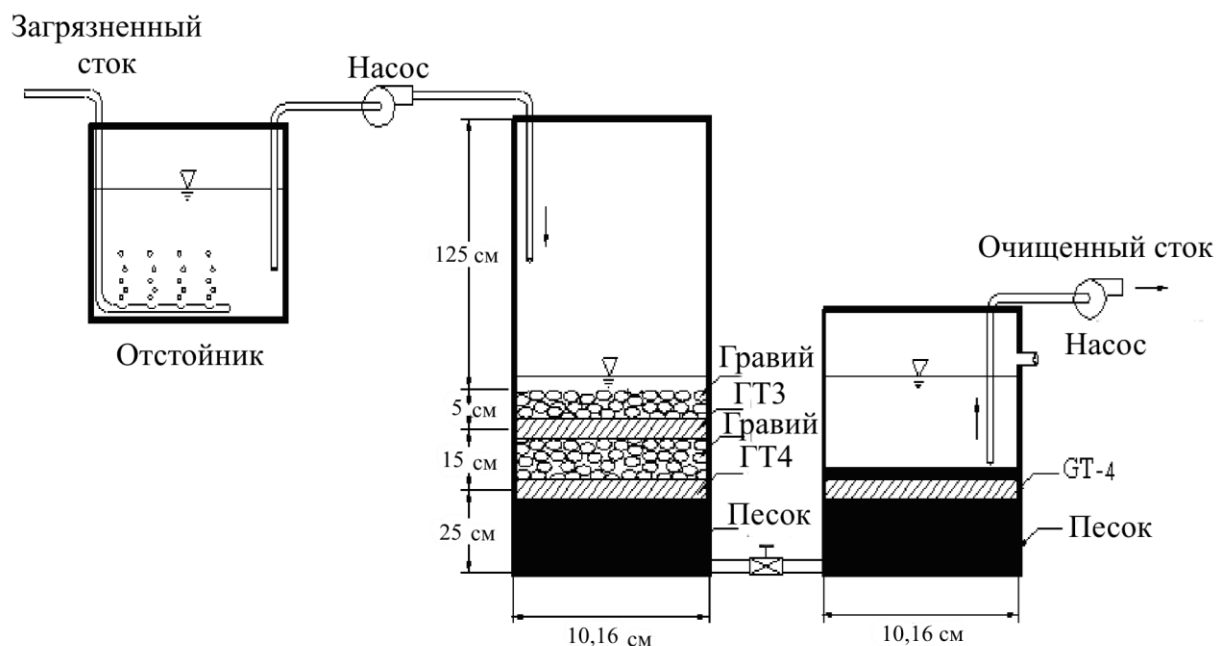


Рисунок 6 – Экспериментальная установка с двумя фильтрами

Аммиак токсичен для водной флоры и фауны и может уменьшать содержание кислорода и являться предшественником NO_3 . Он выделяется в виде побочного продукта органического разложения. Как показано в таблицах он был обнаружен в диапазоне 12-25 мг/л. В более поздних испытаниях до 90% аммиака аэробно превращалось в нитрат. Рисунок 8 показывает, что концентрация аммиака достигла низкого значения после 5 испытания, когда гидравлическая нагрузка уменьшалась до 735 л/м^2 в день и составила концентрацию ниже 5 мг/л при нагрузке 365 л/м^2 в день. Нитрат (NO_3^-) токсичен при концентрациях выше 10 мг/л и является питательным веществом, которое может вызвать эвтрофикацию в спокойных водах. Он был обнаружен ниже 2 мг/л в свежем первичном потоке, но с превращением аммиака поток NO_3 в верхних кругах достиг максимума в 9 мг/л. Это не закрывает баланс массы азота, подразумевая, что некоторый азот нитратной формы действительно минерализуется в азот.

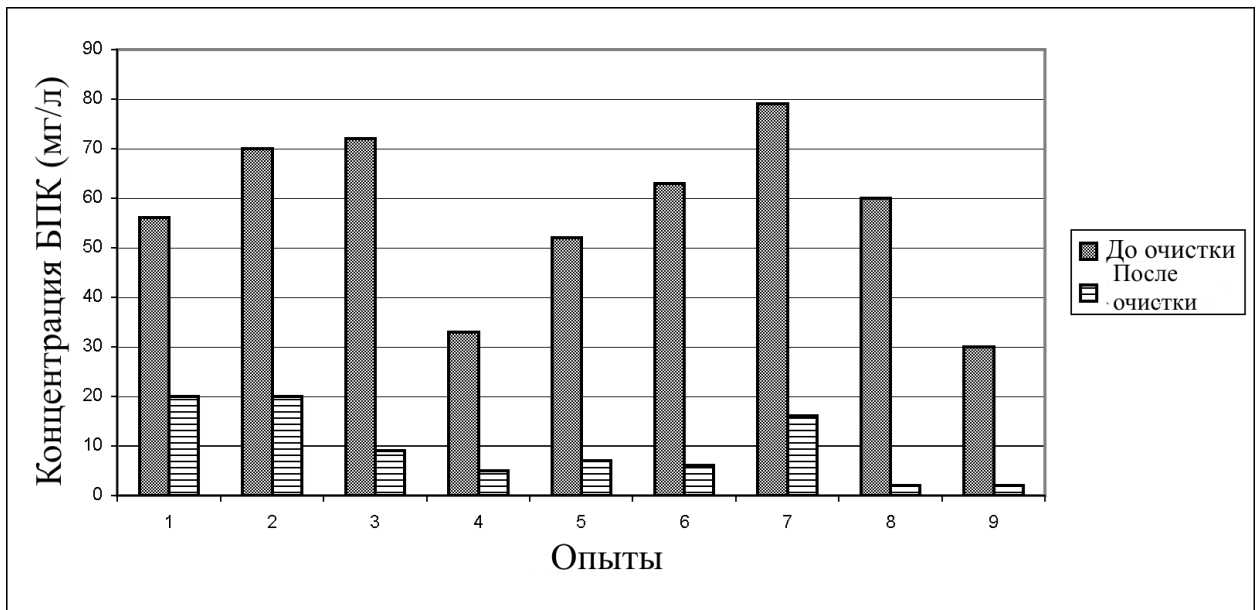


Рисунок 7 – Снижение БПК₅

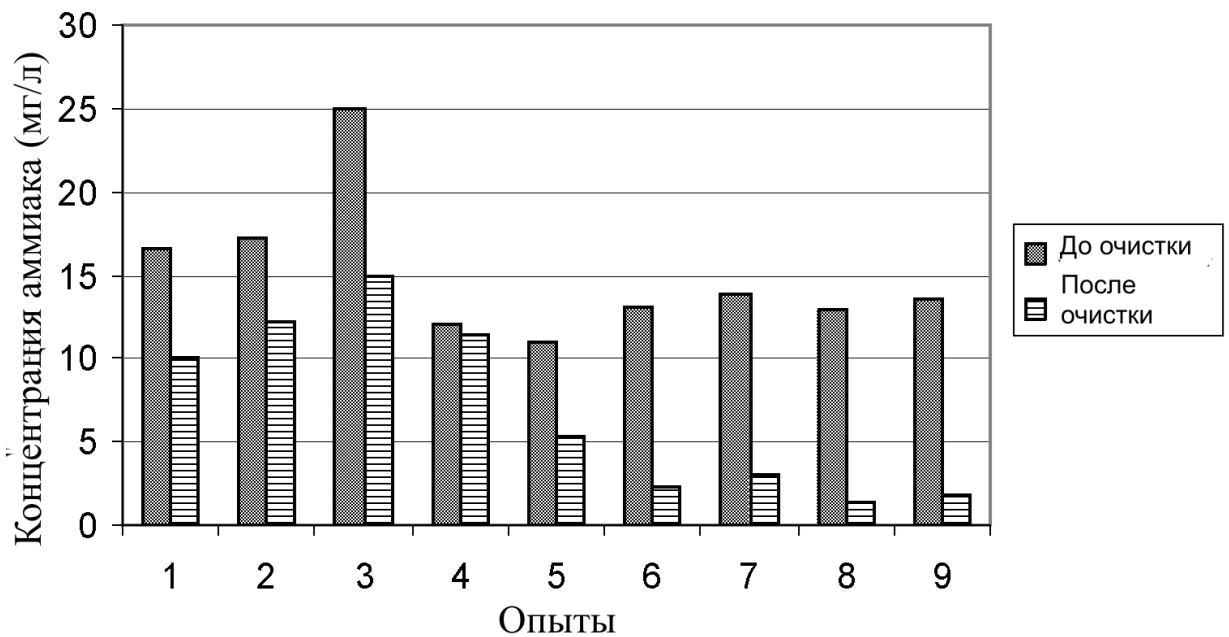


Рисунок 8 – Снижение концентрации аммиака (NH₄)

В ходе всего этого исследования авторы сделали вывод, что в качестве геотекстиля для биофильтра очистки сточных вод следует использовать фильтр из иглопробивного материала. У иглопробивного материала отверстия отличаются от других типов наличием внутренней пористости.

Волокна, образующие поры, покрываются биопленкой, что согласуется как с капельным фильтром, так и с песочным фильтром, где «слизь» заметно покрывает частицы загрузки. Когда используется

гидрофобный полиэтилен, микроорганизмы прикрепляются к поверхностным дефектам. Постоянная подача субстрата адсорбируется на этом покрытии, поддерживая активный рост биопленки и увеличивая ее толщину. Это утолщение и последующая блокировка пор увеличивается при накоплении побочных продуктов разложения и неактивных клеток. Видно, что растущая биоплёнка не только проникает в поровый канал и уменьшает площадь его поверхности, но и доступность для массопереноса либо субстрата, а также кислорода к биопленке также уменьшается с увеличением толщины биопленки.

В итоге, работа геотекстиля заключается в следующем:

- удаление отработанной биомассы из впускного отверстия,
- рост активной биомассы,
- абсорбция растворенного субстрата на биоплёнке,
- биодegradация фильтрованного и сорбированного органического материала до полной минерализации.

Критерии эффективности были установлены как в области очистки, так и в экономической и практической областях. Первый включал достижение по меньшей мере вторичных стандартов очистки воды, удаление взвешенных твердых частиц и БПК₅ и существенном уменьшении содержания азота. Во-первых, было установлено, что только пористые нетканые геотекстили полностью осуществили все четыре процесса, упомянутые выше.

Исследование было успешным в проведении очистки комплексных комбинированных (городских и промышленных) сточных вод, которые впервые подверглись первичной обработке. Взвешенные вещества и БПК₅ снижались более чем на 90% до 5 мг/л, аммиак уменьшался более чем на 90% до 2,0 мг/л, а нитрат NO³⁻ ниже 10 мг/л [94].

Результаты этого исследования показывают, что геотекстильные биофильтры могут применяться к септическим стокам и источникам неточечного загрязнения, зависящим от погодных условий. Однако в случае

загрязнений воды в регулирующей ёмкости «Копань» трудно достичь регулируемой нагрузки на геотекстиль. Необходимо продолжить поиск других способов очистки воды в стоячем водоёме с малым напором воды, но данный текстиль будет использован в качестве части разрабатываемого комплекса очистки в габионных конструкциях.

2.2 Фильтр с пленочной биозагрузкой

Рассмотрим другой способ очистки – с помощью биоплёнки, образующейся на полимерных носителях. Носители выполняются в виде листов плоской формы и состоят из большого количество переплетенных волокон из прочного полимера. Такая технология фильтрации обеспечивает значительный свободный объем (достигающий 94 %) и возможность эффективно очищать воду большого количества загрязнителей. Данная загрузка спокойно помещается в габион либо специальный пластиковый корпус для усреднения проходящего потока.

Преимущества:

- экологическая безопасность,
- продолжительный срок службы,
- большая удельная площадь поверхности, обеспечивающая эффективную очистку стоков ($460 \text{ м}^2/\text{м}^3$),
- простота регенерации — необходимо только продуть биофильтр мощным воздушным потоком, встряхнуть или ополоснуть под струей воды (в случае сильного загрязнения).

Биопленка из микроорганизмов самостоятельно наращивается на листах данной загрузки. Лучше всего пленка видна на изделиях серого цвета с максимальной плотностью, которые применяются в последней стадии биологической очистки.

Система биофильтрации оптимально подходит для использования в рыбных хозяйствах. Биофильтр применяется для выращивания моллюсков, мидий, а также планктона, включая нитрифицирующих микроорганизмов.

Наличие большого количества бактерий существенно улучшает качество естественной фильтрации и баланс водной среды [23].

Фильтры обеспечивают очистку большого объема стоков за единицу времени (рисунок 9).

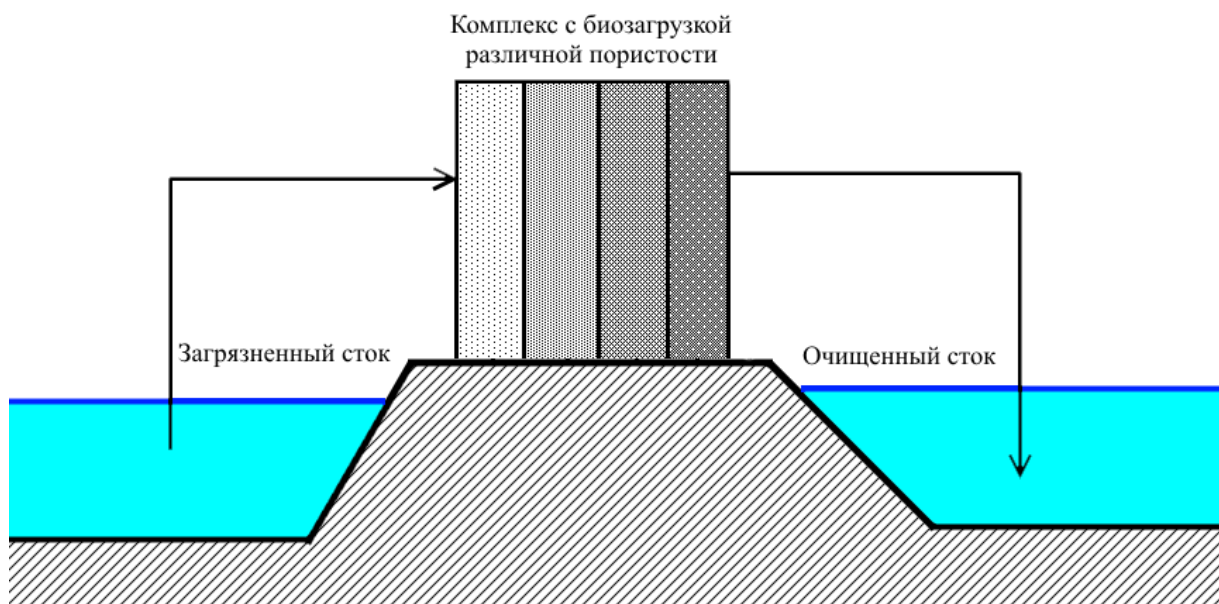


Рисунок 9 – Комплекс с установленной биоагрузкой

Для продувки фильтров необходимо предусмотреть систему аэрации либо установить систему обратного тока очищенной воды через стенки фильтра. Это увеличит срок службы фильтра и снизит затраты на обслуживание.

Средние значения эффективности такой системы фильтра представлены в таблице 9.

Таблица 9 – Средние зафиксированные значения на входе и выходе из биофильтра с пленочной загрузкой

| Показатель | Единица измерения | Значение на входе | Значение на выходе |
|--|-------------------|-------------------|--------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| Химическая потребность в кислороде (ХПК) | мг/л | 450 - 500 | 22 – 33 |
| НН4 | мг(Н)/л | 45 – 50 | 4 – 12 |
| Р | мг(Р)/л | 9,10 – 11,80 | 8 – 10,20 |
| Взвешенные твердые частицы | мг/л | 43 - 59 | 1 – 5 |

Биофильтр BioSteps 10 UVC - способен очищать водоем объемом до 10 м³/ч. На сегодняшний день такой биофильтр с успехом используется для прудов и водоемов. Он представляет собой компактную прямоугольную пластиковую емкость, заполненную фильтрующим материалом и ультрафиолетовой на 18 Ватт [23].

На практике было установлено что данный биофильтр BioSteps 10 UVC с лампой UVC мощностью 5 Вт может очищать пруд объемом 4,5 м³. Процесс очистки воды довольно прост: вода с помощью насоса подается в биофильтр BioSteps 10 UVC. Осаждение и разрушение планктонических организмов и бактерий происходит с помощью лампы и фильтрующего материала. Лампа расположена в биофильтре в зоне поступления загрязненной воды. Она предназначена для обеззараживания поступающей воды и ускорения процесса разложения водорослей на фильтрующем материале. Параметры работы системы представлены в таблице 10.

Таблица 10 – Показатели работы системы BioSteps 10 UVC

| Объем водоема без рыбы | Количество биофильтров | Производительность насоса |
|-------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|
| 1 | 2 | 3 |
| Литр | 1 | л/ч |
| 3000 | 1 | 750-1200 |
| 6000 | 1 | 1200-2500 |
| 10000 | 1 | 2500-4000 |
| 15000 | 2 | 4000-6000 |
| 22500 | 3 | 6000-10000 |
| 30000 | 4 | 10000-13500 |

Как видно, систему этих пленчатых биоагентов можно использовать для доочистки стоков из регулирующей емкости «Копань», предварительно загрузив их в сетку габиона. Это обеспечит доочистку стока от ХПК, взвешенных частиц, фосфора, соединений азота.

2.3 Биологическая очистка

Как известно, биологическая очистка воды заключается в разложении органических загрязнений за счет действия очищающей биомассы, которая является свободной или фиксированной и содержит различные микроорганизмы, такие как бактерии, дрожжевые грибки, многоклеточные и одноклеточные организмы и прочие микроорганизмы. В способе, использующем свободную биомассу, такую как активный ил, невозможно достигнуть высокого концентрирования различных биологических видов микроорганизмов, которые обладали бы незначительной способностью к осаждению, ввиду того, что концентрирование биомассы достигается путем осаждения. Указанный способ, следовательно, является ограниченным с точки зрения нагрузки, применимой по показателям БПК (биологическая потребность в кислороде) и ХПК (химическая потребность в кислороде, т.е. количество кислорода, необходимого для окисления органического вещества в сточных водах). В системе с фиксированной биомассой концентрирование биомассы (бактериями) достигается за счет сцепления бактерий со средой-носителем. Способность к осаждению, следовательно, в этом случае больше не является существенным критерием и этот метод обладает много большим потенциалом очистки, чем обычные используемые методы.

Среди наиболее эффективных способов, основанных на принципе очистки с использованием фиксированной биомассы, следует отметить, в частности, способы, осуществляемые в единственном реакторе, функционирующем с восходящим потоком и использующем зернистую загрузку с двумя зонами, имеющими различные гранулометрические и различные биологические характеристики.

Из так называемых методов со свободной биомассой, здесь, в частности, можно указать на известность способов, использующих псевдооживленные слои, в которых материал, используемый в качестве биофильтра, состоит из материалов с плотностью менее 1, таких, например, как вспененные полимеры.

Использование этих плавучих материалов и псевдооживленных слоев зернистого материала само по себе является весьма перспективным, но создает ряд трудностей, и во многих случаях проявляются их недостатки. Например, если псевдооживляются материалы тяжелее воды (такие как песок или подобные материалы), то для нагнетания жидкости необходим значительный подвод энергии и трудно контролировать удерживание указанных материалов внутри реактора.

Трудности, присущие известным аналогам, преодолены путем создания системы, в которой используются единственный реактор или биологический фильтр с нисходящими параллельными потоками воды и газа, при этом средства фильтрации и используемый иммобилизирующий носитель бактерий представляют собой неподвижную загрузку из твердых частиц, имеющих плотность, меньшую плотности воды, составляющую от 35 до 65 кг/м. В частности, предпочтительно использовать шарики из вспененного полистирола размером в интервале от 2 до 6 мм.

Частицы легких материалов, которые могут быть использованы в качестве фильтрующей среды/бактериального носителя, являются вспененными пластмассовыми материалами, материалами с закрытыми порами из полиолефинов, полистирола, полимеров и сополимеров на основе синтетического каучука; может быть использовано минеральное сырье, такое как глинистые минералы или вспученный глинистый сланец, или продукты для производства целлюлозы, такие, например, как измельченные частицы древесного сырья. Гранулы из этих материалов могут иметь различную форму, предпочтительно такую, как шарики, цилиндрические капсулы и прочие сфероподобные формы. На практике для эффективного проведения процесса важно, чтобы плотность легких частиц все более и более снижалась в направлении движения от нижнего слоя (псевдооживленная загрузка) к верхнему слою и затем к вышеупомянутому слою носителей. Например, плотность может изменяться в интервале от 0,5 до 0,8 (псевдооживленная

загрузка); от 0,3 до 0,1 (неподвижная загрузка) и от 0,005 до 0,08 (верхняя загрузка носителей).

2.4 Биосорбционный фильтр

В результате анализа методов очистки сточных вод мы обратили внимание на установку Biostyr [86].

Биосорбционный модуль Biostyr - это простой и инновационный процесс, позволяющий устранить загрязнение в компактной структуре, что создает низкий экологический след.

Этот модуль способен устранить такие загрязнения, как органические (ХПК и БПК), азотные ($N-NH_4$ и $N-NO_3$), так и соединения в виде частиц (взвешенные частицы).

Конструкция имеет модульную систему. Она делает модуль подходящим в случаях переменной нагрузки, так как часть ячеек может быть остановлена и быстро перезапущена.

Биофильтр Biostyr объединяет в единую структуру:

- биологический реактор,
- фильтр для хранения биомассы и предотвращения загрязнения твердыми частицами.

Модуль Biostyr основан на использовании легкого и плавающего наполнителя: биостерина. Наполнитель биостерин состоит из полистирольных шариков, изготовленных специально и с размерами в соответствии с требуемым результатом. Эти бусины блокируются под потолком бетонной конструкции (ячейки), которая снабжена соплами, которые позволяют очищенной воде вытекать. Поэтому наполнитель биостерин оптимизирует продолжительность цикла между промывками и избегает засорения.

Подача от основания вызывает «самоуплотнение» фильтрующего слоя, благотворно влияя на его способность удерживать взвешенные твердые частицы. Сопла, расположенные в верхней части фильтра легко доступны.

Аэрационный коллектор расположен в нижней части конструкции, что позволяет оптимизировать время контакта между сточными водами и технологическим воздухом.

Биомасса и взвешенные твердые вещества, накапливаемые внутри фильтрующей среды, должны регулярно удаляться периодическими обратными струями. Легкий вес материала позволяет системе быть вымытой простым гравитационным расширением фильтрующей среды с использованием обработанной воды, хранящейся в верхней структуре (промывка). Это приводит к меньшему количеству устанавливаемого оборудования (без промывного насоса), меньшему обслуживанию и лучшей эффективности использования энергии.

Преимущества:

- адаптируется к любому виду,
- компактный процесс: требуется малая поверхность - малая занимаемая площадь,
- комбинированный биологический и фильтрационный процесс: не требуется дальнейшей доочистки,
- одностадийная обработка включает удаление всего азота,
- полностью автоматизированная работа,
- модульная конструкция, поэтому быстрое реагирование на высокие нагрузки,
- плавучий слой материала биостерина: обратная промывка под действием силы тяжести (не требует откачки и насоса),
- только обработанная вода контактирует с воздухом даже во время обратной промывки: таким образом, может быть гарантировано отсутствие неприятного запаха, без необходимости обрабатывать воздух внутри конструкции,
- сопла на стороне обработанной воды, только при контакте с чистой водой: нет засорения и свободного доступа.



Рисунок 10 – Сорбционный полимер

Опыт данной системы можно использовать также при непрерывной очистке стоков, поступающих в регулируемую емкость «Копань». Наполнитель Biostyrene является эффективным для использования в фильтрах и очистки воды от загрязнений соединениями аммония, БПК, ХПК, взвешенных частиц. Но потребуется установить продувочную систему для прочистки стенок фильтра, чтобы обеспечить долгий срок службы материала. Будем использовать его в габонах.

2.5 Фиторемедиационные технологии извлечения поллютантов из сточных вод

Загрязнение природной среды тяжелыми металлами, пестицидами, удобрениями, продуктами сгорания топлива представляют угрозу для людей, животных и растений. Традиционные методы очистки окружающей среды, как правило, дороги, имеют узкое направление применения и могут иногда вызывать вторичное загрязнение. Биологические методы с использованием растений для очистки водоёмов, почв становятся эффективной альтернативой традиционным методам [19].

Фиторемедиация – это быстро развивающийся метод, который использует растения для снижения, деградации, усвоения и метаболизации загрязнителей окружающей среды, таких как тяжелые металлы, углеводороды, пестициды и другие поллютанты.

Фиторемедиация имеет в своем арсенале большое количество методов. Они применяются для очистки поверхностных, подземных, сточных вод, также для удаления излишних питательных веществ из водоемов, для очистки загрязненных после экологических катастроф почв и их

рекультивации.

Фитоэкстракция

Данным методом удаляют различные поллютанты из почвы, грунтовых вод или поверхностных вод растениями, которые обладают высокой способностью накапливать токсичные вещества. Растения, используемые в этом методе, устойчивы к высоким концентрациям тяжелых металлов или органических соединений. Они также должны быстро расти и вырабатывать большое количество биомассы. Существуют две категории фитоэкстракции: непрерывные и индуцированные процессы. Непрерывную фитоэкстракцию используют растения, которые накапливают высокие уровни токсичных загрязнений на протяжении всего их жизненного цикла. Индуцированная фитоэкстракция включает использование энтеросорбентов в определенной фазе роста растений, что увеличивает накопление токсинов в тканях растений.

Анализ литературных источников показал, что растение рдест крошечный *Potamogeton pusillus* обладает устойчивостью к **хрому и меди**, способно к биоаккумуляции и удаляет эти металлы из водного раствора. Авторы показали, что корни и листья *Potamogeton pusillus* накапливают большее количество Cu и Cr, чем стебли. Учёные сделали вывод, что это растение можно рекомендовать для фитоэкстракции тяжелых металлов из загрязненных вод, что является актуальным для очистки регулирующей емкости «Копань» [84].

Фитодеградация

Этот метод использует растения, которые производят ферменты, ускоряющие реакции разложения ксенобиотиков. Фитодеградация может происходить как в растении, так и вне его, когда растение вырабатывает ферменты, которые секретируются в почве корневой зоны. Этот метод используется для обработки почвы, речных отложений и шламов, а также грунтовых и поверхностных вод.

Учёные исследовали способность азолы папоротниковидной *Azolla*

filiculoides удалять бисфенол А из водных растворов. Азолу культивировали в растворе, который содержал 5, 10, 25 и 50 м.д. бисфенола. Деградация бисфенола зависела от количества биомассы азолы *Azolla filiculoides* и концентрации бисфенола. Эффективность удаления составляла более 90%, когда концентрация бисфенола составляла 5 частей на миллион, а количество биомассы составляло 0,9 г. Авторы пришли к выводу, что азолы *Azolla filiculoides* удаляет бисфенол из водного раствора путем расщепления загрязняющих веществ через метаболические процессы растений или деградации окружающих загрязняющих веществ ферментами, продуцируемыми и секретируемыми растением [77].

Фитоволатилизация

Растения, используемые в этом методе, поглощают загрязняющие вещества из почвы или воды, метаболизируют их, а затем выделяют в атмосферу в виде летучей и менее токсичной формы. Этот механизм в основном используется для очистки воды и почвы, загрязненных селеном (Se), ртутью (Hg) или мышьяком (As), и органическими соединениями, такими как трихлорэтилен, бензол, нитробензол, фенол, антразин.

Авторы подобных исследований определили место снижения образования As и образование тиолов в китайском папоротнике *Pteris vittata* L. Исследователи изучали способность различных частей растений (веток, листьев и корней) поглощать мышьяк As при воздействии фосфора (P). Растения накапливают As в следующем порядке: листья, стебли, корни.

Авторы сделали вывод, что китайский папоротник может эффективно уменьшать содержание мышьяка As (V) до As (III) и синтезировать тиолы в надземных частях, что приводит к гипераккумуляции [79].

Ризофильтрация (фитофильтрация)

Этот метод используется для обработки поверхностных сточных вод, производимых промышленностью и сельским хозяйством. Для этого сточные воды фильтруются на поверхности корней или растения погружаются в обрабатываемую воду. По этой причине растения, используемые в этом

методе, должны быть очень устойчивыми к токсичным соединениям и низкой концентрации кислорода, обладать обширной корневой системой, которая быстро растет и вырабатывает большое количество биомассы. Ризофилтрация используется для удаления тяжелых металлов, особенно свинца (Pb) и радиоактивных элементов.

Фитостабилизация

В этом процессе корни растений используются в процессе восстановления почвы. Фитостабилизация предотвращает перемещение загрязняющих веществ в грунтовые воды и их миграцию в поверхностную почву и далее с дождевой водой. Растения, используемые для фитостабилизации, должны иметь следующие характеристики: высокоразвитая корневая система, которая способствует адсорбции, абсорбции и накоплению загрязняющих веществ в тканях и их превращению в ризосфере в менее растворимые соединения. Кроме того, растения должны иметь низкую аккумуляционную способность для загрязняющих веществ в их надземных частях и высокую устойчивость к изменению pH, солености и влажности почвы.

В 2014 году Плехонская и Клиник провели исследование по фиторемедиационным и фитостабилизирующим способностям красной канареечной травы *Phalaris arundinace* в отношении следов металлов Zn, Fe, Mn, Pb, Cu, Ni, Cd, Co и Cr, накопленных в воде и отложениях. Результаты показали разные концентрации следовых металлов в различных органах растения: самые высокие концентрации были в корнях и самые низкие в листьях. Авторы пришли к выводу, что ограниченная транслокация следов металлов, поглощенных красной канареечной травой, делает это растение потенциальным видом фитостабилизации отложений, загрязненных металлом, особенно Co и Cd [85].

Водные растения, используемые для фиторемедиации

Водные растения (макрофиты) часто используются в фиторемедиации. Кроме того, оценка чистоты воды часто основывается на

экологических характеристиках популяций макрофитов. В естественных и искусственных фильтрационных системах макрофиты играют важную роль в биохимических процессах очистки воды. Их присутствие оказывает положительное влияние на окружающую среду. Макрофиты помогают в стабилизации осадка, обеспечивают хорошие условия для фильтрации воды и обеспечивают место для роста микроорганизмов деструкторов. Макрофиты адаптированы к функционированию в постоянном контакте с поверхностными водами и подземными водами. Они имеют тонкие внешние ткани, а также аэренхиму, специализированную ткань, которая формирует систему каналов и пространств, через которые воздух распределяется по частям растения под поверхностью воды. Макрофиты размножаются естественным образом, что снижает затраты на приобретение.

Макрофиты накапливают много загрязнителей, встраивая их в структуру своих клеток. Кроме того, эти растения обладают естественной способностью абсорбировать и метаболизировать ксенобиотики, а также адаптироваться к тяжелым условиям в загрязненной среде.

Преимущества и недостатки фиторемедиации

Методы фиторемедиации широко используются, поскольку они имеют ряд преимуществ. Одним из них является рекультивация загрязненной среды путем непосредственного использования этого метода. Использование растений для очистки окружающей среды может быть более эффективным, чем традиционные методы, основанные на химическом извлечении ксенобиотиков, поскольку биологические методы не вызывают вторичного загрязнения. Обширная корневая система растений может защитить почву от эрозии путем улучшения структуры почвы и проникновения в глубокие слои почвы, повышения продуктивности почвы и аэрации. Корни растений также обеспечивают место для роста микроорганизмов.

Другим преимуществом фиторемедиации является ее низкая стоимость по сравнению с традиционными методами. Методы фиторемедиации не требуют специального оборудования.

2.6 Зарубежный опыт очистки водоемов с использованием высших водных растений-макрофитов

Растения образуют вокруг корней среду, способствующую концентрации и проникновению веществ в растения. Основные растения – это широколиственные, однодольные многолетние растения, которые отлично растут в условиях как теплого, так и холодного климата, а именно высшие водные, болотные растения – рогоз, рдест, камыш, тростник, сусак и др.

В таблице 11 приведены сведения о применимости различных вариантов использования растений для обезвреживания загрязнений в водных средах.

Таблица 11 – Методы очистки загрязненных вод с использованием высших растений

| Метод | Среда | Загрязнение |
|--|--------------------------------|---|
| 1 | 2 | 3 |
| Биопруды | Загрязненная вода | Различные органические загрязнения, биогенные элементы |
| Биоплато, искусственные болота, гидроботанические площадки | Загрязненная вода | Различные органические загрязнения, металлы, биогенные элементы, минеральные взвеси, илистые наносы, поступающие с поверхностными смывами и ливневыми стоками |
| Фитозаградительные и фитогеохимические барьеры | Поверхностные и грунтовые воды | Металлы, радионуклиды, углеводороды, ТХЭ, ВТЕХ-соединения, нитраты, озон |
| Поля орошения | Загрязненная вода | Тяжелые металлы, различные органические загрязнения, биогенные элементы |
| Ризофилтрация | Загрязненная вода | Радионуклиды, металлы |

Всем растениям необходимы биогенные элементы, а также жизненно важные металлы (Fe, Zn, Cu, Mn, Mo, Co). Растения имеют способность в той или иной степени извлекать тяжелые металлы из почв и водных сред.

Существует группа растений, содержащих металлы в концентрациях более низких, чем их фоновое содержание в среде [3].

Наиболее частыми погруженными и плавучими видами и видами водных растений в Польше, проверенными на возможность их использования в фиторемедиации воды и сточных вод, являются элодея канадская *Elodea canadensis* L., роголистник погруженный *Ceratophyllum demersum* L., уруть колосистая *Myriophyllum spicatum* L., рдест *Potamogetonaceae* и ряска малая *Lemna minor* L [2].

Биосорбция и биоаккумуляция тяжелых металлов макрофитами

Погруженные и плавающие водные растения могут поглощать тяжелые металлы из донных осадков через свои корневые системы, если они есть, или через всю их поверхность непосредственно из воды [13].

Процесс обмена ионов, как основной механизм сорбции катионов, показывают исследования, проведенные с рдестом плавающим *Potamogeton natans* [13]. В исследованиях было подтверждено, что среди прочих этот макрофит сорбирует катионы водорода при низких значениях pH раствора, а затем десорбируется с увеличением pH раствора, с которым он контактирует.

Ученые Веглио и Беольчини выявили, что существует много способов поглощения металлов растительными клетками. Они разделили процессы биосорбции на поверхностную сорбцию, а также вне- и внутриклеточное накопление. Другое подразделение отличает биосорбцию как быстрый и обратимый процесс, основанный на физическом и химическом связывании катионов металлов (комплексобразование, обмен ионов, микроосаждение и адсорбция) и биоаккумуляции, как медленный и необратимый процесс, который имеет место только в живых организмах и который, главным образом, влияет на метаболическую активность клетки [78].

Одним из примеров исследований кинетики поверхностной сорбции является исследование катионов меди, цинка и свинца в макрофитах: урути роголистной *Myriophyllum spicatum* и роголистника погруженного *Ceratophyllum demersum*. Результаты исследований сорбции из растворов

этих металлов объемом 250 см^3 и начальных концентраций 10 мг/дм^3 показывают, что время достижения динамического равновесия составляет около 20 минут [80].

Исследования эффективности сорбции тяжелых металлов *Potamogeton pectinatus* и *Potamogeton malaianus* показали, что они накапливают в среднем 92% Cd, 79% Pb, 86% Mn, 70% Cu и 67% Zn, присутствующих в растворе [81]. Сравнение сорбционных свойств элодеи *Elodea canadensis* и сальвинии *Salvinia sp.* и сорбционные характеристики ряски малой, в которых из раствора с начальной концентрацией 10 мг/дм^3 сорбированные объемы составляли 98,83% Pb, 94,07% Cd, 72,78% Cu, 69,03% Ni и 63,42% Zn. Было подтверждено, что эффективность сорбции большинства металлов была выше в растворах с начальными концентрациями 10 мг/дм^3 по сравнению с растворами с вдвое большими концентрациями, что, вероятно, связано с заполнением активных центров сорбированными металлами

Представленные результаты исследования в таблице 12 показывают, что равновесия, возникающие в результате поверхностной сорбции, основным механизмом которой является обмен ионов, стабилизируются примерно через 30 минут. В случае биоаккумуляции во вне- и внутриклеточных структурах исследования сорбционных процессов могут длиться даже несколько десятков дней.

Представленные значения сорбционных емкостей в ммоль/г дм^3 показывают различия, обусловленные физическими и химическими свойствами сорбированных катионов. Большинство данных, представленных в таблице, показывают, что после превращения в моль сорбция наиболее затруднена в отношении меди, а также катионов цинка и свинца. Эти результаты также показывают значительные различия в оценке сорбционной способности одного и того же растения, применительно к одному металлу. Например, способность урути колосистой *Myriophyllum spicatum* к катионам меди оценивалась в $0,098 \text{ ммоль/г дм}^3$ и $0,203 \text{ ммоль/г дм}^3$. [16, 90].

Таблица 12 – Показатели сорбционной емкости разных типов макрофитов

| Водное растение | Тяжелый металл | C _{max} | | t, мин | pH |
|-----------------------------------|----------------|----------------------|-------------------------|--------|---------|
| | | мг/г дм ³ | ммоль/г дм ³ | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| <i>Myriophyllum spicatum</i> | Cu | 10.37 | 0.163 | 120 | 5.0-6.0 |
| | Zn | 15.59 | 0.238 | | |
| | Pb | 46.49 | 0.224 | | |
| | Cu | 6.20 | 0.098 | 120 | 5.0-6.0 |
| | Zn | 14.00 | 0.214 | | |
| | Pb | 45.00 | 0.217 | | |
| | Pb | 41.14 | 0.199 | 120 | 5.0 |
| | Cu | 12.07 | 0.190 | - | - |
| | Cu | 10.80 | 0.170 | 120 | 5.0-6.0 |
| | Co | 2.30 | 0.039 | 120 | 8.0 |
| | Ni | 3.00 | 0.051 | | |
| | Zn | 6.80 | 0.104 | | |
| | Cu | 12.90 | 0.203 | 60 | - |
| | Zn | 13.50 | 0.206 | | |
| | Pb | 55.60 | 0.268 | | |
| <i>Myriophyllum alterniflorum</i> | Cu | 13.90 | 0.219 | 120 | 5.0 |
| | Cd | 11.10 | 0.099 | | |
| <i>Ceratophyllum demersum</i> | Cu | 6.17 | 0.097 | 120 | 5.0-6.0 |
| | Zn | 13.98 | 0.214 | | |
| | Pb | 44.80 | 0.216 | | |
| | Cu | 6.17 | 0.097 | 120 | 5.0-6.0 |
| | Zn | 13.90 | 0.213 | | |
| Pb | 44.80 | 0.216 | | | |
| <i>Potamogeton lucens</i> | Cu | 40.80 | 0.642 | - | - |
| | Zn | 32.40 | 0.495 | | |
| | Pb | 141.00 | 0.681 | | |
| <i>Potamogeton natans</i> | Hg | 180.00 | 0.897 | 180 | 7.2 |
| <i>Spirogyra</i> sp. | Cu | 137 | 2.16 | 40 | 5.0 |

Существуют также различия в сорбционной способности погруженных и плавающих растений. Данные, включенные в таблицу 12, показывают, что лучшими сорбционными характеристиками для Cu, Zn и Pb являются плавающие листья растений – рдест блестящий *Potamogeton lucens*. Однако многие другие исследователи подчеркивают обратный эффект. Сравнение сорбционных характеристик нескольких типов макрофитов с

учетом накопления Ni, Cu и Cd показывает, что погруженные растения имеют лучшие сорбционные характеристики. Среди этих растений роголистник погружённый *Ceratophyllum demersum* обладает наилучшими сорбционными характеристиками [34].

По результатам других лабораторных испытаний известно, что некоторые типы водных растений способны гипераккумулировать тяжелые металлы из растворов. Одним из растений с такими характеристиками является *Elodea canadensis Michx.* В растении накапливается большое количество Cu, Zn и Cd, и, как также подтверждено, высокая концентрация Cu и Zn в его клетках не останавливает рост растения и дальнейшее накопление металлов. Другие исследования также показали способность этого макрофита к сверхаккумуляции Cr. Хорошие сорбционные характеристики Cu, Zn, Cd и Pb из растворов демонстрируют: ряска малая *Lemna minor*, элодея канадская *Elodea canadensis* и мох волнистый *Leptodictyum riparium* [91].

Хорошие сорбционные характеристики также были обнаружены у ряски малой *Lemna minor*. Используя этот макрофит, из свинцового раствора с начальной концентрацией 0,024-0,048 ммоль/дм³ удаляли в среднем 76% Pb, тогда как из растворов никеля с начальными концентрациями 0,43-0,86 ммоль/дм³ в среднем удаляли 82% металла. Другие исследования показывают, что *Lemna minor* можно также использовать для удаления Cu и Cd из растворов и с низкими концентрациями Cr, Zn и As [38, 94].

Особенности применения фитотехнологий

Для применения фитотехнологий в северных регионах основная проблема состоит в использовании их в условиях пониженных температур. Тем не менее, большой опыт использования таких систем в других странах – Дания, Швеция и Норвегия, Канада и Северная Америка, в которых уже существует 130, 71, 67, 60 очистных сооружений соответственно, показывает, что такие искусственные биоплата, которые используются в качестве сооружений для доочистки стоков, очень эффективны даже в условиях

пониженных температур. При этом снижение эффективности систем очистки в холодный период незначительно в сравнении с теплым периодом [88, 92].

Системы по очистке воды на камышовых и тростниковых плантациях обширно применяются в Америке. Описанные сооружения применяют камышовую растительность для очистки загрязненного поверхностного стока. Такие методы применяются в Японии, Нидерландах, Китае; а также в Австралии, Норвегии и в других странах. Камыш успешно применяется в качестве метода очистки сточных вод свиноводческих комплексах в Великобритании за счет его стойкости к повышенным концентрациям поллютантов.

В Соединенных Штатах Америки, г. Бентон с населением в 4700 человек, уже с 1985 года используется очистка бытовых стоков в прудах, которые заросли водными растениями, в частности камышом. Такая система очистки по обслуживанию в 10 раз дешевле чем использование традиционных способов. Эта система показывает эффективные показатели очистки воды по загрязнениям соединениями фосфора, азота, взвешенных частиц и органических веществ. В Ирландии, в городе Вильямстоун, успешно применяется способ совместной очистки хозяйственно-бытовых вод (72 %) и поверхностных стоков (28 %). Такая система представляет собой три мелководные лагуны, две из которых высажены рогозом и камышом, а третья в качестве биопруда и в ней высажены ряска и лилии. Такой процесс очистки имеет следующие показатели (мг/л): БПК - 9, взвешенные вещества - 9, полный азот - 14,2, аммиак - 0,8, нитраты - 9,2, полный фосфор - 4,45, ортофосфаты - 3,15. В среднем, за 2 года процент снижения концентраций загрязняющих веществ равен: 48% БПК, взвешенные вещества на 83%, общий азот на 51%, общий фосфор на 13%, удаление патогенных организмов достигло 99,77 %.

Системы доочистки на основе элодеи можно использовать в условиях умеренного климата, их эффективность будет наблюдаться на протяжении круглого года.

Эффективность использования водного гиацинта эйхорнии в США показывают 97-98 % очистку бытовых и сточных по БПК₅. В Китае эйхорнию используют для очистки стоков от серебра. Данный макрофит очищает воду от таких загрязнителей как тяжёлые металлы, взвешенные вещества, соединения фосфора и также азота с эффективностью 100, 91, 53,9 и 92,9% соответственно, при этом БПК и ХПК уменьшались на 98,6 и 91 %. Благодаря этому методу можно отказаться от сорбционной очистки.

Технология использования гиацинта исследуется также и в России, в Институте цитологии и генетики. На примере очистки сточных вод от свиноводческого комплекса они проводили очистку в биопрудах и достигли снижения концентраций азота аммонийного (мг/л) с 30-50 до 4-5, БПК₅ - со 150 до 20-30, ХПК - с 300 до 25-30, концентрация растворенного кислорода возрастала от 0,5 до 2-5 (мг O₂)/л.

Учитывая, что недостатками фиторемедиации являются сезонность ее применения а так же невысокая эффективность очистки, актуальным направлением мировых работ является изучение ускорения процессов фиторемедиации с применением способов обработки растений в растворах различными физическими полями, что позволяет получить значительное повышение адсорбции растениями поллютантов [50].

Таким образом, технологии фитиремедиации являются отличным дополнением для очистки сточных вод, а в ряде случаев, могут быть альтернативой стандартных способов глубокой очистки загрязненных вод. Такой вывод сделан на основе широкой географии распространения данного метода и многочисленных исследований в области экологической инженерии систем по защите водных объектов от загрязнения сточными водами.

Для использования процессов фиторемедиации применяются различные технологические схемы очистки и оборудование. Одной из таких схем является метод фиторемедиационной очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов с помощью природного биосорбента ряски малой с

применением энергии электромагнитного излучения крайне высокой частоты [73].

Такой процесс включал следующие стадии:

1. сбор в усреднитель загрязненной воды,
2. перекачка СВ в искусственный биопруд,
3. облучение электромагнитным излучением частотой 65 ГГц растения в водной среде в течение 15 минут,
4. контроль остаточного содержания катионов меди в растворе (спектрофотометр, фотоколориметр, роботизированный комплекс Экотест ВА-2D» с электродом «3 в 1»),
5. сброс в водоем очищенной воды,
6. подъем отработанной фитомассы поддоном и перенос ее из биопруда в ванну для приготовления элюата (может быть промежуточная сушка на воздухе),
7. приготовление раствора элюата,
8. электрохимическое извлечение ИТМ из элюата; утилизация обезвреженной фитомассы.

Поскольку обезвреженная фитомасса растений не имеет накопленных вредных и опасных веществ, то ее можно использовать в качестве сырья для производства удобрений, бумаги, отправлять на переработку на газ, жидкое топливо и использовать в других целях.

Таким образом, мы направили своё внимание на простые, эффективные, доступные решения очистки воды в накопительной ёмкости «Копань», отдавая предпочтение технологическим подходам, основанным на формировании биологических заградительных барьеров используя такие методы очистки как фиторемедиация, ризофилтрация и биосорбция.

Глава 3 Разработка экобиотехнологического комплекса по биологической очистке воды в регулирующей емкости «Копань»

На основе проведенного анализа по выбору системы очистки сточных вод нами предлагается установка экобиотехнологического комплекса в регулирующей емкости на основе фиторемедиационной очистки стоков совместно с габионно-фильтрационной очисткой перед поступлением на насосную станцию № 1 для приведения качества воды к нормам, чтобы провести последующий ее сброс в Саратовское водохранилище.

Чтобы охватить такой большой объем загрязненной воды мы разделим комплекс очистки стоков на три модуля и разместим его в месте сужения регулирующей емкости «Копань», в узкое русло шириной в 6 м и глубиной около 2-х м. Это русло является каналом между «Копань» и насосной станцией № 1 (рисунок 11).

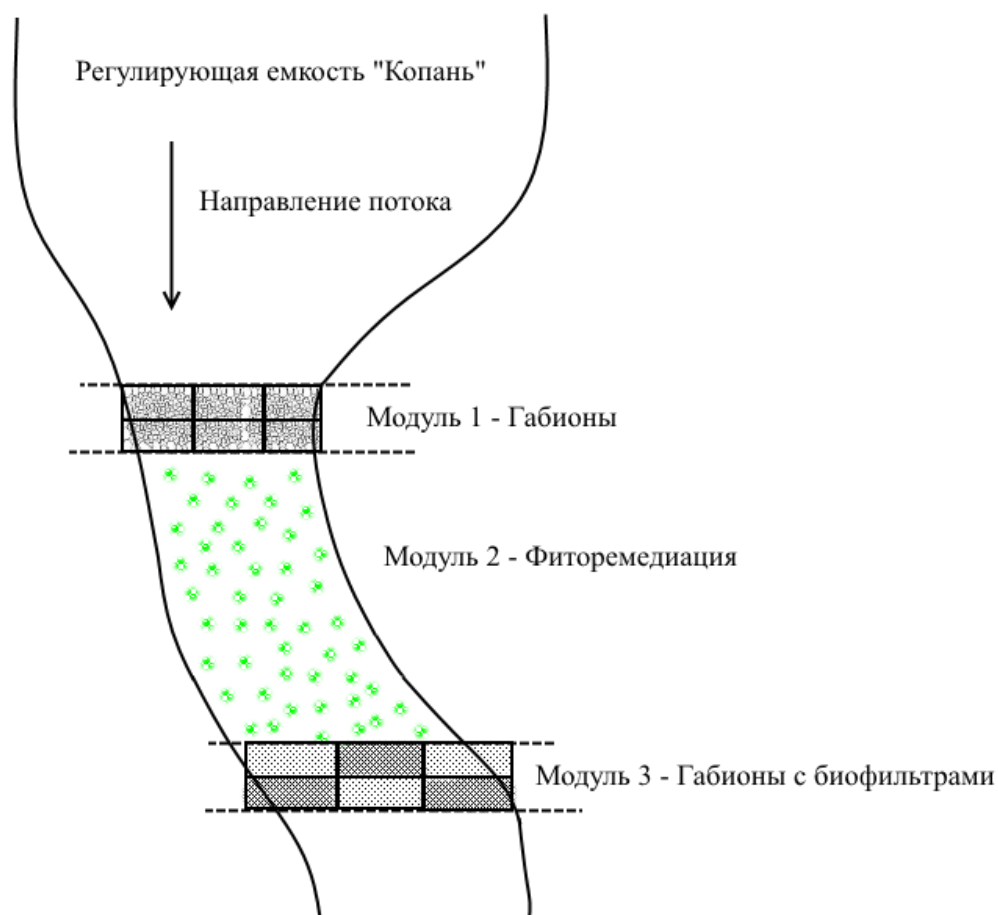


Рисунок 11 – Расположение комплекса очистки

В начале этого русла размещается первый модуль очистки, состоящий из габионов с сорбирующей и фильтрующей загрузкой на основе биосорбента, исследованного в эксперименте, и добавлением гравия, щебня и камня. Общая площадь габионов составит около 15 м². Это восемь габионов типа матрично-тюфячного размерами 1x2x0,5 м и три габионных блока размерами 2x2x1 м. Первый тип габионов будет выстилать дно русла и послужит укреплением габионов второго типа. На этом этапе будет происходить первичная очистка стоков по следующим показателям:

- хлориды,
- сульфаты,
- фосфаты,
- нитраты,
- аммонийный азот,
- взвешенные вещества,
- нефтяные продукты.

Таким образом стоки будут подготавливаться к следующей стадии очистки во втором модуле.

Второй модуль очистки – фиторемедиационный, заключающийся в прохождении стоков через сообщества высших водных растений – макрофитов. В качестве макрофитов мы предлагаем использовать следующие растения:

- эйхорния,
- водяной орех,
- ряска,
- кувшинка желтая.

А также водоросли:

- уруть мутовчатая,
- роголистник.

Фиторемедиационная очистка протекает за счет следующих механизмов, происходящих в растениях: фитоэкстракция, фитодеградация, фитоиспарения, фитостабилизация и ризофильтрация.

За счет внедрения сообществ макрофитов мы создаем аналог биоплато. Такая биосистема будет самостоятельно развиваться и поддерживать естественный процесс очистки воды.

Длина всего устья от места сужения «Копань» до насосной станции составляет более 2,5 км. Скорость потока составляет приблизительно 0,33 м/с. Это достаточная скорость для процессов очистки через сообщества макрофитов. С учетом наличия первого и третьего модуля очистки, скорости потока и ширины русла, нам потребуется около 150 м длины участка для организации комплекса фиторемедиационной очистки стоков.

Для самостоятельного поддержания необходимой биомассы необходимо будет внести начальный объем макрофитов – по 10 представителей каждого вида. В течении одного-двух месяцев они размножатся до необходимого количества, будут поддерживаться саморегуляцией и станут очищать стоки от следующих загрязнителей:

- взвешенные вещества,
- сухой остаток,
- фосфаты,
- нитраты,
- нитриты,
- аммоний,
- железо,
- хлориды,
- сульфаты,
- нефтепродукты.

После этого, в конце второго модуля предлагаем разместить третий модуль очистки. Это биофильтрационные фильтры с использованием пленчатых фильтров BioSteps, которые будут помещены в габионные сетки.

Общая площадь этих фильтров составит около 15 м². Это восемь габионов типа матрично-тюфячного размерами 1x2x0,5 м и три габионных блока размерами 2x2x1 м.

Его биоагрузка выполнена в виде листов плоской формы, состоящих из массива переплетенных между собой волокон прочного полимера. На фильтре будет образовываться биопленка, состоящая из микроорганизмов. Процесс действия и эффективности биопленки описан в п. 2.2. Этот модуль защитит оборудование насосной станции от попадания в нее растений, взвешенных частиц и лишней органики и доочистит стоки по следующим показателям:

- ХПК,
- NH₄,
- Р,
- взвешенные твердые частицы.

В регулирующей емкости «Копань» происходят различные биохимические процессы. Они протекают в анаэробных условиях за счет присутствия в пруде разных семейств микроорганизмов, которые населяют активный ил, скопившийся за все время эксплуатации пруда. Одни из этих семейств – бактерии *Bacterium micoides*, которые разлагают органические аминокислоты и снижают концентрации нитритов и нитратов. Но при этом образуются ионы NH₄⁺ и свободного аммиака. Также в накопительной емкости присутствуют бактерии *Sulfomonas* и *Thiobacillus*, которые снижают концентрации сульфатов.

Предлагаемый биотехнологический комплекс увеличит скорость биохимических процессов, что положительно скажется на качестве очистки сточных вод.

Данный комплекс является экономически выгодным, эффективным и не требует тщательного обслуживания, поэтому подходит в качестве решения проблемы сбросов стоков с превышениями ПДК загрязняющих веществ.

Общий вид процесса очистки представлен на рисунке 12.

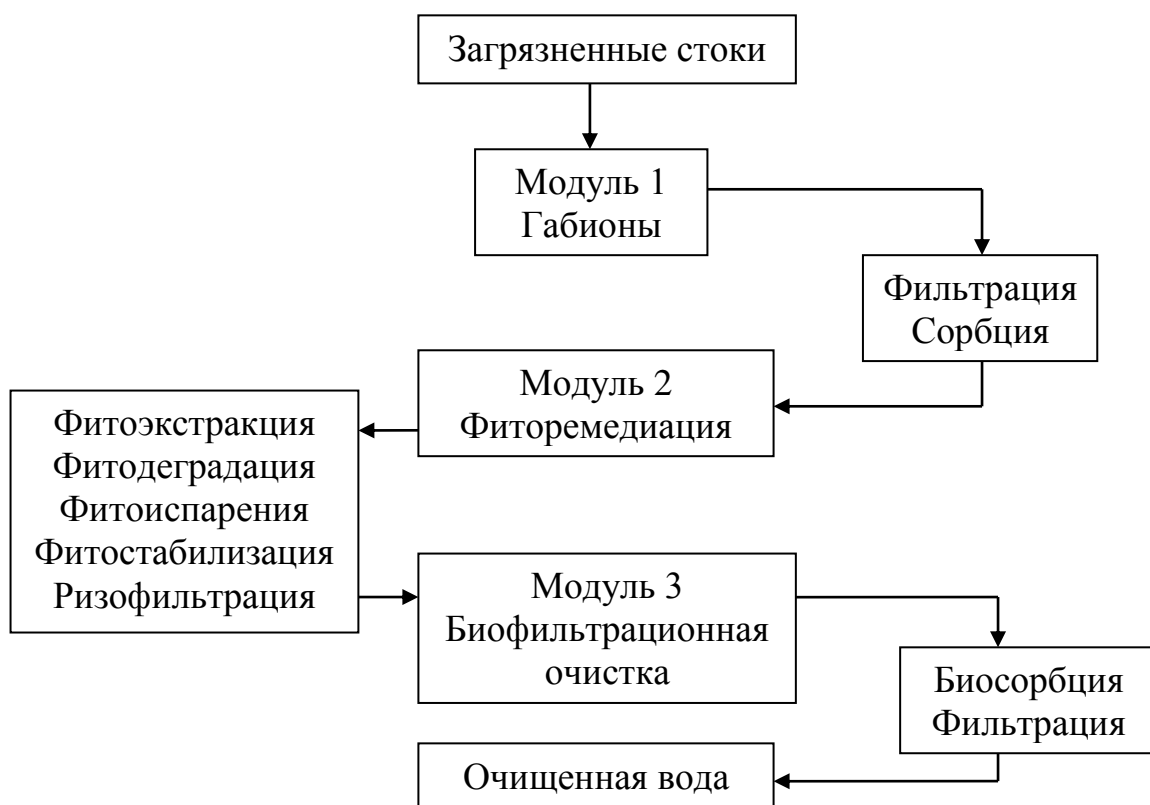


Рисунок 12 – Схема очистки воды регулирующей емкости «Копань»

3.1 Выбор и расчет заградительных биофильтров на основе габрионных конструкций

Из анализа литературы было выяснено, что габрионные конструкции имеют широкое распространение и зарекомендовали себя как эффективный недорогой и долговечный комплекс очистки сточных вод, применяемый для озер [22].

В основе габрионов лежит сетка двойного кручения. Она применяется в защитных и заградительных целях, для укрепления склонов, укреплении железнодорожного полотна, создания заградительных фильтров. Двойное скручивание устраняет раскручивание сетки, в случае разрыва. Сетка стелется по дну, разделяется перегородками высотой 0,2-0,5 метра и в образовавшиеся емкости укладывается загрузочный материал (гравий, биосорбенты, керамзит, шунгит, цеолит) затем сверху укладывается сетка и сшивается проволокой с перегородками. Такие конструкции являются гибкими и в случае подмыва или

просадки грунта заполняют пустоты. За время эксплуатации 5-10 лет габион покрывается растительностью и на загрузке появляются микроорганизмы, в следствии чего образуется биопленка, которая способствует дополнительному очищению воды.

Главные свойства габионных комплексов это: высокая проницаемость сквозь них воды и воздуха, высокий уровень сорбции мелких твердых частиц и нефтепродуктов, химическая стойкость и долговечность, пригодность для разрастания растений-макрофитов.

Принципиальная схема габиона показана на рисунке 13.

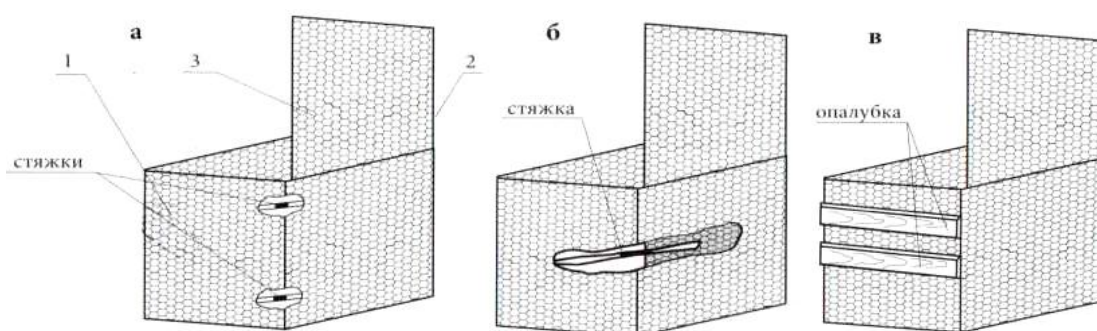


Рисунок 13 – Предварительное крепление ящика перед заполнением камнем, проволокой Φ -2 мм

а – крепление ящика по вертикальным граням; б – стяжка, соединяющая переднюю и заднюю стенку ящика; в – установка опалубки; 1 – сетка ящика из проволоки Φ -3 мм; 2 – контур ящика из проволоки Φ -4-6 мм; 3 – крышка.

На слабых грунтах под такие ящики подкладывают подстилку из геотекстиля или геоматов.

В таблице 13. приведена зависимость толщины облицовки от скорости потока, размеров ячейки в сетке и максимального диаметра камня. А на рисунке 14 представлены способы укладки габионов.

Таблица 13 – Зависимость толщины облицовки от скорости потока, размеров ячейки в сетке и максимального диаметра камня

| Тип крепления | Высота, мм | Диаметр камня, мм | Размер ячейки, мм | Скорость потока, м/сек |
|---------------|------------|-------------------|-------------------|------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Ящики | 0,5-1 | 100-120 | 150 | 6,7 |
| | | 120-250 | 190 | 7,2 |
| Матрасы | 0,15-0,17 | 70-100 | 80 | 3,8 |
| | | 70-150 | 110 | 4,3 |
| | 0,23-0,25 | 70-100 | 80 | 4,6 |
| | | 70-150 | 120 | 5,3 |
| | 0,3-0,4 | 70-120 | 100 | 5 |
| | | 100-150 | 125 | 6 |

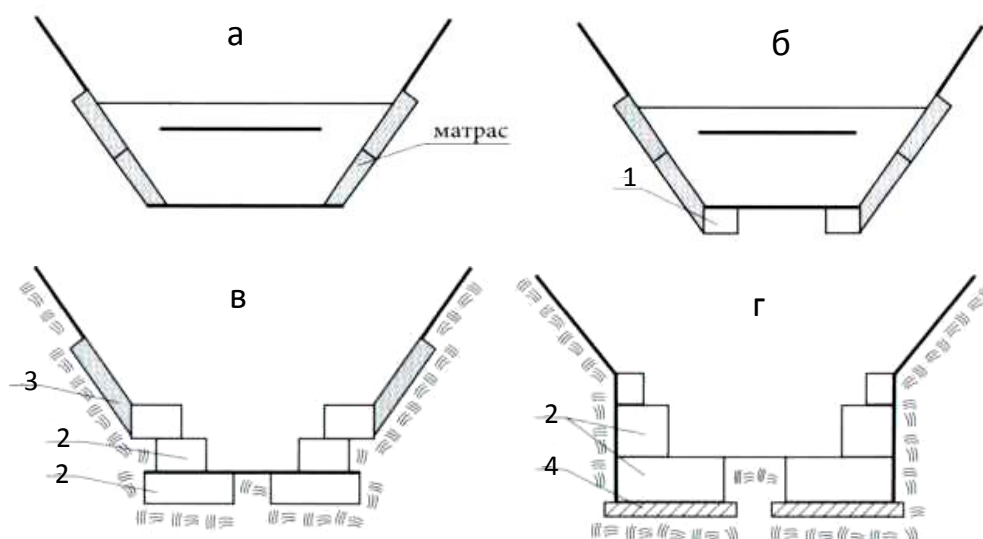


Рисунок 14 – Типы заградительных барьеров из габионов: а – заграждение матрасами; б – заграждение матрасами со вставкой; в, г – заграждение в устье: 1 – вставка; 2 – габионы; 3 – матрасы; 4 – ивовая подстилка.

Нами будут применяться габионные барьеры типа «а» и «в».

Следует отметить, что камень, укладываемый в матрасы или габионы, желательно иметь на 10-15% больше размера ячейки применяемой сетки. Это значительно повышает качество сооружения.

Различают несколько видов габионов.

Геомат – гибкая конструкция малой толщины, сделанной из синтетических волокон. Такая плоская конструкция вместе с грунтом и корнями растений становится хорошим биофильтром.

Геосетка – решетчатое полотно, которое изготавливается из сплетенных нитей или прутков, с квадратной ячейкой. Она не подвержена гниению и окислению, что означает долголетие изделия. Она идеально подходит для фиксации камней различной фракции, имеет малую стоимость. Ее монтаж и прочность делают геосетку самым распространенным материалом.

Создание габионных биофильтров для очистки воды в регулирующей ёмкости «Копань»

В основе очистки воды через фильтрационное сооружение лежит движение потока воды сквозь природный наполнитель – сорбент. Такой процесс очистки аналогичен фильтрации подземных потоков воды сквозь водоносный горизонт. Это значит, что в предлагаемом участке моделируются условия самоочистки воды в природе [22].

Габионные биофильтры составляют первый модуль очистки сточных вод. Они будут располагаться в начале устья, ведущему от «Копань» к насосной станции № 1. Ширина устья в его начале составляет 6 м, а глубина около 2-х м. Для начала обустройства заградительного барьера необходимо устелить дно и склоны устья габионами матрацно-тюфячного типа – геоматами с размерами 1 х 2 х 0,5 м. Потребуется как минимум 8 таких геомата. Для их связывания потребуется 9 кг проволоки. Укладка на дне габионных матрасов требуется для закрепления габионов в воде, чтобы в процессе эксплуатации они не смещались и не образовывали пустоты, через которые поток воды смог бы проходить без фильтрации.

Дальше, на полученную основу устанавливаются габионные блоки размером 2 х 2 х 1 м. Чтобы получился один ярус, потребуется минимум три таких блока. Для монтажа одного такого яруса потребуется 5 кг проволоки. С учетом глубины потребуется два яруса габионных блоков, следовательно,

шесть блоков и 10 кг проволоки. Установка габионов представлена на рисунке 15.

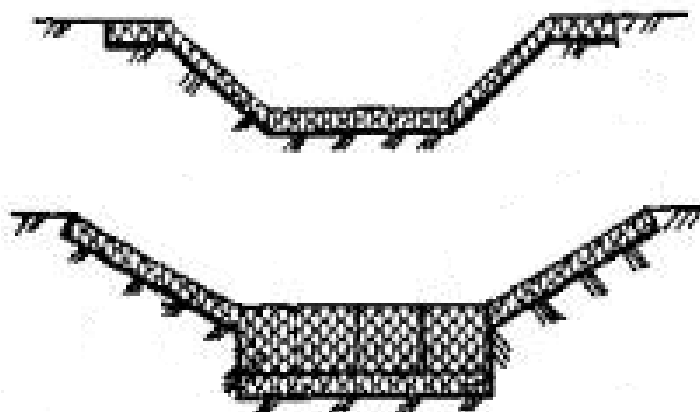


Рисунок 15 – Установка геоматов и габионов

Блоки будут заполняться фильтрационным материалом. Для заполнения одного блока требуется 2 м^3 камня. Заполнять будем гравием, щебнем, камнем с добавлением биосорбента №1 (опилки, биопрепарат, компостная смесь), с которым производился эксперимент. Это повысит интенсивность образования биопленки на фильтрационно-сорбирующем материале и увеличит интенсивность очистки воды. Загрузка сорбентом представлена на рисунке 16.

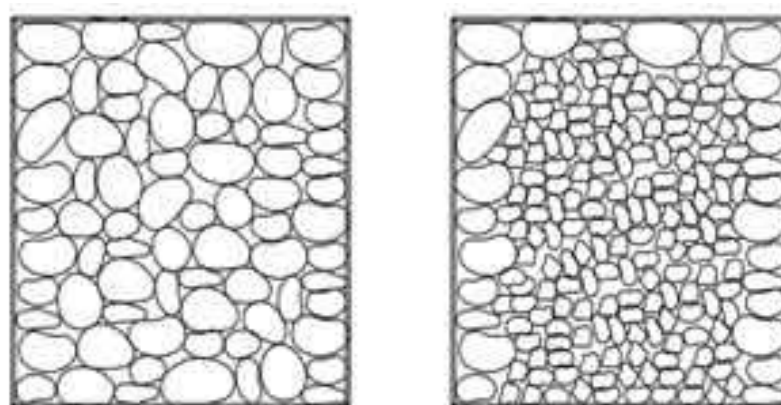


Рисунок 16 – Загрузка габионов сорбентом

Средняя цена габионного блока составляет 430 рублей.

Стоимость сетки составляет 500 руб./ м^2 .

Площадь полимерной сетки S , м^2 , для одного габиона рассчитываем по формуле (1):

$$S = \frac{(4\pi R^2)}{2}, \quad (1)$$

где $\pi = 3,14$;

R - размер стенки габиона, м.

$$S = \frac{(4 \cdot 3,14 \cdot 1^2)}{2} = 6,3 \text{ м}^2$$

Стоимость полимерной сетки составит $6,3 \cdot 500 = 3150$ руб.

Для того что бы рассчитать стоимость засыпного материала для габиона, вычисляют объем V , м^3 , по формуле (2):

$$V = \frac{\left(\frac{4}{3}\pi R^3\right)}{2}, \quad (2)$$

Тогда:

$$V = \frac{\left(\frac{4}{3} \cdot 3,14 \cdot 1^3\right)}{2} = 2,1 \text{ м}^3$$

3.2 Описание фитосорбционного модуля

Вторая стадия очистки это фитосорбционный модуль. Он основан на исследованиях применения метода организации биоплато для усреднения и очистки промышленных стоков и ливневых городских вод.

Конструкция биоплато представляет собой ограниченную заградительными барьерами из габионов плантацию быстроразводимого водного растения и прибрежных растений (рогоз, камыш, тростник) (рисунок 17). Вода будет проходить естественным путем. Габионные конструкции замедлят течение в устье, что обеспечит достаточное время контакта загрязняющих веществ, содержащихся в воде, с водной растительностью и на выходе будет очищенный поток воды.

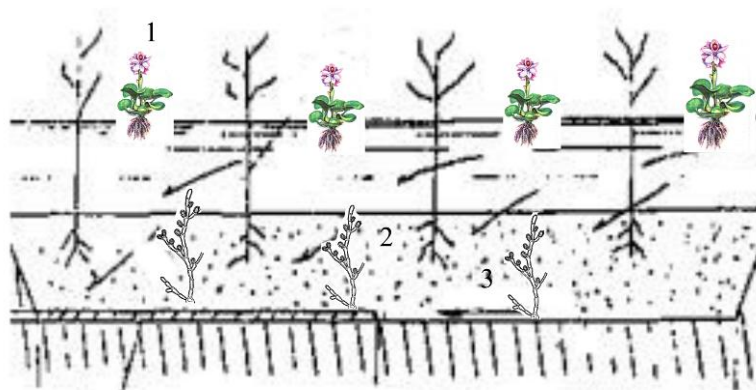


Рисунок 17 – Схема биоплато: 1 – плавающие макрофиты, 2 – погружные макрофиты, 3 – водоросли.

Фитосорбционный модуль будет располагаться сразу после первого габионного сорбционного модуля на протяжении 150 м устья по направлению к насосной станции.

В качестве главного элемента будет использоваться растение Эйхорния. Она усваивает различные биогенные вещества - навоз, фекалии, бензин, моющие вещества, различные яды, обладает антибактериальной способностью и ингибирует развитие сине-зелёных водорослей – основных составляющих «цветения» воды. Также эйхорния обогащает воду кислородом.



В качестве остальных макрофитов предлагается использовать корневые системы водяного ореха, кувшинки желтой. Эти макрофиты с помощью корневой системы и контактирующих с водой листьев усваивает из нее неорганический углерод карбонатов, минеральные соли, низкомолекулярные углеводы, аминокислоты и другие вещества. Такая корневая система обеспечивает эффективную адсорбцию питательных веществ. В последствии, эти растения можно использовать как сырье для биотоплива и добавки к кормам животных и в других областях [20, 59].

В таблице 14 представлено описание используемых макрофитов.

Таблица 14 – Перечень культур, которые наиболее подходят для природной фильтрации прудов

| Название культуры | Описание культуры | Изображение культуры |
|---|--|---|
| 1 | 2 | 3 |
| <p>Эйхорния <i>Eichhornia crassipes</i></p> | <p>Вбирает в себя фенолы, фосфаты, инсектициды. Способна поглощать тяжёлые металлы (кадмий, никель, серебро, железо), нефтепродукты. Благодаря этим свойствам, эйхорнию часто используют для доочистки сточных вод</p> |  |
| <p>Ряска <i>Lemna</i></p> | <p>Ряска является макрофитом в виде однодольной, покрытосеменной водоросли. Она плавает по поверхности воды. Аккумулирует фосфор, тяжелые металлы (медь)</p> |  |
| <p>Кувшинка желтая <i>Nuphar lutea</i></p> | <p>Препятствует росту цианобактерий (сине-зеленых водорослей) а также очищает водоем от тяжелых металлов и органических соединений</p> |  |
| <p>Водяной орех <i>Trapa natans</i></p> | <p>Усваивает соединения азота, фенолы, гербициды, снижает уровень ХПК стоков. Близок к эффективности эйхорнии</p> |  |

Продолжение таблицы 14

| | | |
|---|---|---|
| <p>Уруть мутовчатая <i>Myriophyllum verticillatum</i></p> | <p>Обладает высоким усваивающим свойством таких веществ как ионы железа [Ш], хрома [VI], бензол, сульфат-ионы</p> |  |
| <p>Роголистник <i>Ceratophyllum</i></p> | <p>Очищает воду от взвесей, СПАВ, органических соединений. Обогащает воду кислородом</p> |  |

Очистка в таком модуле будет производиться за счет механизмов фиторемедиации, а именно:

- фитоэкстракция за счет поглощения тяжелых металлов корнями растений и аккумуляция их в листьях,
- фитодеграция за счет поглощения органических соединений и превращения их в воду и углекислый газ,
- фитоиспарения за счет поглощения тяжелых металлов и органических веществ и превращения их в соляную кислоту, воду, углекислый газ и трансформированные органические соединения,
- фитостабилизации и ризофльтрации.

Эффективность очистки стоков с помощью эйхорнии и ряски представлена в таблицах 15 и 16. Данные основаны на результатах очистки 1 л сточной воды одним растением эйхорнии и следующим содержанием загрязняющих веществ:

- взвешенные вещества – 182 мг/л,
- сухой остаток – 481 мг/л,
- фосфаты – 12 мг/л,
- нитраты – 2,25 мг/л,
- нитриты – 14,43 мг/л,

- аммоний – 0,59 мг/л,
- железо – 0,97 мг/л,
- хлориды – 152,4 мг/л,
- сульфаты – 112 мг/л,
- нефтепродукты – 2,55 мг/л.

Таблица 15 – Показатели эффективности очистки стоков в процентах с помощью эйхорнии

| Показатель | Единица измерения | Процент очистки, % |
|---------------------|-----------------------|--------------------|
| 1 | 2 | 3 |
| Взвешенные вещества | мг/л | 94 |
| Сухой остаток | мг/л | 65,9 |
| Фосфаты | мг/л | 95,7 |
| Нитраты | мг/л | 99,93 |
| Нитриты | мг/л | 99,9 |
| Аммоний | мг/л | 27,11 |
| Железо | мг/л | 100 |
| Хлориды | мг/л | 58 |
| Сульфаты | мг/л | 60 |
| Нефтепродукты | мг/л | 98,74 |
| ХПК | мг(O ₂)/л | 75 |
| БПК | мг(O ₂)/л | 50 |

Таблица 16 – Показатели эффективности очистки стоков в процентах с помощью ряски

| Показатель | Единица измерения | Процент очистки, % |
|---------------------|-------------------|--------------------|
| 1 | 2 | 3 |
| Взвешенные вещества | мг/л | 95,6 |
| Сухой остаток | мг/л | 59,6 |
| Фосфаты | мг/л | 5,4 |
| Нитриты | мг/л | 2,7 |
| Аммоний | мг/л | 27,11 |
| Алюминий | мг/л | 41,17 |
| Железо | мг/л | 45,36 |
| Сульфаты | мг/л | 45,8 |
| Нефтепродукты | мг/л | 45,5 |

Длина биоплато L , м, определяется по формуле (3).

$$L = \frac{V}{f_{\text{БПК}}} (C_{\text{БПК}}^0 - C_{\text{БПК}}^L), \quad (3)$$

где L - длина биоплато;

V - скорость воды на биоплато;

$f_{\text{БПК}}$ - коэффициент очистительной способности биоплато, $\text{г}(\text{O}_2)/(\text{м}^3 \text{с})$;

$C_{\text{БПК}}^0$, $C_{\text{БПК}}^L$ - концентрация органического вещества по БПК на входе и выходе биоплато соответственно, $\text{г}(\text{O}_2)/\text{л}$.

$f_{\text{БПК}}$ для загрязненного дренажного и поверхностного стока с БПК более $15 \text{ г}(\text{O}_2)/\text{л}$ равен $7,1 \times 10^{-4}$, с БПК менее $15 \text{ г}(\text{O}_2)/\text{л}$ - $1,9 \times 10^{-4}$.

$$L = \frac{0,33}{7,1 \cdot 10^{-4}} (32 - 3) = 150 \text{ м}$$

Площадь биоплато S , м^2 , зависит от концентрации загрязняющих веществ, которые остаются в поверхностном или дренажном стоке, и определяется по формуле (4).

$$S = QT_{K_{\text{опт}}} / H, \quad (4)$$

где Q - расход воды, поступающей на доочистку, $\text{м}^3/\text{ч}$;

$T_{K_{\text{опт}}}$ - оптимальное время контакта потока с ВВР, при котором достигается требуемое снижение концентрации загрязняющих веществ и определяется по формуле (5).

$$T_{K_{\text{опт}}} = \sum \alpha_n T_{K_n}, \quad (5)$$

где α_n - доли относительного содержания загрязнителей, превышающих ПДК;

T_{K_n} - оптимальное время контакта потока с каждым загрязнителем, ч.

$$T \approx 2 \text{ч.}$$

$$S = 1500 \cdot 9 / 3 \approx 600 \text{ м}^2$$

3.3 Биофильтрационный модуль доочистки

В качестве третьей стадии очистки – финальная доочистка воды после биоплато, используется биосорбционный модуль из плёнчатого фильтра BioSteps FSM 4600. Его биозагрузка выполнена в виде листов плоской формы, состоящих из массива переплетенных между собой волокон прочного полимера. Эффективная технология фильтрации обеспечивает значительный свободный объем (достигающий 94 %) и возможность очищать максимальное количество загрязнений. Данная загрузка спокойно помещается в габион либо специальный пластиковый корпус для усреднения проходящего потока.

На фильтре будет образовываться биопленка, состоящая из микроорганизмов. Процесс действия и эффективности биопленки описан в п. 2.2.

Фильтры обеспечивают очистку большого объема стоков за единицу времени, надежно защищают оборудование насосной станции № 1 от засорения механическими частицами.

Средние значение эффективности очистки представлены в таблице 17.

Таблица 17 – Средние показатели эффективности фильтров

| Показатель | Единица измерения | Процент очистки, % |
|----------------------------|-------------------|--------------------|
| 1 | 2 | 3 |
| ХПК | мг/л | 80 |
| NH ₄ | мг(N)/л | 63 |
| P | мг(P)/л | 10 |
| Взвешенные твердые частицы | мг/л | 95 |

Рассчитаем количество необходимого биосорбента.

При однократном введении сорбента в количестве m на 1 л обрабатываемой воды исходным уравнением баланса вещества определяется по формуле (6).

$$ma + QC = QC_0, \quad (6)$$

где a - удельная сорбция;

Q - количество обрабатываемых сточных вод;

C - концентрация вещества, после смешивания воды с сорбентом в течении времени t ;

C_0 – концентрация вещества в исходной воде.

$$0,72 \cdot 27440 + 2000 \cdot 3,4 = 2000 \cdot 13,3$$

$$26600 = 26600$$

Расход сорбента m , кг, определяется по формуле (7).

$$m = Q(C_0 - C) / a, \quad (7)$$

Для сорбирования азота аммонийного потребуется:

$$m = 2000 (13,3 - 3,43) / 27440 = 0,72 \text{ кг.}$$

Для сорбирования азота нитратного потребуется:

$$m = 2000 (27 - 11,82) / 27440 = 1,11 \text{ кг.}$$

Для сорбирования азота нитритного потребуется:

$$m = 2000 (0,84 - 0,02) / 27440 = 0,06 \text{ кг.}$$

Для сорбирования сульфатов потребуется:

$$m = 2000 (813 - 169,73) / 27440 = 46,89 \text{ кг.}$$

Концентрация очищенной жидкости C , мг/л, будет определяться по формуле (8).

$$C = (QC_0 - ma) / Q, \quad (8)$$

$$C = (2000 * 13,3 - 0,72 * 27440) / 2000 = 3,42 \text{ мг/л.}$$

Для расчета сорбционной загрузки a , кг/м², которая рассчитывается по формуле (9), необходимо знать коэффициент распределения k . $k = 8000$.

$$a = kC, \quad (9)$$

$$a = 8000 \cdot 3,43 = 27440 \text{ кг/м}^2$$

После получения значения k рассчитаем C и m по формулам (10) и (11).

$$C = \frac{Q}{Q + km} C_0, \quad (10)$$

$$C = \frac{2000}{2000 + 8000 * 0,72} 13,3 = 3,4 \text{ мг/л}$$

$$m = \frac{Q(C_0 - C)}{kC}, \quad (11)$$

$$m = \frac{2000(13,3 - 3,43)}{8000 * 3,43} = 8,46 \text{ кг/м}^2$$

Для расчета сорбции при движении потока используем формулу (12).

$$T = kH - \tau, \quad (12)$$

где T - время защитного действия сорбционного фильтра;

H - высота загрузочного слоя;

k - коэффициент защитного действия;

τ - потеря времени защитного действия.

$$T = 8000 \cdot 3 - 0,38 = 24000$$

Значение k определяется по формуле (13).

$$k = \frac{a_0}{vC_0}, \quad (3.13)$$

где a_0 - предельная насыщенность сорбента;

v - скорость фильтрации;

C_0 - концентрация загрязняющего вещества в исходной воде;

a_0 - табличное значение.

Потеря времени защитного действия τ определяется по формуле (14).

$$\tau = \varepsilon \Delta \tau, \quad (14)$$

$$\tau = 0,47 \cdot 0,8 = 0,38.$$

где $\Delta \tau$ - время, в течение которого изменяется концентрация вещества в фильтрате;

ε - порозность (проницаемость) сорбента и определяется по формуле (15).

$$\varepsilon = 1 - \delta_H / \delta_K, \quad (15)$$

$$\varepsilon = 1 - 500 / 950 = 0,47.$$

где δ_H - насыпная плотность сорбента;

δ_K - кажущаяся плотность.

Так как перед этой стадией очистки будет проводиться очистка еще и через первые два модуля, которые очистят стоки от загрязняющих веществ минимум на 60%, то сорбента потребуется значительно меньше.

3.4 Экспериментальное исследование эффективности комплексов с использованием макрофитов и сорбентов для очистки воды

В качестве экобиотехнологических решений для очистки воды нами были разработаны биоконплексы на основе использования методов биосорбции, фиторемедиации, фитоэкстракции [51]. Каждый комплекс включал сорбент, макрофит, активирующие добавки. После моделирования данных комплексов мы проводили экспериментальные исследования по

эффективности удаления нефти и органических загрязнений из воды, используя в качестве тест-объекта дафний. По выживаемости дафний в загрязнённой воде до и после очистки делали выводы об эффективности разрабатываемых биокомплексов.

Эти исследования проводились совместно с авторами [52].

Ход работы.

Берем четыре емкости, наливаем в каждую 250 мл воды. Помещаем макрофиты – папоротники *Salvinia*. Затем помещаем в каждую емкость по пять особей *Daphnia magna*. (рисунок 18).

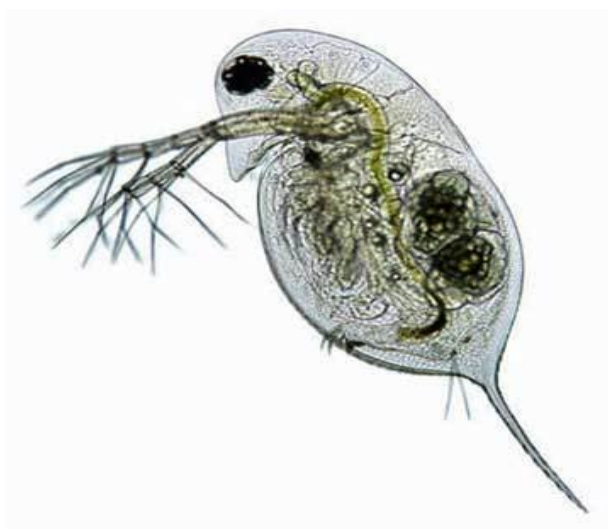


Рисунок 18 – Тест – объект *Daphnia magna*

Добавляем по 15 мл сырой нефти. После этого в три емкости из четырех добавляем разные смеси сорбентов с макрофитами:

- сорбент № 1 – опилки, биопрепарат, протертые раковины моллюсков,
- сорбент № 2 – опилки, биопрепарат, компостная смесь,
- сорбент № 3 – опилки, СПАВ, компостная смесь,

Получаем следующие среды:

- 1-я группа – контрольная, в ней только нефть,
- 2-я группа – нефть, макрофит и сорбент № 2,
- 3-я группа – нефть, макрофит и сорбент № 1,
- 4-я группа – нефть, макрофит и сорбент № 3.

Наблюдали в течении часа за процессом в каждой смеси и получили следующие результаты:

- Макрофит с сорбентом № 2 имел наилучшие впитывающие свойства (рисунок 19)
- Макрофит с сорбентом № 1 лучше всех держится на поверхности воды;
- Сорбент № 3 быстро осел на дно, а его макрофит оставался на поверхности (рисунок 20).



Рисунок 19 – Макрофит *Salvinia* и сорбент № 2

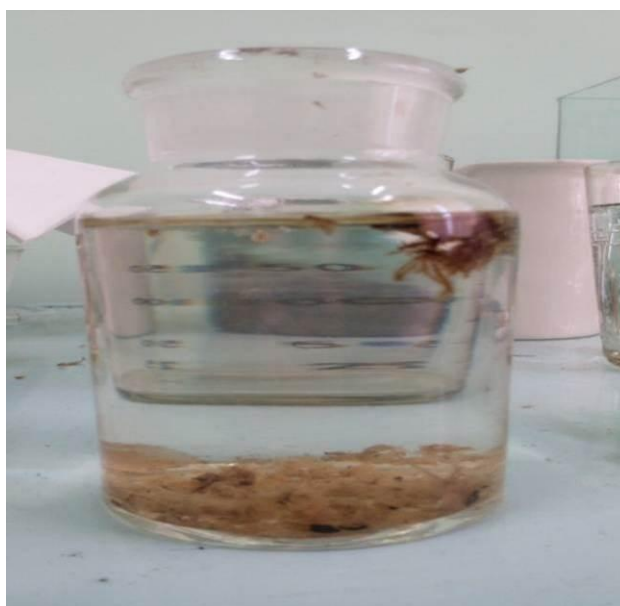


Рисунок 20 – Макрофит *Salvinia* с сорбентом № 3

Во время наблюдений во всех емкостях было отмечено хаотичное движение дафний при добавлении в раствор нефти. Спустя час было зафиксировано, что в первой группе дафнии держались на дне, во второй и четвертой они держались на поверхности, а в третьей группе наблюдалась вертикальная и горизонтальная миграция.

К концу часа все особи проявляли жизненные признаки.

Образцы оставили в лаборатории на один день. И на следующий день были следующие изменения:

- В контрольной емкости все особи погибли и прилипли к нефтяному пятну.
- Во второй емкости только одна особь проявляла признаки жизни.
- В третьей и четвертой группе погибло две особи.

Исходя из наблюдений первого дня можно сделать вывод, что особи *Daphnia magna* в третьей группе находятся в наилучшем состоянии, а в худшем – в первой (контрольной) группе. Наблюдения второго дня подтверждают эту тенденцию.

В снижении токсического воздействия на гидробионты лучше всего себя проявил сорбент № 1 (рисунок 21).

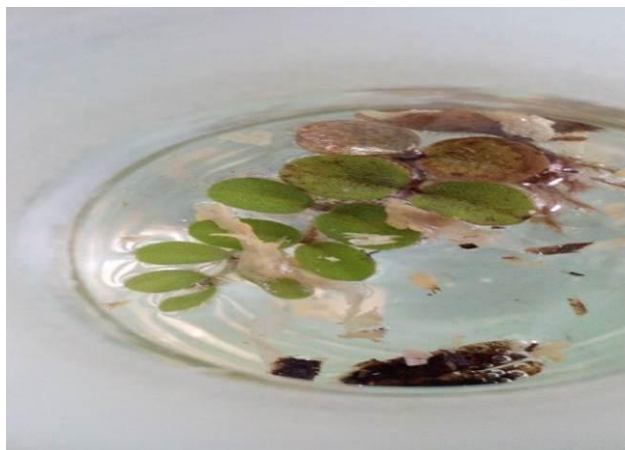


Рисунок 21 – Сорбент № 1 с макрофитом *Salvinia*

Особь контрольной группы исследовалась через микроскоп «Биомед 4». Вначале дафния покрывалась пленкой нефти, затем нефть через фильтрующий аппарат проникла в кишечник, под карапакс. Спустя пару минут глаза дафнии потемнели, антенны слиплись

Данные эффекты показывают насколько важно соблюдать требования к очистке сточных вод, чтобы сохранять жизнь в водоемах, а также здоровье человека.

Результаты эксперимента показаны на рисунке 22.

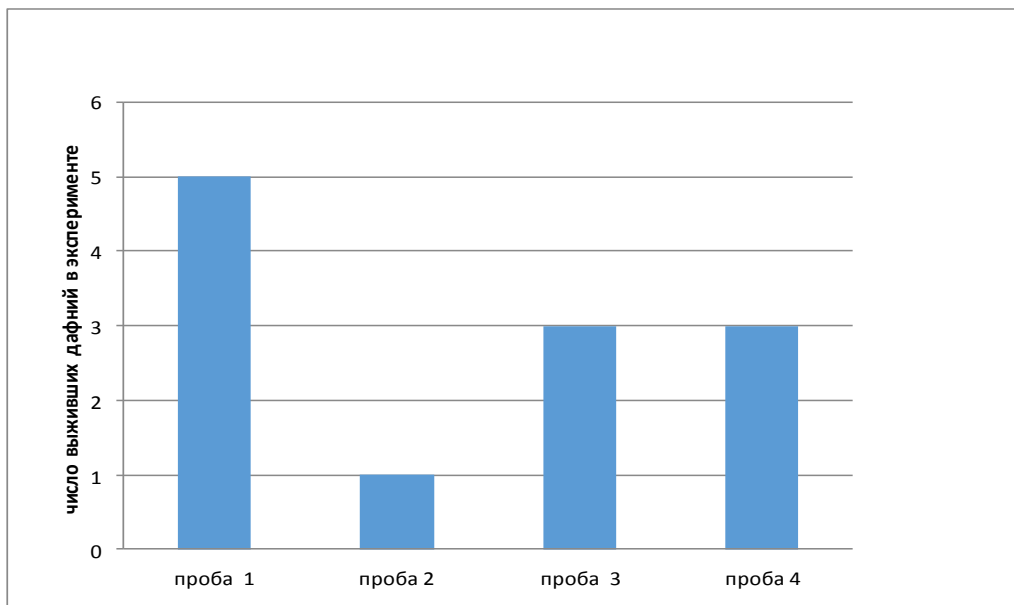


Рисунок 22 – Определение эффективности очистки от нефти в комплексе с макрофитом и сорбентом

Из эксперимента следует, что наиболее эффективно использование макрофита с сорбентом № 1 – опилки, биопрепарат, компостная смесь. Наименее эффективен состав № 2. Среднее значение имеет состав № 3.

В качестве макрофитов можно использовать эйхорнию. Эйхорния (водяной гиацинт, *Eichhornia crassipes*) - это плавающее растение, которое внешне напоминает гиацинт (рисунок 23).



Рисунок 23 – Эйхорния *Eichhornia crassipes*

Надводная часть этого растения состоит из цветка и листьев. Его корни опущены в воду. Они имеют реснички, между которыми происходит как раз процесс очистки воды.

У эйхорнии высокий индекс фотосинтеза. Уровень гетеротрофной ассимиляции составляет 1,5-2,7. Наличие низкомолекулярных соединений в воде повышает до 30% продуктивность, ускоряя наращивание биомассы растения.

За счет стимуляторов и ингибиторов для роста углеродсодержащих бактерий через выделения корневой системы эйхорния усиливает процесс разложения нефтепродуктов и детоксикации ядов [18].

Результаты по биоочистке за счет эйхорнии показали высокую эффективность применения на примере птицефабрики в Киржаче. По заключению экспертов стоки от фабрики за три месяца были доведены до качества воды, предъявляемого к плавательному бассейну. Что также важно - не был нарушен естественный биоценоз. На «убитый» некогда пруд начали прибывать на водопой животные, стали размножаться дафнии и бармаши, а утки с выводками питались эйхорнией [68].

У эйхорнии на поверхности корней образуются селективные микробиоценозы (простейшие, бактерии, водоросли), которые способствуют активной биодеструкции и поглощению органических и минеральных веществ. **Наиболее эффективно эйхорнией очищается вода от хлоридов, сульфатов, нитратов, азота аммонийного и патогенных микроорганизмов, одновременно значительно (в 5 раз) снижается ХПК и в 2 раза снижается БПК.**

Таблица 18 – Показатели очистки воды эйхорнией

| Контролируемый показатель | Концентрация | |
|---------------------------|--------------------------------|-------------------|
| | до очистки (после отстаивания) | после очистки |
| 1 | 2 | 3 |
| ХПК, мгО ₂ /л | 50,3 | 10,0 |
| БПК, мгО ₂ /л | 13,7 | 6,4 |
| Щелочность, мг-экв/л | 2,4 | 2,0 |
| Жесткость, мг-экв/л | 1,6 | 1,0 |
| Хлориды, мг/л | 37,9 | 14,5 |
| Сульфаты, мг/л | 98,0 | 42,1 |
| Фосфаты, мг/л | 1,4 | 0,3 |
| Нитраты, мг/л | 6,2 | 0,25 |
| Аммонийный азот, мг/л | 6,9 | 0,94 |
| Взвешенные, мг/л | 280,0 | 42,0 |
| Сухой остаток, мг/л | 430,5 | 10,4 |
| Общее микробное число | 2,3 ¹⁰ | 0,4 ¹⁰ |
| Coli-индекс | 1563 | 420 |
| Coli-титр | 0,9 | 1,5 |

Эйхорния нейтрализует поглощенные токсичные ингредиенты, ее зеленая масса после очистки содержит ценные питательные вещества и пригодна на корм сельскохозяйственным животным и птице [25].

Таким образом, анализ литературных источников, экспериментальные исследования в области эффективности фито и биотехнологий в очистке водоёмов показали высокую эффективность и экономичность методов фиторемедиации, фитофильтрации, биосорбции и применения макрофитов в очистке вод, загрязнённых не только органическими веществами, но и тяжёлыми металлами. Эти методы могут быть актуальными для очистки стоков «Копани» и мы их рассматривали для применения в разрабатываемом экобиотехнологическом комплексе очистки.

3.5 Эколого-экономическое обоснование экобиотехнологического комплекса

Наш экобиотехнологический комплекс состоит из трех модулей. Он изображен на рисунке 24.

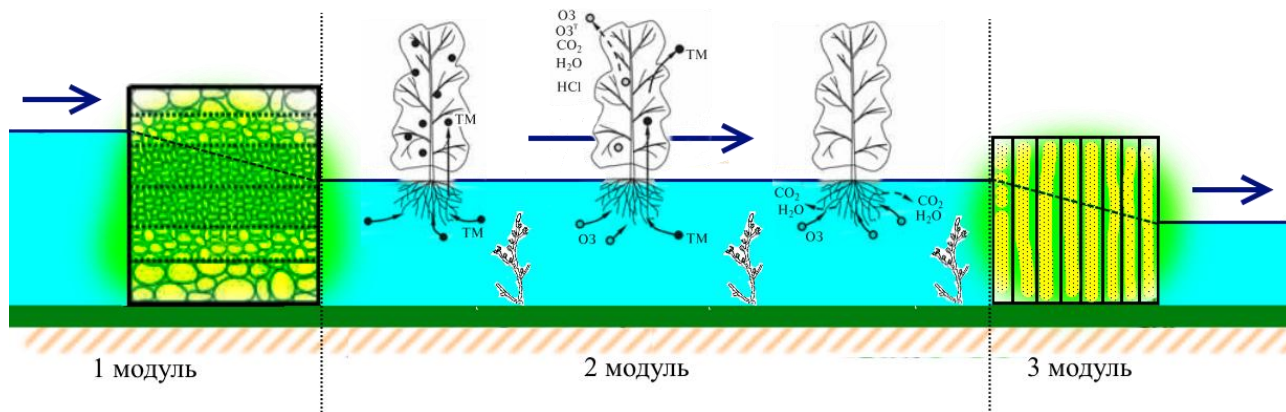


Рисунок 24 – Экобиотехнологический комплекс для очистки воды из регулирующей ёмкости «Копань»

Модуль 1 обеспечивает совокупность нескольких технологий очистки потока воды – механическую, сорбционную. А также, при наличии биосорбента в качестве загрузки габиона образуется биопленка, которая обеспечивает дополнительную биосорбционную очистку воды.

Модуль 2 объединяет в себе большое количество фиторемедиационных технологий очистки воды: фитофильтрацию, фитоэкстракцию, фитоиспарение, биосорбцию, которые эффективно очищают воду от органики, нефтяных следов, нитрат-, нитрит-аммония.

В модуле 3 за счет загрузок биополимерных фильтров разной плотности и диаметра обеспечивается окончательная доочистка стоков.

Вода, отстоявшись в регулирующей емкости и в дальнейшем экобиотехнологический комплекс очистки стоков, очищается до значений концентраций загрязнений до значений, значительно меньшей значений ПДК.

Таким образом, очищенные стоки наконец поступают на насосную станцию № 1 и затем сбрасываются в Саратовское водохранилище без нарушений по ПДК и поддерживая экосистему водоема.

После прохождения через данный экобиотехнологический комплекс повысится качество очистки стоков. В таблице 19 приведено предположительное качество очистки сточных вод по прохождению комплекса очистки.

Таблица 19 – Качество очистки сточных вод по предложенной схеме

| Показатель | Концентрация | | ПДК, мг/дм ³ | Эффективность очистки, % |
|--------------------------------|-----------------------------------|--|----------------------------|-----------------------------|
| | до очистки, мг/дм ³ | после комплекса очистки, мг/дм ³ | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| БПК_{полн} | 32,0 | 2 | 3,0 | 93,75 |
| Взвешенные вещества | 76,0 | 0,08 | 11,24 | 99,9 |
| Сухой остаток | 2093,0 | 500 | 1316,75 | 76,11 |
| Хлориды | 87,0 | 20 | 122,90 | 77 |
| Сульфаты | 813,0 | 100 | 169,73 | 87,7 |
| Азот аммонийный | 13,3 | 1 | 3,43 | 92,5 |
| Ион аммония | 17,0 | 2 | 4,40 | 88 |
| Азот нитратный | 27,0 | 5 | 11,82 | 81,5 |
| Нитрат ион | 118,0 | 50 | 51,39 | 57 |
| Азот нитритный | 0,84 | 0 | 0,02 | 99,9 |
| Нитрит-ион | 2,8 | 0 | 0,08 | 99,9 |
| Железо общее | 2,0 | 0,05 | 0,622 | 97,5 |
| Медь | 0,012 | 0 | 0,001 | 99,9 |
| Нефтепродукты | 0,33 | 0 | 0,158 | 99,9 |
| Цинк | 0,057 | 0,01 | 0,012 | 82,4 |
| Фосфаты (по фосфору) | 0,33 | 0 | 1,17 | 100 |
| СПАВ (анион.) | 0,21 | 0 | 0,036 | 100 |

Приведем анализ необходимых затрат на данный комплекс очистки сточных вод. Затраты показаны в таблице 20.

Таблица 20 – Затраты на организацию заградительного биогабиона

| Статья расхода | Количество | Стоимость единицы, руб. | Сумма, руб. |
|--|-------------------|-------------------------|---------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1 модуль очистки | | | |
| Габионные маты | 8 шт. | 1790 | 14320 |
| Габионные блоки | 6 шт. | 430 | 2580 |
| Проволока для монтажа сеток | 19 кг | 100 | 1900 |
| Загрузка (2 м ³ /секция): | 34 м ³ | | 28650 |
| фильтрационный материал (гравий, щебень, камень) | 21 м ³ | 900 | 18900 |
| биосорбент | 13 м ³ | 750 | 9750 |
| Доставка материалов | 4 рейса | 4000 | 16000 |
| Стоимость загрузочных работ | - | 6000 | 6000 |
| Итого: | | | 69450 |
| 2 модуль очистки | | | |
| Эйхорния | 10 | 200 | 2000 |
| Водяной орех | 10 | 200 | 2000 |
| Ряска | 300 г | 160 | 4800 |
| Кувшинка желтая | 10 | 130 | 1300 |
| Водоросли | 1000 г | 200 | 2000 |
| Уруть мутовочная | 10 | 400 | 4000 |
| Роголистник | 10 | 60 | 600 |
| Итого: | | | 16700 |
| 3 модуль очистки | | | |
| Габионные маты | 8 шт. | 1790 | 14320 |
| Габионные блоки | 6 шт. | 430 | 2580 |
| Биопластина | 14 | 8000 руб/м ³ | 112000 |
| Работы по установке | - | 6000 | 6000 |
| Итого: | | | 134900 |
| Всего затрат | | | 221050 |

Всего на организацию предложенного комплекса по очистке сточных вод «Копань» перед сбросом в Саратовское водохранилище потребуется 221.050 руб.

На реализацию плана, предложенного ОАО «КуйбышевАзот», исходя из проведенной предприятием оценки воздействия на окружающую среду, потребуется 848.235 руб (табл. 2).

Из сумм видно, что предложенный в данной работе экобиотехнологический комплекс является выгоднее и не требует ежемесячных затрат на эксплуатации очистных сооружений. Требуется только периодическая замена биофильтров.

Таким образом, эколого-экономический анализ моделируемого экобиотехнологического комплекса показал, что данный комплекс является достаточно экономически выгодным и экологически эффективным для очистки стоков от накопительной емкости «Копань» и снижения нагрузки на Саратовское водохранилище.

Заключение

Проведённый сравнительный анализ существующих методов очистки сточных вод от промышленности и ливневых вод городов показал, что биологические технологии являются эффективными способами очистки крупных водоёмов от приоритетных, в основном биогенных и органических токсикантов.

Предложенный экобиотехнологический комплекс очистки для регулирующей емкости «Копань» является приемлемой технологией приведения загрязненных стоков к требуемому качеству воды для сброса в Саратовское водохранилище, а также как временное решение, чтобы снизить антропогенную нагрузку на водоем, пока не продолжится строительство очистных сооружений ОАО «КуйбышевАзот».

В качестве биотехнологических решений для эффективной очистки воды из «Копани» предложено использовать методы ризофильтрации, фиторемедиации, фитоэкстракции, фитоаккумуляции, биофильтрации, биосорбции, а также использование биогабионных фильтров с сорбирующей и фильтрующей загрузками.

Данные методы биологической очистки в комплексе позволят максимально очистить стоки от органических веществ, тяжелых металлов, нефтепродуктов, взвешенных веществ, ПАВов перед сбросом их в Саратовское водохранилище.

Биологические технологии, применяемые в модулях, основаны на сорбции загрязняющих веществ из водоёма с последующей их деструкцией и применением процессов фитоэкстракции и фитоаккумуляции, осуществляемыми макрофитами.

Биосорбционный метод реализуется с применением загрузки в габионных конструкциях (опилки, керамзит, гравий), где образуется биопленка и улучшается качество очистки воды.

Применение процессов фиторемедиации с помощью макрофитов снизит загрязнение водоёма тяжелыми металлами, соединениями азота и биогенными органическими веществами, снизит «цветение воды».

Модель биоплато будет способствовать фито-и ризофильтрационной очистке воды при прохождении через ёмкость, заполненную макрофитами и водорослями.

Заключительный модуль с фильтрами пленочного типа доочистит стоки после прохождения фиторемедиационного комплекса и тем самым подготовит их к сбросу в водохранилище.

Таким образом, применение экобиотехнологического комплекса очистки обеспечивает условия:

- для очистки и обеззараживания стоков вод регулирующей емкости «Копань», куда сбрасываются стоки химических предприятий города и ливневые воды,
- для снижения антропогенной нагрузки стоков на Саратовское водохранилище,
- восстановления водоема и приведения качества воды к требуемым нормам для рыбохозяйственных водоемов.

Список использованных источников

1. Алексеев Л. С. Контроль качества воды. М.: Инфра, 2004. 154 с.
2. Балашова Н. Б., Никитина В. Н. Водоросли. Л. : Лениздат, 1989. 92 с.
3. Битюцкий Н. П. Микроэлементы высших растений. СПб. : С.-Петербург. ун-та, 2011. 232 с.
4. Богданов Н. И. Биологическая реабилитация водоемов. Пенза : РИО ПГСХА, 2008. 152 с.
5. Богдановский Г. А. Химическая экология: Учебное пособие для вузов по направлению «Экология и природопользование», специальности «Экология». М. : МГУ, 1994. 273 с.
6. Витульская Н. В. Прикладная экология: Учебное пособие. Краснодар, 2001. 272 с.
7. Влияние тяжелых металлов на организм человека // Открытыйурок.рф URL: <http://festival.1september.ru/articles/568089/> (дата обращения: 15.05.2017).
8. Водные ресурсы и основы водного хозяйства / В. П. Корпачев [и др.]. СПб. : Лань, 2012. 320 с.
9. Водоотведение / Ю. В. Воронов [и др]. М. : Инфра-М, 2007. 415 с.
10. Водоросли. Справочник / С. П. Вассер [и др]. Киев. : Наук. думка, 1989. 608 с.
11. Воронов Ю. В., Яковлев С. В. Водоотведение и очистка сточных вод. М. : МГСУ, 2009. 704 с.
12. Гетманцев С. В., Нечаев И. А., Гандурина Л. В. Очистка промышленных сточных вод коагулянтами и флокулянтами. М. : МГСУ, 2008. 272 с.
13. Гиляров А. М. Популяционная экология: Учебное пособие. М. : изд-во МГУ, 1990. 191 с.

14. Гладышев М. И. Биоманипуляция как инструмент управления качеством воды в континентальных водоемах (обзор литературы): методическое пособие. – Красноярск, 2000. 33 с.
15. Голлербах М. М., Полянский В. И. Пресноводные водоросли и их изучение. М. : Сов. наука, 1951. 200 с.
16. Гольд З. Г., Гаевский Н. А., Попельницкий В. А. Влияние антропогенных загрязнений на перестройку пресноводных альгоценозов // Экологическая химия водной среды : материалы 1 Всесоюзн. школы, Кишинев 24-26 сентября 1985. М. : Центр международных проектов ГКНТ, 1988. С. 200-214.
17. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2006 году». М. : АНО «Центр международных проектов», 2007. 500 с.
18. Егорова Т. А., Клунова С. М., Живухина Е. А. Основы биотехнологии. М. : Академия, 2006. 208 с.
19. Ершов М. Е. Самые распространенные способы очистки воды. М. : АСТ, Сталкер, 2006. 94 с.
20. Заболотских В. В., Власова А. С., Валиуллина В. Н. Разработка биосорбционных смесей для эффективного удаления нефтяных пятен с водной поверхности // В сб. трудов V международного экологического конгресса (VII международной научно-технической конференции) «Экология и безопасность жизнедеятельности промышленно-транспортных комплексов» ELPIT-2015, гг. Самара -Тольятти, Россия: АНО «Издательство СНЦ». 2015. Т.2, Научный симпозиум «Биотические компоненты экосистем». С.106-114.
21. Зависимость способности микроорганизмов к окислению парафинов от состава реконструированных биопленок / М. В. Журина [и др.] // Международная научная конференция «Микроорганизмы и биосфера». Тезисы докладов. Москва, 19-20 ноября 2007. С. 46.

22. Загоскина Н. В. Биотехнология. Теория и практика. М. : Оникс, 2009. 496 с.
23. Золотова Е. Ф., Асс Г. Ю. Очистка воды от железа, марганца, фтора и сероводорода. М. : Стройиздат, 1975. 176 с.
24. Интенсификация доочистки биологически очищенных сточных вод / А. П. Нечаев [и др.] // Водоснабжение и санитарная техника, 1991. № 12. С. 702-712
25. Коврижных С. А. Очистка питьевой воды на Восточной водопроводной станции. // Водоснабжение и санитарная техника. 1985. № 1. С. 3-4.
26. Когановский А. М. Очистка и использование сточных вод в промышленном водоснабжении. М. : Химия, 2012. 288 с.
27. Кожинов В. Ф. Очистка питьевой и технической воды. М. : Стройиздат, 2012. 303 с.
28. Константинов В. М. Рациональное использование природных ресурсов и охрана природы. М. : Академия, 2009. 272 с.
29. Коробкин В. И., Передельский Л. В. Экология и охрана окружающей среды. М. : Кнорус, 2013. 336 с.
30. Кравцова М. В., Васильев А. В. Методические указания по выполнению диссертационной работы магистра. Тольятти: ТГУ, 2014. с. 55.
31. Крисилова Е. В., Елисеева Т. В., Шапоник В. А. Выделение и концентрирование основной аминокислоты методом электродиализа // Сорбционные и хроматографические процессы. 2007. № 6. С. 1017-1022.
32. Кузнецов А. Е., Градова Н. Б. Научные основы экобиотехнологии. Учебное пособие для студентов. М. : Мир, 2006. 504 с.
33. Кузнецов А. Е. Прикладная экобиотехнология: учебное пособие. М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010. Т. 2. 485 с.
34. Максимов В. Н. Экспериментальное изучение реакции проростков *Fagopyrum esculentum* на загрязнение водной среды // Проблемы

экологического мониторинга и моделирования экосистем, 1986. Т. 9. С. 87-97.

35. Мельников А. А. Проблемы окружающей среды и стратегия ее сохранения. М. : Академический проект, 2009. 724 с.

36. Нетрусов А. И., Котова И. Б. Общая микробиология. М. : Академия, 2007. 288 с.

37. Николаев Ю. А., Плакунов В. К. Биопленка – «город микробов» или аналог многоклеточного организма // Микробиология, 2007. Т. 76. № 2. С. 149-163.

38. Орлов Ю. А. Основы палеонтологии. Моллюски - панцирные, двустворчатые, лопатоногие. М. : Издательство Академии наук, 2012. Т. 3. 303 с.

39. Остроумов С. А. Загрязнение, самоочищение и восстановление водных экосистем. М. : МАКС Пресс, 2005. 100 с.

40. Остроумов С. А. К изучению двустворчатых моллюсков // Ecological Studies, Hazards, Solutions. 2003. Т.6. С. 101-105.

41. Очистка от тяжелых металлов // Технологии для воды URL: <http://enviro-chemie.ru/envochem/ion.htm> (дата обращения: 19.02.2017).

42. Очистка производственных сточных вод / Яковлев С.В [и др.]. М. : Стройиздат, 1985. 335 с.

43. Очистка производственных сточных вод: учебное пособие для вузов / под. ред. С. В. Яковлева. М. : Стройиздат, 1985. 335 с.

44. Паутова В. Н., Номоконова В. И. Динамика фитопланктона Нижней Волги – от реки к каскаду водохранилищ. Тольятти, 2001. 279 с.

45. Порякало А. Д., Шангарев И. Р. Экологические проблемы современности. М. : Квота, 2001. 228 с.

46. Погружённые макрофиты // Википедия URL: <https://clck.ru/DazZC> (дата обращения: 23.03.2017).

47. Поляков А. М., Соловье С. А., Видякин М. Н. Технология мембранного биореактора (МБР) для очистки природных и сточных вод // Критические технологии. Мембраны. 2008. № 3. С. 79-82.
48. Прикладная эковиотехнология: учебное пособие / А. Е. Кузнецов [и др.]. М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010. П. 75. Т. 2. 485 с.
49. Применение биотехнологий для очистки окружающей среды. Опасные отходы // Rus Doc.com URL: <http://www.rusdocs.com/primenenie-biotexnologij-dlya-ochistki-okruzhayushhej-sredy-opasnye-otxody> (дата обращения: 03.02.2017).
50. Применение габионных очистных сооружений для защиты водных объектов / С. М. Чесалов [и др.] // Экология производства. 2015. № 6. С. 60-69.
51. Разработка фитобиосорбционных модулей для уменьшения эвтрофирования и очистки природных водоемов от различных загрязнений / О. Филатова [и др.] // Молодежный инновационный форум Приволжского федерального округа (Ульяновск, УлГТУ, 13-15 мая 2015 года) : Сборник аннотаций проектов. Ульяновск : УлГТУ, 2015. С. 196-199.
52. Реагирование тест-организмов на загрязнение водной среды четвертичным аммониевым соединением // Водные ресурсы. 1991. № 2. С. 112–116.
53. Родионов А. И., Клушин В. П., Торочешник И. С. Техника защиты окружающей среды. Учебник для вузов. М.: Химия, 1989. 512 с.
54. Роев Г. А. Очистные сооружения. Охрана окружающей среды. М. : Недра, 1993. 125 с.
55. Мониторинг качества поверхностных и питьевых вод и состояние рыбного хозяйства Волги / Г. С. Розенберг [и др.] // Сб. Региональный экологический мониторинг в целях управления биологическими ресурсами : под. ред. чл.-корр. РАН, профессора Г. С. Розенберга, доктора биологических наук С. В. Саксонова. Тольятти : ИЭВБ РАН, 2003. 200 с.

56. Романова О. В. Очищение природными средствами. Натуральные сорбенты. СПб. : Вектор, 2009. 96 с.
57. Самойлов В. С. Дренаж и очистка сточных вод. М. : Аделант, 2009. 288 с.
58. Сергеев Е. М., Кофф Г. Л. Рациональное использование и охрана окружающей среды городов. М. : Высшая школа, 1995. 356 с.
59. Сметанин В. И. Восстановление и очистка водных объектов. М. : Колос, 2003. 157 с.
60. Смирнов А. Д. Сорбционная очистка воды. Л. : Химия, 1982. 168 с.
61. Снакин В. В. Экология и охрана природа: Словарь-справочник. М. : АKADEMIА, 2000. 17 с.
62. Справочник по очистке природных и сточных вод / Л. Л. Пааль [и др.]. М. : Высш. шк., 1994. 336 с.
63. Старобогатов Я. И. Раки, моллюски. Л. : Лениздат, 1988. 147 с.
64. Сулейманов Б. А. Особенности фильтрации гетерогенных систем. Институт компьютерных исследований, 2007. 356 с.
65. Суханова И. В. Макрофиты - индикаторы состояния урбанизированных территорий // Актуальные проблемы биологии, медицины и экологии. Томск. 2009. № 1. С. 11-22.
66. Терентьев В. И., Павловец Н. М. Биотехнология очистки воды. СПб. : Гуманистика, 2003. Ч. 1. 312 с.
67. Терентьев В. И., Павловец Н. М. Биотехнология очистки воды. СПб. : Гуманистика, 2003. Ч. 2. 272 с.
68. Тетиор А. Н. Городская экология: учеб. пособие ; 3-е изд. М. : ИЦ Академия, 2008. 336 с.
69. Третьяков Н. Н., Кошкин Е. И., Макрушин Н. М. Физиология и биохимия сельскохозяйственных растений. Под ред. Н.Н. Третьякова. М. : Колос, 2000. 640 с.

70. Тяжелые металлы // Справочник по гидрохимии URL: <http://biology.krc.karelia.ru/misc/hydro/mon5.html> (дата обращения: 15.03.2017).
71. Усовершенствованная технология выращивания объектов аквакультуры на биопрудах животноводческих комплексов / Ю. М. Субботина [и др.] // РАСХН, ВНИИВСГЭ, 1999. 41 с.
72. Фелленберг Г. Загрязнение природной среды. М. : Мир, 1997. 232 с.
73. Фиторемедиационные энергосберегающие технологии в решении проблем загрязнения гидросферы / Л. Н. Ольшанская [и др.] // Инноватика и экспертиза, 2012. № 2. С. 166-172.
74. Хванг С. Т., Каммермейер К. Мембранные процессы разделения. М. : Химия, 1981. 272 с.
75. Хенце М., Армоэс П., Ля-Кур-Янсен Й. Очистка сточных вод. М. : Мир, 2004. 44 с.
76. Чумаков Л. Раки. Моллюски. Пиявки. Таинственные жители водоемов. Мастацкая литература, 2008. 72 с.
77. Экологические основы природопользования / В. Г. Еремин [и др.] ; под ред. Ю.М. Соломенцева. М. : Высш. шк., 2002. 253 с.
78. Яковлев С. В., Карюхина Т. А. Биохимические процессы в очистке сточных вод. М. : Стройиздат 1980. 200 с.
79. Alkio M., Tabuchi T. M., Wang X. Stress responses to polycyclic aromatic hydrocarbons in Arabidopsis include growth inhibition and hypersensitive response-like symptoms // Journal of Experimental Botany, 2005. №56. P. 2983-2994.
80. Andre I., Schneider H., Rubio J. Sorption of heavy metal ions by the nonliving biomass of freshwater macrophytes // Environ Sci Technol, 1999. №33. P. 2213-2217.

81. Burken J. G., Schnoor J. L. Distribution and volatilization of organic compounds following uptake by hybrid poplar trees // *International Journal of Phytoremediation*, 1999. № 1. P. 139-151.
82. Burns R. G., DeForest J. L., Marxsen J. Soil enzymes in a changing environment: current knowledge and future directions // *Soil Biology and Biochemistry*, 2013. № 58. P. 216-234.
83. Coleman J. Detoxification of xenobiotics by plants: chemical modification and vacuolar compartmentation // *Trends in Plant Science*, 1997. № 2. P. 144-151.
84. Cunningham S. D., Berti W. R. Remediation of contaminated soils with green plants: an overview // *In Vitro, Cell & Developmental Biology*, 1997. № 29. P. 207-212.
85. Dordio A. V., Carvalho A. J. P. Organic xenobiotics removal in constructed wetlands, with emphasis on the importance of the support matrix // *Journal of Hazardous Materials*, 2013. P. 252-253.
86. Edwards R. Metabolism of natural and xenobiotic substrates by the plant glutathione S-transferase superfamily // In: *Molecular Ecotoxicology of Plants* (ed. H. Sandermann), *Ecological Studies*, 2014. V. 170. P. 17-50.
87. Persistent organic pollutants in environment of the Pearl River Delta, China: an overview / J. Fu [others] // *Chemosphere*, 2004. № 52. P. 1411-1422.
88. Gabler D. Ecological status assessment of rivers using macrophytes on selected examples // *Scientific Review. Eng and Environ Sci.*, 2011. № 52. P. 75-83.
89. Gajewska E. Effect of nickel on antioxidative enzyme activities, proline and chlorophyll contents in wheat shoots // *Biologia Plantarum*, 2005. № 50. P. 653- 659.
90. Rabajczyk A., Jozwiak M. A. The possibilities of using macrophytes as bioindicators of heavy metals occurring in sediments // *Monit Srodow Przyrod*, 2008. № 9. P. 19-26.

91. Rand G., Petrocelli S. Fundamental of Aquatic Toxicology. New York et al.: Hemisphere Publishing Corporation, 1985. 666 p.

92. Wolek J. Wystpowanie i rozmieszczenie roslin wodnych i szuwarowych na obszarze zespolu zbiornikow wodnych Czorsztyn - Niedzica i Sromowe Wyzne przez spi^trzeniem wody // Fragm Flor Geobot., Series Polonica, 1996. № 3. P. 189-203.

Приложение

Результаты патентного поиска

Патентный поиск, представленный в таблице 1, осуществлялся на изучение существующих способов и методов биологической очистки природных и промышленных вод от нефтепродуктов, органических и взвешенных веществ, азота, фосфора и других загрязнителей.

Таблица 1 - Анализ существующих методов очистки водных объектов от антропогенного загрязнения

| № патента | Краткое описание патента | Достоинства | Недостатки |
|------------------|--|--|--------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| 2386593 | Установка очистки стоков автозаправочной станции состоит из водосборного коллектора 1, приемно-отстойной камеры 2 с секциями для отделения взвешенных веществ 4 и пленочных нефтепродуктов 5, насоса 6 для подачи стоков автозаправочной станции из приемно-отстойной камеры 2 на биоплато 7 конической формы с размещенной на нем высшей водной растительностью, а также люков для выемки взвешенных веществ 8 и пленочных нефтепродуктов 9 из приемно-отстойной камеры 2 | повышение удобства в эксплуатации и расширение функциональных возможностей установки за счет уменьшения ее габаритов при сохранении эффективности очистки стоков автозаправочной станции | Ограниченное применение. |

Продолжение таблицы 1

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|---------|--|---|---------------------------------|
| 2200803 | <p>Система отвода и очистки поверхностного стока включает гидроизолированные от окружающего грунта, соединенные коллектор, отстойник, отстойную камеру с двумя секциями - грубой и тонкой очистки, биопруд – биоплато и бассейн, расположенную за последним фильтровальную камеру, отделенную от него фильтрующей дамбой, и отводящий коллектор. Система снабжена расположенной перед мелководным биоплато дополнительной фильтрующей дамбой. Дамбы и стенки глубоководного бассейна состоят из уложенных послойно фильтрующих материалов, контур стенки глубоководного бассейна в горизонтальной проекции имеет форму треугольника с вершиной, обращенной к мелководному биоплато, контуры поверхностей фильтрующей и дополнительной фильтрующей дамб выполнены вогнутыми в горизонтальной проекции относительно направления течения поверхностного стока, а контур поверхности дамбы отстойной камеры выполнен выгнутым в горизонтальной проекции относительно направления течения поверхностного стока.</p> | <p>Повышение производительности системы отвода и очистки поверхностного стока и повышение качества очистки.</p> | <p>Ограниченное применение.</p> |
| 2404137 | <p>Изобретение в области строительства, в сфере охраны окружающей среды. Ливневый сток из водосточного коллектора 1 подают в приемно-отстойную камеру 2. Через фильтрационную дамбу 3 сток поступает в секцию очистки 4, выполненную в виде мелководного биоплато с воздушно-водной растительностью. При паводке ливневый сток через выемку в боковой части секции очистки 4 подают в обводные каналы 9. Обводные каналы 9 выполнены с воздушно-водной растительностью и расположены между секцией очистки 4 и водным объектом 8. Часть стока через фильтрационную дамбу 5 поступает в секцию доочистки 6, выполненную в виде глубоководного бассейна с водной растительностью. Далее через фильтрационную дамбу 7 сток сбрасывают в водный объект 8.</p> | <p>Изобретение повышает эффективность очистки ливневого стока</p> | <p>Ограниченное применение.</p> |

Продолжение таблицы 1

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|---------|--|--|-----------------------------|
| 2372293 | <p>Изобретение может быть использовано для очистки ливневых стоков с дорожного покрытия моста от взвешенных частиц и нефтепродуктов. Ливневые сточные воды по лотку моста через приемную решетку 3 сливаются в приемный аккумулирующий резервуар 1. Более крупные частицы оседают в пескосборный бункер 4 и, накопившись, удаляются через скважину 10. Нефтепродукты скапливаются в камере 6 и удаляются через патрубок для отвода нефтепродуктов 11. Через люк 12 отделяются взвешенные частицы и нефтепродукты. На биоплато 9 попадает частично очищенная вода из резервуара 7 через гидрозатвор 8, а также избыток ливневого стока через переливной трубопровод 13. Изобретение позволяет уменьшать габариты установки, снизить ее материалоемкость, стоимость и эксплуатационные затраты при сохранении высокой эффективности очистки вод от взвешенных веществ и нефтепродуктов. 1 з.п. ф-лы, 2 ил.</p> | | Ограниченное применение. |
| 2293064 | <p>Изобретение относится к устройствам биологической очистки сточных вод и может быть использовано для отвода и очистки поверхностных стоков дождевых, талых и поливочных вод. Система очистки сточных вод содержит последовательно соединенные между собой водосточный коллектор, камеру отстойника и биоплато с высшей водной растительностью, в которое внесен ил. Биоценоз ила приспособлен для интенсивной очистки сточных вод и содержит микроорганизмы-деструкторы нефти и аэробные микроорганизмы. Стенки камеры отстойника и биоплато выполнены из коробчатых габионных конструкций, внешние грани которых образованы каменным материалом изверженных и/или метаморфических пород, а внутреннее пространство заполнено известняком.</p> | Способ позволяет повысить интенсивность очистки сточных вод. | Ограничение в пространстве. |

Продолжение таблицы 1

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|--------|---|--|------------------------------------|
| 149587 | <p>Биоплато с высшей водной растительностью для очистки сточных вод, содержащее стенки, выполненные из сетчатых коробчатых контейнеров, внешние грани которых образованы каменным материалом изверженных и/или метаморфических пород, причём биоплато выполнено с возможностью размещения микрофлоры и микроорганизмов, имеющих в своем составе штаммы бактерий псевдомонаса, родокков и дрожжей кандиды и других микроорганизмов-деструкторов нефтяных углеводородов, отличающееся тем, что контейнеры покрыты эластичным трикотажем переплетением ластик и заполнены резиновой крошкой размером 0,5-1,2 мкм</p> | <p>Контейнеры покрыты эластичным трикотажем переплетением ластик и заполнены резиновой крошкой</p> | <p>Ограничение в пространстве.</p> |
| 142511 | <p>Система отвода и очистки поверхностного стока, включающая гидроизолированные от окружающего грунта, последовательно сообщенные между собой водосточный коллектор, отстойную камеру, разделенную на две секции грубой и тонкой очистки соответственно, биологический пруд, состоящий из мелководного биоплато и глубоководного бассейна, расположенную за последним фильтровальную камеру, отделенную от него фильтрующей дамбой, и отводящий коллектор, снабженная дополнительными фильтровальными камерами, одна из которых размещена в отстойной камере между секциями грубой и тонкой очистки, а другая перед мелководным биоплато, причем дополнительные фильтровальные камеры выполнены из вертикальных стенок и уложенных послойно, сверху вниз фильтрующих материалов, с уменьшением коэффициента фильтрации каждого последующего слоя относительно предыдущего, при этом коэффициент фильтрации каждого слоя камеры не менее 1 м/сут., отличающаяся тем, что вертикальные стенки дополнительных фильтровальных камер выполнены из пластикового каркаса и обтянуты эластичным трубчатым трикотажным полотном переплетения фанг.</p> | <p>Вертикальные стенки дополнительных фильтровальных камер выполнены из пластикового каркаса и обтянуты эластичным трубчатым трикотажным полотном переплетения фанг.</p> | <p>Экономически затратно.</p> |

Продолжение таблицы 1

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|--------|---|---|--|
| 142482 | <p>Система очистки сточных вод, содержащая последовательно соединенные между собой водосточный коллектор, отстойную камеру и биоплато с высшей водной растительностью, стенки которых выполнены из конструкций в виде заполненных камнями контейнеров с каменным материалом изверженных и/или метаморфических пород, внутреннее пространство которых заполнено известняком, при этом в биоплато введены микрофлора и микроорганизмы, имеющие в своем составе штаммы бактерий псевдомонаса, родокков и дрожжей кандиды и других микроорганизмов-деструкторов нефтяных углеводородов, отличающаяся тем, что контейнеры выполнены из эластичного трубчатого трикотажного полотна переплетением перекидная платировка, с содержанием уточной нити.</p> | <p>Контейнеры выполнены из эластичного трубчатого трикотажного полотна переплетением перекидная платировка, с содержанием уточной нити.</p> | <p>Ограниченное применение.</p> |
| 92418 | <p>1. Биоинженерное сооружение для очистки сточных вод, представляющее собой русловоебиоплато с входом и выходом, имеющее трапецеидальное сечение, и с донным грунтом, содержащим осадочную опал-кристобалитовую породу Зикеевского месторождения Калужской области, на котором высажены водные растения, отличающееся тем, что глубинабиоплато составляет не менее 1 м, а донный грунт, уложенный на глиняный экран, состоит из корнеобитаемого слоя толщиной не менее 0,2 м следующего состава: 2/3 указанной опал-кристобалитовой породы и 1/3 дерново-подзолистой почвы и гравийно-песчаной смеси толщиной не менее 0,4 м.</p> <p>2. Сооружение по п.1, отличающееся тем, что водные растения расположены в следующем порядке от входа к выходу: тростник, рогоз, камыш озерный.</p> <p>3. Сооружение по п.1, отличающееся тем, что по откосам биоплато высажен аир болотный.</p> <p>4. Сооружение по п.1, отличающееся тем, что оно оснащено на входе сорбционным блоком, заполненным указанной опал-кристобалитовой породой.</p> <p>5. Сооружение по п.1, отличающееся тем, что оно оснащено на выходе фильтрационным блоком.</p> <p>6. Сооружение по п.5, отличающееся тем, что фильтрационный блок заполнен шунгитом.</p> | | <p>Ограниченное применение, экономически затратно.</p> |

Продолжение таблицы 1

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|------------|---|---|------------------------------------|
| 21296 | <p>Система отвода и очистки поверхностного стока, включающая гидроизолированные от окружающего грунта, последовательно сообщенные между собой водосточный коллектор, отстойную камеру, разделенную дамбой на две секции грубой и тонкой очистки соответственно, биологический пруд, состоящий из мелководного биоплата и глубоководного бассейна, расположенную за последним фильтровальную камеру, отделенную от него фильтрующей дамбой, и отводящий коллектор, отличающаяся тем, что она снабжена расположенной перед мелководным биоплатом дополнительной фильтрующей дамбой, причем контуры основной и дополнительной дамб выполнены вогнутыми в горизонтальной проекции относительно направления течения поверхностного стока, при этом дамбы и стенки глубоководного бассейна состоят из уложенных послойно фильтрующих материалов, а контур поверхности дамбы отстойной камеры выполнен выпуклым в горизонтальной проекции относительно направления течения поверхностного стока, причем контур стенки глубоководного бассейна в горизонтальной проекции имеет форму треугольника с вершиной, обращенной к мелководному биоплату, причем контур стенки последнего в горизонтальной проекции имеет форму окружности, а отстойная камера и глубоководный бассейн частично расположены в мелководном биоплате.</p> | <p>Контур стенки последнего в горизонтальной проекции имеет форму окружности, а отстойная камера и глубоководный бассейн частично расположены в мелководном биоплате.</p> | <p>Ограниченное применение.</p> |
| 10714 5 | <p>Установка очистки ливневых сточных вод с моста, содержащая приемный аккумулирующий резервуар, включающий решетку на входе ливневых вод, пескосборный бункер, имеющий патрубок для отвода взвешенных частиц, блок отделения взвешенных частиц и нефтепродуктов, состоящий из перегородок, меняющих направление воды, камеру для накопления нефтепродуктов, резервуар очищенной воды и гидрозатвор, отличающаяся тем, что имеет биоплато понтонного типа, обеспечивающее доочистку ливневого стока с моста от взвешенных веществ и нефтепродуктов на биоплато в период паводков и половодий без подтопления биоплата.</p> | <p>Обеспечивающее доочистку ливневого стока с моста от взвешенных веществ и нефтепродуктов на биоплато в период паводков и половодий без подтопления биоплата.</p> | <p>Ограничение в пространстве.</p> |

Продолжение таблицы 1

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|---------|--|---|------------------------------------|
| 2100292 | <p>Использование: биологическое обеззараживание, очистка и доочистка сточных вод сахарных заводов. Сущность изобретения: сточную воду подвергают обеззараживанию в биологических прудах путем внесения в нее зеленых, сине-зеленых и диатомовых микроводорослей в соотношении 1:1:1 и концентрации $4,99 \cdot 10^5$ кл/мл. Затем воду сбрасывают на биоплато, представляющее собой слабовыраженный по рельефу участок поверхности земли с высшей водной растительностью при густоте посадки 160 экз/м², скорости течения 0,01-0,003 м/с и высоте напуска стока 0,1- 0,2 м. Окончательно воду очищают на естественном болоте с высшей водной растительностью с густотой посадки 75 экз/м², скоростью течения 0,001 м/с и высотой напуска 0,45 м. 3 з.п. ф-лы, 6 табл.</p> | <p>Сточную воду подвергают обеззараживанию в биологических прудах путем внесения в нее зеленых, сине-зеленых и диатомовых микроводорослей</p> | <p>Ограниченное применение.</p> |
| 57273 | <p>Сооружение для биологической доочистки сточных вод, содержащее трубопровод впуска сточных вод, биоплато, трубопровод отвода воды в бассейн с нефилтующим дном, основание которого снабжено фильтрующей загрузкой, и трубопровод отвода очищенных сточных вод, отличающееся тем, что биоплато представляет собой выполненный в виде серпантина искусственный поверхностный ручей с прямыми, запрудами и обводной канавой, с посаженными между грядами ив по берегам ручья и в воду высшими болотными растениями, при этом распределение сточных вод от трубопровода впуска сточных вод на биоплато осуществляется через щели или отверстия трубы, затопленной на уровне щебеночной загрузки прямка ручья, а бассейн выложен камнем на высоте фильтрующей загрузки по сторонам впуска и выпуска сточных вод через щели или отверстия труб, соединенных с трубопроводами подачи воды в бассейн и отвода очищенных сточных вод из бассейна, причем трубопровод отвода очищенных сточных вод из бассейна размещен ниже трубопровода подачи воды в бассейн.</p> <p>2. Сооружение по п.1, отличающееся тем, что между грядами ив по берегам ручья посажены высшие болотные растения <i>E. Pratense</i> Rehrh., <i>D. Glomerata</i> L., <i>C. Palustre</i> L, а в воду посажены растения <i>C. Aquatilis</i> Wahlenb и <i>Caltha arctica</i> R.Br.Hult.</p> | <p>Трубопровод отвода воды в бассейн с нефилтующим дном, основание которого снабжено фильтрующей загрузкой, и трубопровод отвода очищенных сточных вод.</p> | <p>Ограничение в пространстве.</p> |

Продолжение таблицы 1

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|-------|---|---|---------------------------------|
| 49526 | <p>1. Система очистки сточных вод, содержащая последовательно соединенные между собой водосточный коллектор, отстойную камеру и биоплато с высшей водной растительностью, отличающаяся тем, что стенки отстойной камеры и биоплато выполнены из габионных конструкций в виде заполненных камнями сетчатых коробчатых контейнеров, внешние грани которых образованы каменным материалом изверженных и/или метаморфических пород, а внутреннее пространство заполнено известняком, при этом в биоплато введены микрофлора и микроорганизмы, имеющие в своем составе штаммы бактерий псевдомонаса, родокков и дрожжей кандиды и других микроорганизмов-деструкторов нефтяных углеводов.</p> <p>2. Система очистки сточных вод по п.1, отличающаяся тем, что использован ил, содержащий зооглеи и аэробные фракции микроорганизмов, в смеси с микроорганизмами-деструкторами нефти, биоценоз которого приспособлен для наиболее интенсивной очистки воды.</p> | <p>Стенки отстойной камеры и биоплато выполнены из габионных конструкций в виде заполненных камнями сетчатых коробчатых контейнеров, внешние грани которых образованы каменным материалом изверженных и/или метаморфических пород, а внутреннее пространство заполнено известняком, при этом в биоплато введены микрофлора и микроорганизмы, имеющие в своем составе штаммы бактерий псевдомонаса, родокков и дрожжей кандиды и других микроорганизмов-деструкторов нефтяных углеводов.</p> | <p>Ограниченное применение.</p> |

Продолжение таблицы 1

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|---------|---|---|---|
| 2010089 | <p>Использование: в средствах экологической защиты малых рек при их аварийном загрязнении, разрушающем сложившуюся экосистему. Сущность: ниша содержит искусственное русло, расположенное в пойме малой реки 1, сообщенное с руслом реки и выполненное в виде рукава 2 перехвата подземных вод. На выходе рукава в реку установлено сужение 3 с клапаном 5, блокирующим вход воды из реки в нишу и пропускающим воду из рукава в реку. В рукаве перед сужением установлено заборное устройство 7 насоса 9, приводимого гидравлическим двигателем 10, установленным в реке, а вход напорного трубопровода насоса размещен в начале рукава 2 с возможностью аэрирования перекачиваемой воды. Причем к рукаву примыкает зона пониженной глубины с участком биоплато 16 и участками 17 и 18, свободными от растительности и повышенного прогрева. 1 з. п. ф-лы, 3 ил.</p> | <p>Ниша содержит искусственное русло, расположенное в пойме малой реки, сообщенное с руслом реки и выполненное в виде рукава перехвата подземных вод.</p> | <p>Ограниченное применение в малой нише реки.</p> |