

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РГАУ – МСХА ИМЕНИ К.А. ТИМИРЯЗЕВА

Институт мелиорации, водного хозяйства
и строительства имени А.Н. Костякова

И.В. Глазунова, С.А. Соколова, Л.Д. Раткович

ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ БИОИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА ВОД

учебное пособие

В пособии рассматриваются подходы и методики расчетов биоинженерных сооружений, основанные на характеристиках объемов и качества очищаемых вод, ландшафтного расположения и конфигурации сооружений на местности и в акватории (при русловом биоплато). Рассматривается классификация биоинженерных сооружений по области применения и по гидравлическим особенностям, а также определены диапазоны и условия работы БИС. Рекомендованы и приведены методы и расчеты параметров БИС по формулам, а также автоматизированные в формате Excel и Python. Приводятся примеры расчетов чертежей БИС. В приложениях находятся необходимые справочные таблицы. Учебное пособие может быть использовано студентами, обучающимися по направлениям подготовки: 20.03.02 «Природообустройство и водопользование»; 05.03.06 «Экология и природопользование»; 35.03.11 «Гидромелиорация», для очного и заочного обучения.

Пособие состоит из двух частей. В первой части рассматриваются теоретические вопросы, во второй – приводится пример выполнения обосновывающих расчетов. Учебное пособие может быть рекомендовано обучающимся для выполнения практических работ, курсовой работы и при подготовке выпускной квалификационной работы.

ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ БИОИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА ВОД

Москва – 2024

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РГАУ – МСХА ИМЕНИ К.А. ТИМИРЯЗЕВА

Институт мелиорации, водного хозяйства
и строительства имени А.Н. Костякова

И.В. Глазунова, С.А. Соколова, Л.Д. Раткович

ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ БИОИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА ВОД

учебное пособие

Рекомендовано научно-методическим советом
по Природообустройству и водопользованию
для использования в учебном процессе при
подготовке бакалавров и магистров по направ-
лениям 20.03.02 и 20.04.02 «Природообустрой-
ство и водопользование»

Москва – 2024

УДК 631.6; 574.635
ББК 38.77
Г52

Рецензенты:

доктор технических наук, профессор Всероссийского научно-исследовательского института гидротехники и мелиорации им. А.Н. Костякова, научный руководитель по направлению мелиорация **Л.В. Кирейчева** кандидат технических наук, доцент кафедры экологии РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, институт мелиорации, водного хозяйства и строительства имени А.Н. Костякова **Н.В. Лагутина**

Г52 Глазунова И.В., Соколова С.А., Раткович Л.Д.

Технические решения при проектировании биоинженерных сооружений для улучшения качества вод: учебное пособие / И.В. Глазунова, С.А. Соколова, Л.Д. Раткович. – Курск: Изд-во ЗАО "Университетская книга", 2024. – 87 с.

**ISBN
DOI**

В пособии рассматриваются подходы и методики расчетов биоинженерных сооружений, основанные на характеристиках объемов и качества очищаемых вод, ландшафтного расположения и конфигурации сооружений на местности и в акватории (при русловом биоплато). Рассматривается классификация биоинженерных сооружений по области применения и по гидравлическим особенностям, а также определены диапазоны и условия работы БИС. Рекомендованы и приведены методы и расчеты параметров БИС по формулам, а также автоматизированные в формате Excel и Python. Приводятся примеры расчетов чертежей БИС. В приложениях находятся необходимые справочные таблицы. Учебное пособие может быть использовано студентами, обучающимися по направлениям подготовки: 20.03.02 «Природообустройство и водопользование»; 05.03.06 «Экология и природопользование»; 35.03.11 «Гидромелиорация», для очного и заочного обучения.

Пособие состоит из двух частей. В первой части рассматриваются теоретические вопросы, во второй – приводится пример выполнения обосновывающих расчетов. Учебное пособие может быть рекомендовано обучающимся для выполнения практических работ, курсовой работы и при подготовке выпускной квалификационной работы.

ISBN

УДК 631.6; 574.635
ББК 38.77

© Глазунова И.В., Соколова С.А., Раткович Л.Д., 2024
© ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, 2024

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ МЕТОДОЛОГИИ ПРИМЕНЕНИЯ БИОИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ	5
2. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА БИОИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ	24
3. ПРОЦЕССЫ ПОГЛОЩЕНИЯ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В БИОИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЯХ	28
4. ХАРАКТЕРИСТИКИ БИОИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ И ИХ ПАРАМЕТРЫ	37
4.1. Русловое биоплато	40
4.2. Инфильтрационное биоплато	41
4.3. Биоплато в виде интенсивно дренируемых площадок и каскада каналов биопрудов	44
4.4. Наплавные биоплато	49
5. ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ БИС И ПРИМЕРЫ ЦИФРОВЫХ РАСЧЕТОВ ..	54
5.1. Сооружения для очистки сточных вод с использованием ВВР	54
5.2. Устройство и эксплуатация сооружений	56
5.3. Расчет нагрузки на биоплато при очистке дренажного стока	60
5.4. Расчет биоинженерных сооружений с использованием цифровых технологий	62
6. ПРИМЕРЫ РАСЧЕТОВ И КОНСТРУИРОВАНИЯ БИОИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ	67
6.1. Интенсивно дренируемые площадки	68
6.2. Инфильтрационное биоплато	72
6.3. Каскад каналов биопрудов	75
ПРИЛОЖЕНИЯ	78
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	83

ВВЕДЕНИЕ

Цель работы: представление теоретического и практического курса по разработке технических решений при проектировании биоинженерных сооружений для улучшения качества вод в мелиоративной отрасли АПК.

В работе решаются задачи:

- 1) представлены общие вопросы методологии применения биоинженерных сооружений
- 2) рассмотрена ассимиляция техногенных загрязнений биоценозами высших водных растений;
- 3) рассмотрены основные виды биосооружений и принципы их расчетов;
- 4) представлены конструктивные схемы и опыт эксплуатации сооружений гидроботанической очистки;
- 5) приведены примеры расчетов и принципиальные схемы биоинженерных сооружений;
- 6) приведены требования к устройству и эксплуатации сооружений;
- 7) выполнены расчеты нагрузки на биоплато при очистке дренажного стока на мелиоративных системах;
- 8) представлены возможности компьютерных расчетов параметров Биоинженерных сооружений в формате Excel и Python;
- 9) приведены схемы и чертежи различных видов биоинженерных сооружений.
- 10) представлены справочные и нормативны материалы для расчетов параметров биоинженерных сооружений.

1. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ МЕТОДОЛОГИИ ПРИМЕНЕНИЯ БИОИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Одной из ключевых задач в реализации концепции устойчивого развития является замена традиционных технологий производства на безотходные, ресурсо- и энергосберегающие.

Природные воды Земли обладают способностью к самоочищению. В реках процесс самоочищения происходит на плесах и перекатах, где вода насыщается кислородом; в омутах, где вода отстаивается и осветляется; в устьевых и вдольбереговых зонах, заросших высшей водной растительностью (ВВР) – камышом, тростником, рогозом и т. п., очищающими воду от различных примесей. Периодическая промывка русла происходит во время паводков.

В последние годы в России и за рубежом проводятся работы по изучению возможности управляемого использования в водоохранных сооружениях природных механизмов самоочищения, в частности, сообществ высшей водной растительности (ВВР) [8,17,24]. Совместными усилиями ученых многих стран был разработан новый тип очистных сооружений дренажного стока для малых населенных мест, небольших предприятий, отдельно стоящих коттеджей, размещенных в сельской местности. В основе метода лежат экосистемные механизмы естественных водных объектов. В России названные очистные сооружения называют «биоплато» и «биоинженерные сооружения», в Германии – «ботанические площадки», в Великобритании — «тростниковое ложе». В научной литературе сооружения данного типа именуются «Constructed Wetlands» или «Artificial Wetlands».

Очистительная способность сооружений фитотехнологии не уступает по своей эффективности дорогостоящим традиционным очистным сооружениям. Многочисленными многолетними наблюдениями на действующих сооружениях в различных странах установлены высокие показатели качества очищенной воды:

Взвешенные вещества.....	90...95%
Органические вещества по БПК _{полн}	95...98%
Азот и фосфор.....	50...70%
Бактериологическое загрязнение	99...99,5%

Одновременно существенно повышается содержание кислорода за счет фотосинтетической аэрации воды. Довольно простые сооружения «биоплато» могут вернуть к жизни практически уничтоженные цивилизацией городские реки.

При очистке сточных вод чаще всего используют такие виды ВВР, как камыш, тростник озерный, рогоз узколистный и широколистный, рдест гребенчатый и курчавый, спироделла многокоренная, элодея, водный гиацинт (эйхорния), касатик желтый, сусак, стрелолист обычный, гречиха земноводная, резуха морская, уруть, хара, ирис и пр. Как показали исследования, корневая система рогоза имеет высокую аккумулирующую способность относительно тяжелых металлов. Концентрация металлов в корневой системе рогоза, который рос на берегах шламонакопителей электростанций, достигала: железа – 199,1 мг/кг, марганца – 159,5 мг/кг, также хорошо он поглощает цинк и медь. Известно, что камыш имеет высокие адаптивные свойства и способен прорасти в очень загрязненных промышленными сточными водами водоемах. Он способен удалять из воды ряд органических соединений, в том числе фенолы, анилины и прочие органические вещества. Биоплато с ВВР отличаются значительной окислительной способностью благодаря созданию биопленки гидробионтов (перифитона) на поверхности инертного субстрата и погруженной части корневищ и стеблей ВВР, находящихся в состоянии симбиотичного взаимодействия. Часть биоценоза микроорганизмов находится во взвешенном состоянии в виде хлопьев, а также образывает пласт естественных отложений – бентос, в котором проходит активный процесс анаэробного разложения органических загрязнений. Значительную роль в процессах доочистки выполняют сапрофитные бактерии, которые вместе с ВВР, успешно выполняют роль дезинфектантов за счет своих продуктов обмена, что в ряде случаев позволяет избежать использование сис-

тем хлорирования или озонирования воды. Накопление растениями биогенных элементов, увеличивается под действием света, зависит от pH воды, а также от видовых особенностей растений, густоты биомассы и ряда других факторов, а именно — температуры и кислородного режима. Очистные системы вторичной и третичной очистки бытовых сточных вод, основанные на использовании элодеи, пригодны для использования в умеренном климате, где могут круглый год удалять биогенные элементы из сточных вод.

Необходимость и принципиальную возможность управляемого использования очистительной способности высших водных растений отмечали еще советские ученые Францев А.В., Каминский В.С., Кроткевич П.Г., Мережко А.И., Окснюк О.П., Родзиллер И.Д. Во многих странах Америки довольно широко используются системы очистки шахтных вод на плантациях камыша и тростника. Описаны сооружения с камышовой растительностью для очистки хозяйственно-бытовых сточных вод в Нидерландах, Японии, Китае; для очистки загрязненного поверхностного стока в Норвегии, Австралии и в других странах. Стойкость камыша к действию больших концентраций загрязняющих веществ позволила довольно успешно использовать его для очистки сточных вод свиноводческих комплексов в Великобритании. Подобные сооружения построены и активно эксплуатируются для поселков с населением от 500 до 5000 человек во многих странах Европы и Америки. В Европе успешно функционирует уже более 15000 подобных очистных сооружений.

На совещании у Председателя Правительства Российской Федерации в городе Ростове-на-Дону (протокол от 15 июля 2008 года № ВП-П9-11) при рассмотрении вопросов повышения эффективности и обеспечения комплексного использования водных ресурсов в РФ принято решение о разработке Водной стратегии РФ на период до 2020 года, определяющей основные направления действий по совершенствованию системы управления в сфере использования, охраны водных объектов, развития и модернизации водохозяйственного комплекса РФ, с учетом интересов различных категорий водопользователей, в том числе водопользователей агропромышленного комплекса. По объему водопо-

ребления только мелиоративно-водохозяйственный комплекс АПК занимает третье место после промышленности и жилищно-коммунального хозяйства [1-3,13,19,21,25,28]. Мелиоративно-водохозяйственный комплекс России представлен 9,1 млн. га мелиорируемых земель, в том числе 4,3 млн. га орошаемых и 4,8 млн. га осушенных с общей балансовой стоимостью систем всех форм собственности 350 млрд. рублей.

Состояние систем водоотведения в АПК не соответствует современным требованиям. Централизованную канализацию имеют 3% сельских населенных пунктов. Системы удаления, обработки и использования животноводческих стоков нуждаются в восстановлении и технической модернизации. Значительная часть мелиоративных объектов нуждается в реконструкции и модернизации. Более 2 млн. га орошаемых и осушенных земель находятся в неудовлетворительном состоянии [9,10,15,16,26,27].

Состав мероприятий для решения стратегических задач:

- повышение качества очистки сточных вод на базе рационального и экономного использования воды;
- внедрение высокоэффективных и экологически чистых технологий очистки и обеззараживания воды;
- применение прогрессивных методов очистки, обработки и обеззараживания воды;
- создание замкнутых систем водопользования на основе технологии регулирования качества и внутрисистемного использования коллекторно-дренажных вод.

Опыт применения биоинженерных сооружений, накопленный во многих странах, показывает широкие возможности и высокую эффективность использования БИС для различных водохозяйственных целей, таких как: очистка и доочистка сточных вод различных участников водохозяйственного комплекса (коммунально-бытовые, животноводческие, промышленные возвратные воды, очистка дренажного стока), для водооподготовки воды перед подачей потребителю, для выращивания рыбы в рыбных прудовых хозяйствах, для очистки рас-

средоточенных стоков, организованных шоссейных и ливневых стоков, а также для восстановления самоочистительной способности природных водных объектов при восстановлении водных и прибрежных природных комплексов. Благодаря хорошей эффективности очистки от загрязнителей при сильной нагрузке, хорошей эффективности регулирования климата, улучшению экологического состояния, дешевизны эксплуатации и простоте ремонта, постепенно они начинают применяться в области очистки сточных вод, промышленных вод, хозяйственных и животноводческих стоков, загрязненных вод рек, шоссейного стока, для доочистки сточных вод из очистных сооружений и при восстановлении природной среды.

В ходе эволюции растительность выработала ряд защитных механизмов, и ее присутствие способствует разложению многих химических соединений. Выделяя органический кислород и аэрируя воду, ВВР способствует окислению органических веществ бактериями, одновременно используя полученные продукты распада для своей жизнедеятельности. В некоторых случаях степень удаления органических примесей с помощью макрофитов выше, чем при использовании промышленных методов очистки воды в аэротенках. Иногда удается уменьшить общую биогенную нагрузку на водоем до 47%. Например, в одной из лагун озера Бива (Япония) количество общего азота было снижено на 38,5%, общего фосфора – на 93% от их годового поступления с бытовыми сточными водами.

По функциональному назначению БИС делятся на:

- 1) сооружения, предназначенные для очистки сточных вод: ботанические площадки, биопруды с посадками ВВР, искусственно заболоченные участки и биоинженерные сооружения по регулированию качества воды;
- 2) сооружения для улучшения качества природных вод фитофильтрационные устройства и различные виды биоплато.

В большинстве случаев ВВР представлена тростником обыкновенным, рогозом узколистным и широколистным, камышом озерным. Ботанические площадки нашли применение в основном для очистки и доочистки сточных вод

горнодобывающей и химической промышленности. Степень очистки воды от соединений азота на таких площадках колеблется в пределах 2,5...97%, от тяжелых металлов – 14...90%, от нефти и нефтепродуктов может достигать почти 100%.

С 1967 г. фирма AKNA (**Италия**) применяет БИС для очистки производственных сточных вод предприятий специализирующихся на производстве красителей и других продуктов органической химии. После предварительной очистки сточные воды, подвергают контактированию с тростником, чемерицей, камышом, многолетним, плевелом и другими макрофитами. В результате очистки на 30% БПК и на 45% ХПК.

Наиболее распространены различные типы биоинженерных сооружений в **Германии** — как самостоятельные сооружения и как составная часть других очистных установок. В Германии БИС первый раз были применены в городе "Othfresen" в 1974 году. В посёлке "Kißleg" города "Schurtannen" в Германии, в котором проживает 13 семей, 70 человек, сточные воды очищаются с помощью 4-х БИС. Перед очисткой на БИС, воды проходят предварительную очистку на септиках. В жилом районе в городе "Luebeck" в Германии, сточные воды сначала поступают в первичный отстойник, чтобы устранить крупные твердые включения, жиры и масла, потом вода насосами подается в БИС для доочистки. Растительность в БИС - тростник, после прохождения БИС воды имеют малое содержание азота и фосфора, вода на выходе из БИС может поступать в пруд и использоваться для полива зеленых насаждений поселка.

Бактерицидные свойства камыша озерного послужили основанием для постановки опытов по использованию его для очистки питьевой воды. На основе опытов в г. Крефель создана первая установка по подготовке питьевой воды. Между первой ступенью очистки (отстаивание и коагулирование) и третьей (почвенное фильтрование) существуют пруды, засаженные камышом с водообменом в 12...14 сут. Подобные установки уже существуют в г. Берлине (р. Шпрее) и на водной станции угольного бассейна Северной Вестфалии (Гельсенкирхен).

В США по данным Ш.Рида, Р.Бастиана, В.Джевела (1979 г.) при использовании макрофитов удаляется 60...90 % взвешенных веществ, 40... 90% соединений азота, 10...50 % соединений фосфора, БПК₅ снижается на 70...96%. Для очистки 4,5 тыс. м³ воды использованы от 12 до 24 га природных заболоченных участков, 9,2 и 14,8 га участков, устроенных специально для улучшения качества воды. Исследование БИС в Америке началось в виде эксперимента в городе "Luisiana", "Wolverton" в 1993 году, в городе "Santee" в 1985 году и "Gersberg" в 1993 году и т.д. [29, 31, 33].

В России интересен опыт практического использования БИС в условиях Среднего Урала в виде проточного биологического пруда в качестве сооружения по доочистке биохимически очищенных городских сточных вод от взвешенных веществ, остаточных органических веществ и соединений азота. Городские сточные воды на 70% состояли из хозяйственно-бытовых и на 30% из промышленных сточных вод. Основные параметры пруда: площадь 125 га, длина 2300 м, ширина 540 м, средняя глубина 2,3 м, объем 2,87 млн м³, скорость течения воды 0,001...0,002 м/с, продолжительность пребывания воды в пруду 10...15 сут, нагрузка по органическим веществам, выраженная величиной БПК₅, около 3 мг/га в 1 сут. Температура воды летом +18...20°C, зимой +0,8...1,5. Содержание взвешенных и легко окисляемых органических веществ, выраженных величиной БПК₅, снижалось на 50%. Характерно, что даже в январе и феврале величина БПК₅ выходящей воды не превышала 3 мг/л.

При фильтрации грязной воды через заросли макрофитов, растущих по водоотводящим каналам на шахтах Подмосковского угольного бассейна, выходящая вода полностью очищалась от взвешенных веществ и бактериальной загрязненности.

Заросли макрофитов включали растения различных экологических групп: рогоз узколистный, осоку, хвощ болотный, частуху подорожниковую, череду трехраздельную, калужницу болотную, водокрас обыкновенный, ряски, элодею

канадскую, что способствовало очищению воды не только летом, но и зимой за счет жизнеспособности прикрепленных и укоренившихся растений.

Водоохранный комплекс, состоящий из двухкаскадной системы специальных прудов - отстойника-деструктора и стабилизатора, разработан на БСК-4 (IV очередь Большого Ставропольского канала) в пойме реки Мокрая Буйвола. Проектом предусмотрено строительство семи комплексов с биологической очисткой дренажных вод с целью их использования для орошения и защиты реки Кума от загрязнения.

С использованием перифитона разработан биоассимилятор, представляющий систему лотков на сбросном коллекторе. Биоассимилятор был внедрен на IV очереди Большого Ставропольского канала. Разработанные конструкции не требуют дорогостоящих материалов, и для эксплуатации не требуется энергия.

В России в последнее десятилетие получили развитие габионные очистные фильтрующие сооружения, создаваемые НПО «Эколандшафт» для очистки дождевых, талых и моечных сточных вод, поступающих с дорожного полотна. В 1997–1998 гг. при реконструкции Московской кольцевой автодороги была создана система отвода и очистки сточных вод с автодорожного полотна для защиты практически всех пересекаемых кольцевой магистралью водных объектов.

В дальнейшем габионные очистные фильтрующие сооружения были построены во многих местах московского региона: на Ленинградском, Киевском, Осташковском шоссе, при сооружении третьего транспортного кольца г. Москвы на Боровском и Киевском шоссе, пруды с культурой эйхорнии применяются для очистки стока снегоплавильных заводов в г. Москве.

Различные виды биоплато были исследованы в Институте гидробиологии АН УССР и ВНИИВО в 1975–85 гг. и реализованы при строительстве канала Днепр–Донбасс. Испытание инфильтрационного биоплато проведено на опытном полигоне в районе Орельковского водохранилища (канал Днепр - Донбасс) для очистки коллекторно-дренажных вод и поверхностного стока, снижение

азота по аммиаку составило 80...95 %, по нитратам – 85...97 %. Исследования показали, что за счет инфильтрации через грунты степень очистки повышалась на 20% по сравнению с ботаническими площадками, береговыми и русловыми биоплато.

В Китае исследование БИС началось в период 7-ого пятилетнего плана (1986-1990). В городе Тяньцзинь построили первое БИС в 1987 году (60000 м^3 , $1400 \text{ м}^3/\text{сут}$, растительность - тростник); В Пекине построили БИС для очистки сточных вод из города (10000 м^3 , $500 \text{ м}^3/\text{сут}$); и в городе Шэньчжэнь построили БИС для очистки воды из поселка населением 7000 человек в 1990 году (8400 м^2 , $3100 \text{ м}^3/\text{сут}$). Все сооружения показали хорошую эффективность.

Обычно слабо загрязненная вода включает воды, выходящие из очистных сооружений. Это вода соответствует качеству между первой нормой (А) и третьей нормой.

Таблица 1.1 – Норматив сброса допустимой концентрации загрязненных вод, мг/л (нормативы Китая)

№	Загрязняющие вещества	1 норм.		2 норм.	3 норм.
		Норма А	Норма В		
1	БПК	50	60	100	120
2	ХПК	10	20	30	60
3	Взвешенные вещества	10	20	30	50
4	Животные и растительные масла	1	3	5	20
5	Нефть	1	3	5	15
6	Анионные ПАВ	0,5	1	2	5
7	Общий азот	15	20	-	-
8	NH_4	5(8)	8(15)	25(30)	-
9	Общий фосфор	0,5	1	3	5
10	Цвет	30	30	40	50
11	pH	6-9	-	-	-
12	Количество кишечных бактерий, шт./л	10^3	10^4	10^4	-

Поверхностные воды, стекающие в озера и реки с территории и т.д. Иными словами, хотя сбросы воды из нескольких очистных станций уже достигли нормы сброса, эти воды для озер и рек ещё являются грязными водами, нагрузка на реку превышает способность самоочищения реки.

В саду "Тун Цзянь" провинции Цзянсу, сточные воды собираются сортировочными подземными трубчатыми сетями, осаждаются в первичном отстойнике, подаются насосами, равномерно подаются на поверхность БИС, инфильтруются под действием силы тяжести, после прохождения через основание сооружения и ВВР, вытекают через дренажные трубы, илы, которые после обработку выпаривают и используются повторно (рис. 1.1).



Рисунок 1.1 – Технологическая схема работы БИС

В городе Лаохэ есть предприятие переработки нефти, в загрязненной воде ХПК составляет 30000 мг/л, биоразлагаемость очень слабая, эти загрязненные воды проходят через жироседелитель, выполняется флотация, и затем они подаются в анаэробные пруды, чтобы изменить величину ХПК в загрязненных водах. Потом они подаются в зимние накопительные пруды, в которых живут водоросли, кроме того, эти пруды могут решать проблемы очистки, в периоды, когда БИС не работает. После прудов вода поступает в 2 БИС, каждый БИС имеет 8 рядов тростниковых посадок, время пребывания воды 5,5...11 сут, эффективность удаления нефти больше 80%, а эффективность снижения ХПК больше 70%, количество воды на выходе удовлетворяет 2-му нормативу сброса (КНР).

БИС в жилом районе "Восточное побережье" в городе Шэньчжэнь в Китае, для охраны окружающей среды и экономии водных ресурсов, сточные во-

ды после очистки, поступают в искусственные озера или для озеленения после прохождения через БИС. Весь процесс очистки производится без применения насосов и других энергетических устройств, система экономичная, поэтому работает с 2003-го года до настоящего времени (рис. 1.2).



Рисунок 1.2 – Вид жилого района (полив зеленых насаждений производится сточными водами, прошедшими доочистку на БИС)

В провинции Юньнань построено БИС для очистки сточных вод завода переработки резины. В загрязненной воде есть частицы резины, углеводы, жиры, растительной белок, в процессе производства используется аммиак, муравьиная кислота. Для гарантии эффективности очистки, загрязненные воды сначала проходят через отстойники.

После этого загрязненные воды подают в канал, в котором растут ВВР, время пребывания в канале 2,5...3,8 сут, время прохождения через общую систему очистки 3,6...5,5 сут. Качество воды на выходе удовлетворяет 2-му нормативу сброса, эффективность по ХПК – 97,4...98,8%, по БПК₅ – 97,5...98,8%, по NH₄ – 63,9...88,8%.

Эффективность БИС для очистки загрязненных вод бумажных комбинатов тоже очень высокая, эффективность по ХПК 96,6%, БПК₅ 96,4%, по взвешенным веществам 77,7%.

Комбинированные БИС применяются в области рыбного прудового хозяйства. Система циркуляционная включает в свой состав БИС, рыбные пруды, подающий канал и отводную трубу. БИС, находящееся рядом с прудом, распо-

ложено в 2 ряда: в первой секции каждого ряда вода проходит через ВВР и далее идет инфильтрация воды через грунт основания, во второй секции, вода движется свободно (гравитационное движение), толщина основания 1-ой секции 80 см, толщина основания 2-й секции 70 см. Очистка проходит в 4 этапа. Каждый день вода заменяется 2...4 раза, и время пребывания в БИС загрязненных вод составляет больше 8 часов. В канале, подающем очищенную воду из БИС в пруд дно выкладывают булыжником, и увеличивают аэрацию. Эта система имеет значительную эффективность, вода используется повторно, что обеспечивает экономию воды и сохранение качества водных ресурсов.

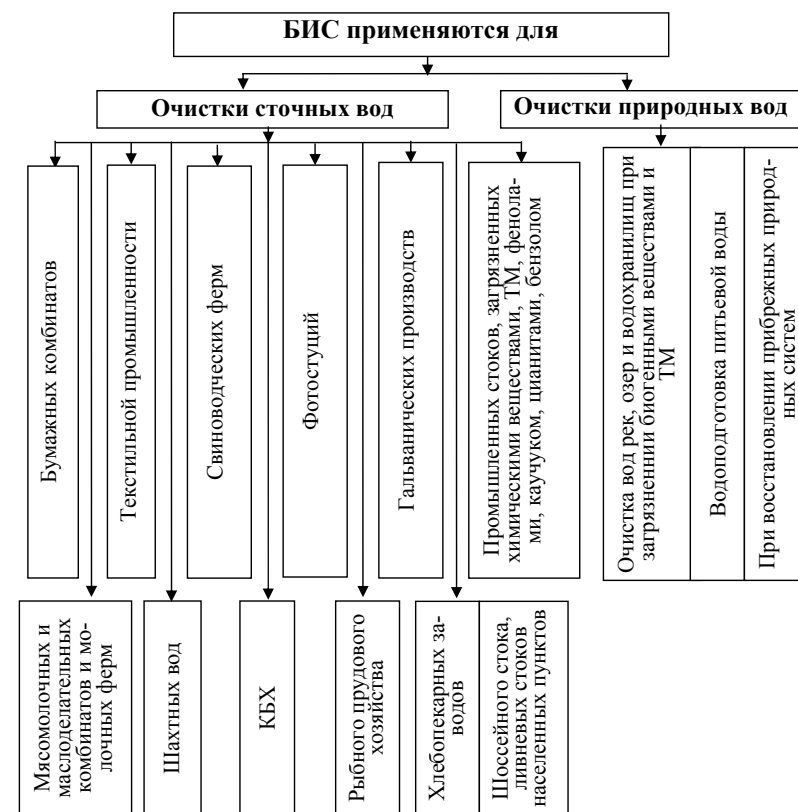


Рисунок 1.3 – Основные направления применения БИС

БИС имеют широкие перспективы применения в мире для очистки от азота, фосфора, по ХПК, от взвешенных веществ, или при экологических восстановлениях прибрежных и водных экосистем [5,8,17,18,20].

Для улучшения и интенсификации естественных очистных свойств ВВР и сопутствующих ей организмов, а также комбинирования механической и биологической очистки сточных вод создаются различные конструкции искусственных биоинженерных водоохраных сооружений, где поток воды фильтруется как в горизонтальной, так и вертикальной плоскости.

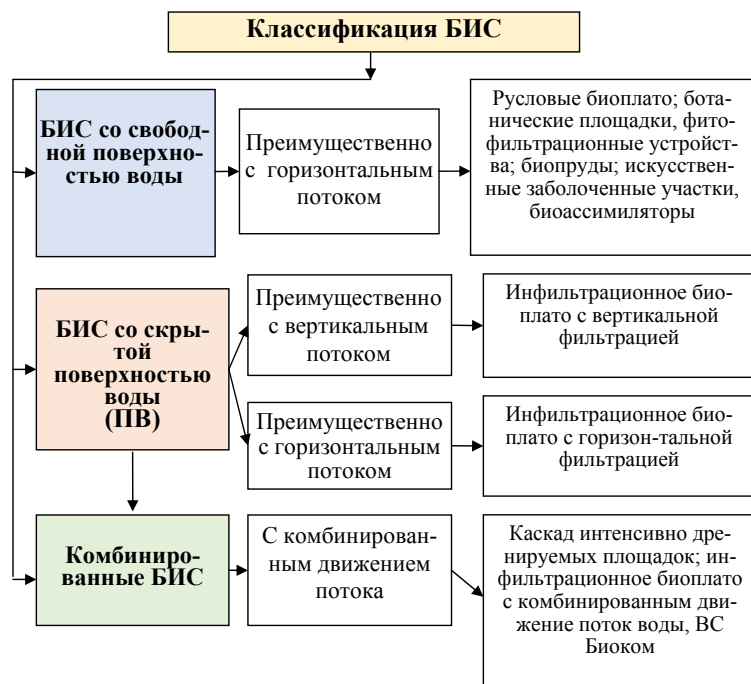


Рисунок 1.4 – Классификация БИС по конструктивным особенностям

ВВР занимают 100% акватории сооружений и представлены тростником обыкновенным, рогозом узколистным, камышом озерным. Известны и другие комбинации основных видов ВВР. Так, технология снижения содержания СПАВ в воде основана на совместном использовании погруженной (элодея ка-

надская) и воздушно-водной (рогоз узколистный) растительности. Для таких сооружений получено снижение концентраций аммонийного азота на 80...92%, азота нитритов на 94...99%, азота нитратов на 60...96%, фосфатов на 96...99%, органических веществ на 40...80%, взвешенных веществ на 88...97%. Улучшались такие показатели качества воды, как цветность и pH.

1) БИС со свободной поверхностью воды наиболее широко применяются в мире, они имеют глинистый или какой-либо другой непроницаемый слой в основании, для борьбы с фильтрацией и предотвращения попадания загрязняющих веществ в подземные воды.

Особенности:

- а) небольшой срок строительства;
- б) экономичность;
- в) схожесть с естественным ландшафтом;
- г) недостаточная эффективность очистки по азоту, фосфору и органическим веществам;
- д) опасность контакта со сточными водами в сооружении.

2) БИС со скрытой поверхностью воды. В основании находятся многопористые среды из песка, гравия или скальных пород, уровень воды поддерживается ниже поверхности земли, фильтрационный поток направлен горизонтально и проходит через корнеобитаемую зону.

Такие БИС можно применять для очистки бытовых, городских, промышленных, хозяйственных сточных вод и т.д.

Особенности:

- а) загрязняющее вещество меньше влияет на окружающие среды;
- б) занимает меньшую территорию;
- в) большая эффективность очистки;
- с) сложно регулировать;
- г) недостаточная эффективность очистки для азота и фосфора чем БИС с вертикальным течением.

В сооружение грунт находится в ненасыщенном состоянии, на поверхности земли есть слой воды, вода вертикально инфильтруется с поверхности в низ.

Такие БИС занимают площадь в среднем в 3 раза меньше, чем БИС с горизонтальным потоком.

Отрицательные свойства:

- а) более эффективная очистка по азоту, фосфору, но недостаточная очистка для органических веществ;
- б) загрязняет окружающую среду летом;
- в) сложно регулировать;
- г) более высокие требования при строительстве.

3) Комбинированные БИС

Такие БИС состоят из двух секций, которые соединяются на дне, загрязненные воды в первой секции двигаются в вертикальном направлении, затем перетекают горизонтально по низу сооружения из одной секции в другую, во второй секции поднимаются вверх, и вытекают из сооружения. Имеется возможность использования разных видов растений, удлиняется время контакта и путь фильтрации воды, что увеличивает эффективность удаления загрязненных веществ. Такие БИС обычно эксплуатируются непрерывно в течение года и имеют высокую эффективность.

Основные недостатки водоохраных сооружений, использующих очистные свойства ВВР - сезонность функционирования и необходимость уборки значительного объема растительного опада, который не всегда экологически безопасен. Например, растения, произрастающие на осадке, образовавшемся при смыве с полотна автодорог, как и сам осадок, имеют высокий класс токсичности, и их утилизация требует применения специальных технологий. Несмотря на имеющийся опыт получения из ВВР зеленой массы, сена, силоса, травяной муки и гранул, а также выращивания на мелководях риса и разведения рыб, широкой поддержки эти направления не получили ввиду сложности и низкой эффективности при выполнении широкомасштабных работ.

Таблица 1.2 – Условия применения БИС и основные эксплуатационные характеристики

Параметры	Характеристики
1. Условия применения	
1.1.Рекомендуемые грунты	На слабопроницаемых грунтах при устройстве сооружения в средне и сильнопроницаемых грунтах необходимо предусматривать защиту подземных вод от загрязнения (экраны, водонепроницаемые пленки в основании сооружения)
1.2.Уклоны местности	Для многосекционных сооружений рекомендуемые уклоны 0.04 ... 0.08
1.3.Глубина залегания УГВ	более 5 м
2. Эксплуатационные характеристики	
2.1. Продолжительность периода работы	Определяется периодом года со среднесуточными температурами более (+5 ... +7) °C
2.2. Оптимальная гидравлическая нагрузка	(0.5 ... 0.7) м ³ /м ² -сут
2.3. Скорость движения воды в сооружении	(0.1 ... 0.3) см/с (86.4 ... 259.2) м/сут
2.3. Рекомендуемая температура воды и почвы	летом +18.....+20°C (но не более +40....+50°C); зимой +0.8....+1.5°C
2.4. Режим движения воды	проточный
2.5. Толщина грунтового фильтра в основании	не менее 0.1 м
2.6. Режим наносов	при слое наносов толщиной более 0.1 м необходима очистка от ила
2.7. ширина по дну	задается размерами рабочих органов техники применяемой при строительстве
2.8. глубина воды	определяется в соответствии с требованиями ВВР
2.9. заложение откосов	1:0.25 ... 1:3
2.10. вынос загрязняющих веществ	фитомассой ВВР
- азот	668 кг с 1 га
-фосфор	278 кг с 1 га
-пестициды	225 мг/л
-тяжелые металлы	80.5 т/га
б) Mn	15.6 кг/га
в) Zn	0.6 кг/га
г) Co	0.024 кг/га
д) Cu	0.36 кг/га
2.11. Рекомендуемые уклоны сооружения	0.005 ... 0.02
2.12.Площадь акватории покрываемая растениями	10...90% в зависимости от типа сооружения

В РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева разработана программа подбора основных параметров биоинженерных сооружений для очистки дренажного стока для его последующего повторного использования [4, 20]. Программа реализована для ПК на языке EXCEL "CW" (БИС). Программа предназначена для

расчета параметров биоинженерных сооружений в составе схем КИОВО (комплексное использование и охрана водных объектов). Программа позволяет осуществлять подбор основных параметров БИС при различных концентрациях загрязняющих веществ на входе в сооружение, оценивать площади землеотвода, объемы земляных работ и расходы материалов.

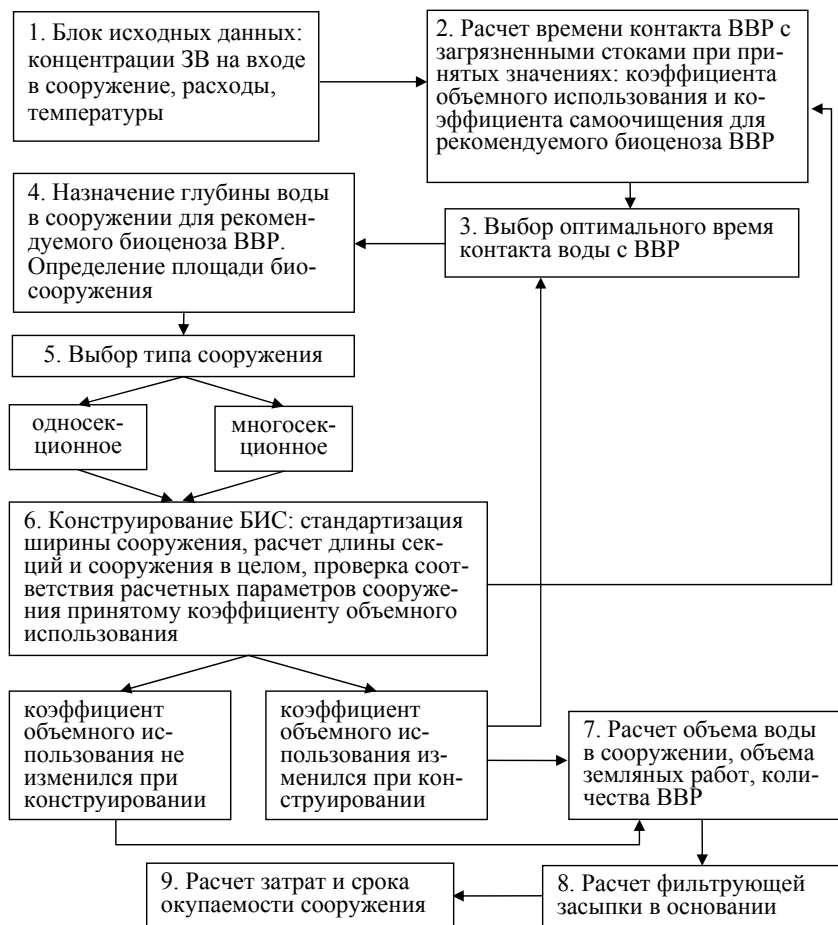


Рисунок 1.5 – Блок-схема расчета параметров БИС

По многочисленным литературным источникам, из опыта применения БИС составлены обобщенные таблицы, характеризующие эффективности при-

менения БИС, при очистке сточных вод разных категорий и при очистке природных речных и озерных вод (табл. 1.3).

Таблица 1.3 – Эффективность применения БИС

Применение БИС для очистки	Возможность сброса в водный объект, Э, %					
	по фосфору Р		по азоту		по ХПК	
1. сточных вод города	+	88	+	94	+	82
2. сточных вод ПГТ	+	99	+	63	+	80
3. сточных вод СКБХ	+	91	нд	нд	нд	нд
4. дренажного стока с орошаемых земель	+	28...87	+	93	+	94
5. рыбного прудового хозяйства	+	80	+	55	нд	97
6. речного стока при эвтрофикации	+	68,8	+	50	+	56
7. озер	+	96	+	64	нд	нд
8. сточных вод завода переработки резины	нд	нд	+	83	+	36
9. нефтеперерабатывающего завода	нд	нд	нд	нд	-	98
10. животноводческих стоков	нд	нд	нд	нд	-	98

*ПРИМЕЧАНИЕ: нд – нет данных, Э – эффективность очистки.

В большинстве случаев, эффективность БИС оказалась достаточной для очистки сточных и природных вод до нормативов качества вод, допускающих сброс её непосредственно в водные объекты.

Недостаточную эффективность БИС показали при очистке животноводческих стоков без предварительной их подготовки по азоту, при очистке нефтеперерабатывающего завода без предварительной их подготовки по ХПК и БПК, при очистке животноводческих стоков без предварительной подготовки по ХПК и БПК, при очистке стоков бумажных фабрик по взвешенным веществам.

Опыт эксплуатации действующих биоплато и наблюдения за природными зарослями высших водных растений показывают, что их экосистема является сбалансированной по фитомассе и не нуждается в искусственной регуляции. Иначе обстоит дело в случае использования биоплато для промышленных предприятий, сточные воды которых содержат тяжелые металлы, токсины. В

этом случае опасность вторичного загрязнения воды существует, и эксплуатация биоплато существенно усложняется.

Поэтому предпочтительной областью применения фитотехнологий являются небольшие поселки, отдельно стоящие коттеджи, кемпинги и гостиницы, торговые центры, размещенные в сельской местности или вдоль автомобильных трасс, очистка дренажного стока и подобные им комплексы.

2. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА БИОИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Биоинженерное сооружение – гидротехническое сооружение, использующее естественные свойства водной растительности, бактериальных поселений зарослей, планктонных водорослей, способных разлагать, поглощать и преобразовывать органические и неорганические загрязнители (соли тяжелых металлов, пестициды), обеспечивая доочистку воды

Биоинженерные сооружения рекомендуются к использованию в составе инженерно-технических и природоохранных мероприятий по охране поверхностных вод. Биосооружения направлены на предотвращение отрицательного влияния на водоприемники сброса поверхностного и дренажного стока. Состав сооружений определяется результатами прогнозной оценки объемов и качества поверхностного и дренажного стока в соответствии с требованиями «Правил охраны поверхностных вод».

Расчет объемов паводкового и ливневого поверхностного стока проводится по «Методике расчета характеристик ливневого и паводкового стока различной обеспеченности с малых водосборов» Могут использоваться и другие методики, принятые в конкретных регионах, а также данные, полученные на системах-аналогах. Объем дренажного стока определяется согласно СП 100.13330.2016 [22].

Качество поверхностного и дренажного стока определяется прогнозными расчетами выноса веществ с ОССВ в соответствии с Пособием к СП 100.13330.2016 «Определение расчетных концентраций минеральных, органических веществ и пестицидов в дренажном и поверхностном стоке с мелиорируемых земель» и ВСН 33-2.2-03-86 «Мелиоративные системы и сооружения» [3, 22]. В расчетах коэффициент, характеризующий остаточное количество подвижных форм минерального азота от нормы внесения органических удобрений, следует изменить с 0,002 NO₂ на 0,05 NO₂ для дренажного стока на 0,03NO₂ для поверхностного. На полях, занятых многолетними травами, вышеуказанный коэффициент при расчетах поверхностного стока не меняется.

Если основные расчетные параметры качества воды ливневого или паводкового поверхностного и дренажного стока показали непригодность для сброса в водоприемник, необходимо обеспечить сбор, аккумулирование в накопителях и доочистку загрязненного стока на сооружениях почвенно-биологической очистки (буферных площадках, биологических прудах, ботанических площадках, биоплато с высшими водными растениями, системе полива по склону, полях фильтрации) [12,24,26,28,30,32]. Схема оросительной системы с применением биоинженерных сооружений представлена на рисунке 2.1.

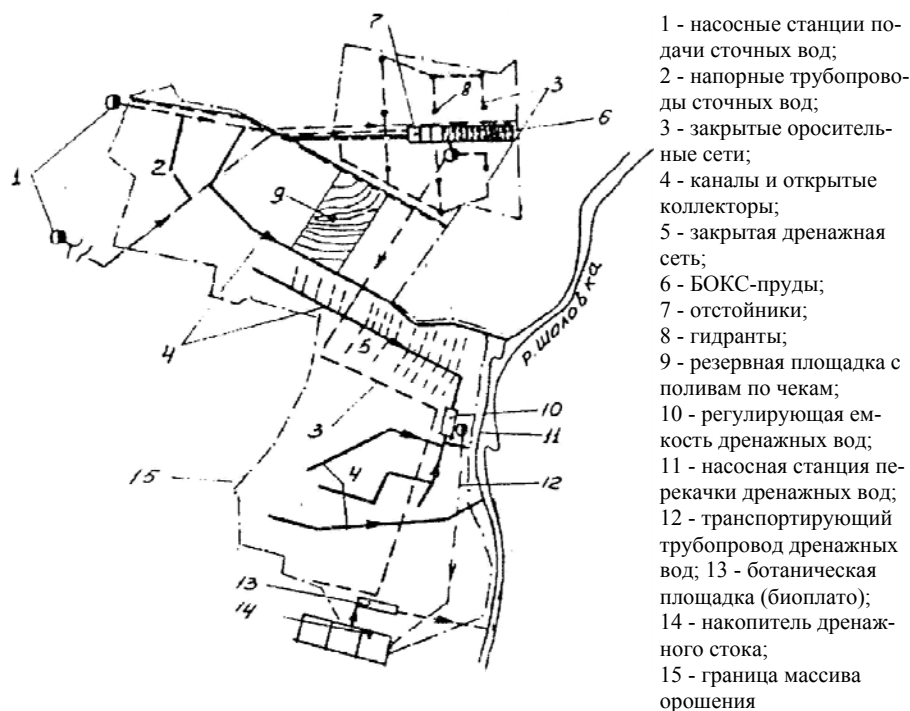


Рисунок 2.1 – Схема оросительной системы с применением биоинженерных сооружений

Для перехвата поверхностного стока и направления его в накопители или на доочистку используются валики, которые устанавливаются:

- по нижней границе полей с поверхностными способами полива;

- на дренированных системах – на нижней границе только тех участков массива, где прогнозируется загрязнение поверхностного стока;
- на дренированных системах с открытой проводящей сетью – вдоль каналов по нижней границе полей севооборота.

Концентрацию загрязняющих веществ в сбросных водах весеннего половодья определяют на спаде весеннего половодья при расходах 10%-ной обеспеченности.

Объем накопителя поверхностного и дренажного стока определяется водохозяйственными расчетами с учетом объема весеннего половодья, объема загрязняющего стока, количества осадков, распределения ливневого стока по месяцам. Расчет проводится по месяцам 5, 50,75%-ной обеспеченности [14, 23].

Для водооборотных систем объем аккумулированной воды во время вегетационных поливов при низкой водообеспеченности превышает потребности в орошении.

Избыток воды может сбрасываться в водоприемник в весенний период.

Возможные объемы сработки рассчитываются по формуле:

$$Q_{сбр.Р\%} = \frac{Q_{Р\%} \cdot (ПДК - C_{Р\%})}{C_{нак.Р\%} - ПДК}, \text{ м}^3/\text{с} \quad (1)$$

где $Q_{сбр.Р\%}$ – максимальный возможный расход сброса в год Р% обеспеченности;

$Q_{Р\%}$ – расход в водоприемнике Р% обеспеченности;

ПДК – предельно-допустимая концентрация в водоприемнике лимитирующего ингредиента, мг/л;

$C_{нак.Р\%}$ – концентрация лимитирующего ингредиента в накопителе, мг/л;

$C_{Р\%}$ – концентрация лимитирующего вещества в водоприемнике, мг/л.

Расчет ведется по ряду лет не более 25, за отрезок времени, не превышающий декады.

Буферные площадки – предназначены для задержания и доочистки поверхностного стока с территории земельных полей орошения. Размещают

площадки по низовым краям поливных участков полей севооборота. В зависимости от уклона поверхности и допустимой глубины наполнения буферные площадки устанавливаются одноярусными при уклонах от 0,005 до 0,01, многоярусными при уклонах более 0,01 или в виде прудов-ложбин при уклонах не менее 0,008. Максимальная глубина наполнения буферных площадок не должна превышать 0,6...0,8 м для зоны избыточного увлажнения и 0,7...1,2 м для зон достаточного увлажнения. Продолжительность затопления должна соответствовать срокам выдерживания затопления выращиваемыми культурами в зависимости от периодов вегетации. Объем буферных площадок должен рассчитываться на 2-х часовое отстаивание паводкового весеннего стока 5%-ной обеспеченности [23].

Буферные площадки и валики не предусматриваются, если весь поверхностный сток будет поступать по водоотводящей сети в пруды-накопители или на резервные территории [12].

Очистка дренажного и поверхностного стока во влажные годы, когда ограничено использование воды на орошение, может осуществляться на биологических сооружениях.

3. ПРОЦЕССЫ ПОГЛОЩЕНИЯ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В БИОИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЯХ

Фильтрация. Макрофиты благодаря своим морфологическим (строение стебля, расположение органов) и экологическим особенностям (плотность зарослей и др.) служат барьером при поступлении в водоем рассеянных загрязнений (Приложение 1). Оседанию способствует слизь, имеющаяся на поверхности растений, а также замедленное течение жидкости в зонах зарастания. Органические соединения задерживаются на макрофитах благодаря образованию органоминеральных скоплений.

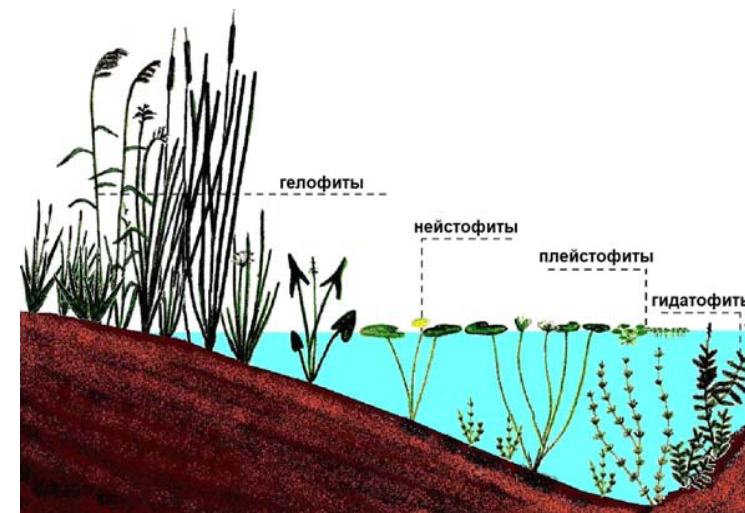


Рисунок 3.1 – Примеры макрофитов

Экспериментальные исследования показали, что отношение массы взвешенных веществ (по сухому веществу), осевших на растениях, к массе последних специфично для каждого вида. Причем эта величина достаточно постоянна. Наибольшее количество адсорбированной взвеси обнаружено на листьях урути колосистой, наименьшее – на листостебельном мхе. Это различие объясняется морфологическими особенностями растений – формой и площадью листьев. Так, листья мха – мелкие, целостные, заостренные, а урути колосистой – гребенчатые, перисто-разделенные, ослизненные, с волосками, стебель длиной до

30...150 см. Следовательно, чем больше площадь поверхности растения и его озлищенность, тем эффективнее его роль в очистке воды от взвешенных веществ.

Результат фильтрации – увеличение прозрачности воды. Именно это явление и было замечено при фильтрации грязной воды через заросли макрофитов, растущих по водоотводящим каналам на шахтах Подмосковного угольного бассейна. Выходящая вода полностью очищается от взвешенных веществ и бактериальной загрязненности. Заросли макрофитов включали растения различных экологических групп: рогоз узколистый, осоку, хвощ болотный, частуху подорожниковую, череду трехраздельную, калужницу болотную, водокрас обыкновенный, ряски, элодею канадскую, что способствовало очищению воды не только летом, но и зимой за счет жизнеспособности прикрепленных и укоренившихся растений. Летом почти полная очистка от взвешенных веществ, нефти и микроорганизмов происходила через 2...4 ч фильтрации, а зимой – через 4...6 ч.

Исследователи сделали вывод, что при фильтрации через (заросли растений) происходит механическая, биологическая, физико-химическая очистка сточной воды, и предложили дополнять очистные сооружения ботаническими площадками, представляющими собой ряд параллельных канав, засаженных водной и земноводной растительностью; их общая длина 600... 800 м, скорость течения в них 10...20 м/ч.

Поглощение и накопление минеральных и органических веществ.

Высшая водная растительность в процессах фотосинтезной реакции играет не меньшую, а в отдельных случаях значительно большую роль, чем фитопланктон, так как поглощает из воды биогенные и минеральные вещества (Приложение 5).

Особое место среди макрофитов, извлекающих различные вещества из природных и сточных вод, занимают полупогруженные водные растения: тростник обыкновенный, камыш озерный и рогоз узколистый. Сравнительные

данные по накоплению водными растениями микроэлементов представлены в Приложении 6.

Камыш озерный, имеющий цилиндрические, почти безлистные стебли высотой до 2,5 м, с большой эффективностью используется для доочистки биохимически очищенных стоков. На 1 кг сухой массы камыш способен накапливать (г): Ca – 3,95; K – 10,3; Na – 6,3; Si – 12,6; Zn – 50; Mn – 1200; B – 14,6. Способность к аккумулярованию этих веществ в значительной степени зависит от вида субстрата, в котором растение находится, глубины слоя и концентрации потребляемых элементов. Так, потребление марганца камышом озерным в олиготрофном озере (бедном питательными веществами) в 10 раз ниже, чем в водоеме, богатом микроэлементами.

О высокой степени адаптации тростника к неблагоприятным условиям существования свидетельствует его способность произрастать в воде некоторых соленых лиманов, озер, по берегам морей, вблизи серных источников, а также в сильнозагрязненных промышленными стоками водоемах и шламонакопителях.

Тростник способен поглощать из воды и почвы значительное количество питательных, балластных и токсических веществ (Приложение 7) и таким образом изменять химический состав воды в водоеме, где он растет.

В больших количествах извлекаются калий, натрий, кальций, магний и кремний, присутствующие в сточных водах целлюлозно-бумажной промышленности и образующие легкорастворимые соединения, от которых невозможно или трудно освободиться. В несколько меньших количествах извлекается сера, которая всегда присутствует в сточной воде целлюлозных заводов в виде сераорганических, минеральных и дурно пахнущих соединений, а также минеральный азот.

Исследовались также поглотительная способность высших водных растений по отношению к экзогенным органическим веществам (яблочная, фумаровая, лимонная кислоты, метионин, триптофан, аланин). Предполагается, что поглощенные аминокислоты используются как источник азота в метаболизме рас-

тений. Корни растений обладают большой поглотительной способностью по отношению к органическим веществам.

Изучение поглощения ДДТ и севина показало, что эти пестициды интенсивно накапливаются в корнях водных растений (Приложение 4). Установлен ряд, по которому располагаются органы растений по убывающим концентрациям поглощенных пестицидов: водные корни > почвенные корни > стебли > листья.

Анализ результатов проведенных исследований привел к предположению об идентичности механизма поглощения растениями токсикантов и метаболитов, а также о включении последних в процессы метаболизма растительного организма.

Высшие водные растения способны аккумулировать радиоактивные изотопы цезия, стронция и кобальта. Интенсивность поглощения ими последнего намного выше, чем активным илом.

По интенсивности поглощения радиоактивных элементов элодеей и урутью их можно расположить в следующий ряд: торий > радий > изотопы урана. Чем выше биомасса растений, тем интенсивнее происходит процесс очистки от радиоактивных элементов.

Минерализация, окисление и детоксикация. Минерализация органических соединений в водоемах с участием культур высших водных растений происходит путем их окисления в растениях в процессе метаболизма при выделении растением кислорода. Этот процесс в жизни водоема занимает одно из ведущих мест, так как интенсивность биохимических реакций в живом организме в несколько раз выше интенсивности чисто химических реакций, свободно протекающих в водоемах.

Макрофиты способны поглощать не только относительно инертные соединения, но и физиологически активные вещества типа фенола. Так, камыш озерный при биомассе 100 г аккумулирует из воды 4 мг фенола. Аналогично происходит процесс и с производными фенола – резорцином и ксилолом. Эти вещества не только поглощаются растением, но и включаются в процесс метаболиз-

ма, что имеет важное значение в их детоксикации. Извлеченный фенол включается в кислые неароматические соединения, содержащие гидроксильные и карбоксильные группы, а индол используется при синтезе аминокислот и пектидов. Остатки фенола транспортируются токами воды и выделяются из растений через микроскопические поры стеблей в газообразном виде. Эффективность этого явления обуславливается тем, что на 1 см² поверхности стебля приходится 22500 пор. В процессе метаболизма различные химические соединения инактивируются в его тканях, а затем вместе с урожаем надводной биомассы могут быть вынесены из водоема. Кроме того, отмечается, что тростник обладает ясно выраженной способностью переносить неблагоприятный газовый режим болотных почв. В прибрежных местах обитания тростника на Цюрихском озере анализ почвенного воздуха показал следующий его состав, %: N₂S – 2, CO₂ – 10, CH₄ – 70, N₂ в восстановленной форме – 12.

Высокая степень адаптации тростника к неблагоприятному газовому режиму болотных почв объясняется наличием в корневищах и побегах крупных воздухоносных полостей и аэренхимным строением всех тканей. Его корневища, биомасса которых составляет 100 т/га и более, образуют в почве густо разветвленную сеть, проникающую на глубину 2 м и более. В лишенной воздуха болотной почве таким образом формируются своеобразные «легкие», по которым циркулирует воздух. Связь корневищ с атмосферой осуществляется через полые воздухопроводящие побеги. Водно-почвенная среда благодаря тростнику обогащается кислородом, в ней происходят процессы окисления. Кроме того, в процессе метаболизма мощная корневая система тростника, превышающая в 3...5 раз надземную биомассу, выделяет в воду бактерицидные вещества.

Повышение плотности бактериальной популяции, участвующей в биодеградации загрязнителей органического происхождения. В местах обитания высших водных растений наблюдается высокое содержание органики и детрита. Здесь диапазоны температур и кислородного режима, а также значительно меньшее волнение, чем в открытых частях водоемов, способствуют интенсивному развитию бактерий. Так как эти бактерии участвуют в процессах

очистки воды, то особое внимание уделялось изучению их видового состава и некоторых очистных функций. Бактерии в зарослях находятся как «во взвешенном состоянии, так и в обрастаниях на стеблях и листьях растений. Наибольшее количество бактерий находится в зарослях макрофитов с жесткими стеблями без листьев (ежеголовник простой, ситняг болотный, рогоз узколистный, камыш озерный, хвощ приречный) и колеблется в пределах от 5,2 до 9,0 клеток в 1 мл. Обнаружено значительное количество бактерий, разлагающих клетчатку и крахмал (до десятков тысяч на 1 мл воды). В открытых частях водоемов таких бактерий лишь десятки на 1 мл. Бактериальные обрастания макрофитов состоят из большого числа различных форм. В зарослях вегетирующего тростника обнаружено наибольшее количество бактерий, в том числе и гетеротрофных. Весной в исследованный водоем (Северокрымский канал) поступают продукты разложения тростника, отмершего осенью. В связи с этим повышается численность бактерий протеолитических и амилалитических.

В зарослях вегетирующего тростника весной и осенью общее количество бактериопланктона выше, чем летом (до 4,2 млн. клеток в 1 мл). Гетеротрофных бактерий, в том числе амилалитических, также больше весной и осенью, чем летом. Максимум протеолитических бактерий наблюдается осенью.

Заросли тростника различной плотности существенно влияют на численность бактерий, которая в перифитоне колеблется в зависимости от сезона. Минимум отмечается весной, максимум – осенью. Численность бактерий различных физиологических групп в обрастаниях макрофитов зависит от вида высшей водной растительности, а также от степени развития водорослей на них.

Количество гетеротрофов на воздушно-водных макрофитах выше, чем на погруженных, а каталазная активность обрастаний – наоборот, в 3,8 раза выше на последних.

Большой интерес вызывают исследования бактериальной флоры, окисляющей нефть и нефтепродукты в присутствии высших водных растений. Распад нефти возможен в аэробных и анаэробных условиях и вызывается жизнедеятельностью различных групп микроорганизмов. Микробиальному

разложению подвергаются углеводороды нефти, бензина, керосина по схеме: предельные углеводороды – непредельные углеводороды – спирты – кетосоединения – жирные кислоты – CO_2 – H_2O . Более тяжелые нефти разрушаются труднее, чем легкие, вследствие малой диспергированности вязких нефтей в жидкой среде и образования небольшой для роста бактерий поверхности. В лабораторных условиях осаждается на дно около 40%, а в природных – около 30% нефти. Анаэробный процесс распада протекает в 10 раз медленнее, чем на поверхности воды.

При достаточном количестве азота, фосфора и калия поверхность воды за 1...2 мес. полностью очищается от нефтяной пленки толщиной до 2 мм; недостаток фосфора снижает скорость окисления нефтепродуктов примерно в 10 раз. Благодаря развитию специфической группы микроорганизмов значительно усиливается процесс окисления нефти в потоке, а отношение углеводородо-окисляющих бактерий к их общему числу может служить показателем содержания углеводородов, а также напряженности процесса их окисления.

Исследование наиболее распространенных видов водных растений показало, что в их присутствии нефтяная пленка быстро разрушается микроорганизмами с образованием на нижней поверхности листьев бурых моховидных наростов, постепенно разрушающихся и исчезающих. При концентрации нефти 1 г/л поверхность воды очищалась от нее в присутствии высших водных растений через 5... 10 сут, а без них через 28...32 сут. Установлено, что окисление нефти и нефтепродуктов сопровождается изменением общей численности сапрофитных и нефтеокисляющих бактерий. Стебли высших водных растений, несущие на себе перифитоновые биоценозы, повышают плотность бактериальной популяции, которая участвует в процессе разложения нефтепродуктов.

Наиболее устойчивыми к нефтяному загрязнению являются рогоз узколистный и камыш озерный. При концентрации нефти в воде до 1 г/л эти растения отличались от других более интенсивной зеленой окраской, тургором и побегообразованием. Прирост растений в высоту в присутствии нефти был на 10...15

см больше, чем в опытах без нефти. Рогоз и камыш в 3...10 раз ускоряют разложение нефти.

Определено, что динамика численности микроорганизмов, участвующих в самоочищении вод от нефтяных загрязнений по длине водоемов, связана с концентрацией нефтепродуктов в воде и степенью зарастания высшими водными растениями.

Выявлен видовой состав бактерий, участвующих в процессе разрушения в воде нефти и ее продуктов в присутствии высших водных растений. Объектом исследований служили камыш озерный и рогозы – узколистый и широколистный. Качественный состав микроорганизмов, участвующих в очищении воды от нефти в присутствии микрофитов, был представлен родами *Bacillus*, *Bacterium*, *Achromobacter*, *Pseudomonas*, *Chromobacterium*, *Micrococcus*, *Sarcina* и *Planosarcina*.

В количественном отношении доминируют первые три рода: с камышом озерным на долю *Bacillus* и *Bacterium* приходилось 69%; с рогозом узколистым на долю *Bacillus* – 71%; с рогозом широколистным на долю *Achromobacter* – 90%.

Наибольшее число видов микроорганизмов отмечено в опытах с камышом озерным (16 видов), с рогозом узколистым (7 видов) и широколистным (8 видов).

Основная масса характерных присутствующих организмов – это факультативные аэробы, олигонитрофилы, палочки, характеризующиеся хорошо выраженной способностью сбраживать углеводы, редуцирующей способностью и слабой протеолитической активностью.

Выделенные микроорганизмы способны окислять, кроме нефти, парафиновое масло и фенол, однако эти продукты усваиваются бактериями неодинаково. Все 34 испытанные культуры бактерий давали рост на нефти и парафиновом масле, но усвоение этих продуктов бактериями разных видов происходило с неодинаковой интенсивностью. Так, фенол как источник углерода из 16 видов микроорганизмов, выделенных в опытах с камышом, использовали лишь де-

вять, с рогозом узколистым из семи – четыре и с рогозом широколистным из восьми – лишь два.

Наибольшую активность к окислению углеводов обнаружили бактерии, сопутствующие камышу озерному. Эти свойства сохранялись ими и при длительном культивировании на мясопептонном агаре, тогда как у культур из опытов с рогозом в данных условиях способность к усвоению углеводов снижалась.

Бактерицидность. Бактерицидными свойствами обладают многие виды макрофитов, но особенно выделяется в этом отношении камыш озерный. В его присутствии рост кишечной палочки прекращается полностью. Установлено, что при наличии 43 млн. клеток в 1 мл в присутствии камыша озерного через 18 ч их не было совсем. После прохождения стоков через заросли камыша не обнаруживаются возбудители тифа, сальмонеллы, личинки аскарид и трихинеллы.

Механизм действия макрофитов на патогенную микрофлору до конца еще не выяснен. Их бактерицидные свойства зависят от количества кислорода, выделяемого в воду. Наиболее интенсивно снабжает воду кислородом камыш озерный, именно он и обладает самой сильной бактерицидностью.

Бактерицидные свойства камыша озерного послужили основанием для постановки опытов по использованию его для очистки питьевой воды. В сильно-загрязненной воде Рейна после хлорирования ее на станции очистки оставалось 5 клеток кишечной палочки на 100 мл, а после прохождения этой воды через заросли камыша их не стало совсем. На основе опытов в г. Крефельд создана первая установка по подготовке питьевой воды. Между первой ступенью очистки (отстаивание и коагулирование) третьей (почвенное фильтрование) существуют пруды, засаженные камышом с водообменом в 12... 14 сут. Подобные установки уже существуют в г. Берлине (р. Шпрее) и на водной станции угольного бассейна Северной Вестфалии (Гельсенкирхен).

Институт Макса Планка (Лимнологическая станция в Крефельде) получил патент на данную установку, а 15 стран приобрели лицензию на очистку стоков камышом озерным.

4. ХАРАКТЕРИСТИКИ БИОИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ И ИХ ПАРАМЕТРЫ

Ниже приведены основные типы сооружений, используемых, как правило, в качестве водоохраных сооружений, блокирующих источники и очаги загрязнения водных экосистем.

Ботанические площадки – это мелководные акватории с зарослями гидромакрофитов, как естественного, так и искусственного происхождения. Ботанические площадки нашли применение в горнодобывающей и химической промышленности для очистки сточных вод. Принцип сочетания очищающего воздействия гидромакрофитов и анаэробных гетеротрофных микроорганизмов использован при конструировании биоинженерного сооружения, названного ботанической площадкой.

Фитофльтрационные устройства предназначены для улучшения качества природных вод и представляют собой полосы из тростника, культивируемые на намывных подводных гребнях шириной 20...50 м, расположенных перпендикулярно руслу реки на расстоянии 3...5 м.

Биопруды с посадками гидромакрофитов – мелководные пруды глубиной от 1 до 3 м, площадью до нескольких гектаров. Различают несколько видов биологических прудов с использованием альгобактериального комплекса, обеспечивающих очистку воды от болезнетворных бактерий и органических веществ.

Водоохраный комплекс, состоящий из двухкаскадной системы специальных прудов – отстойника-деструктора и стабилизатора, разработан на БСК-4 (4-я очередь Большого Ставропольского канала) в пойме реки Мокрая Буйвола. Проектом предусмотрено строительство семи комплексов с биологической очисткой дренажных вод с целью их использования для орошения и защиты реки Кума от загрязнения. Детоксикация дренажных вод осуществляется под действием биоценоза в поверхностных слоях активного ила в течение не менее 24 часов. Скорость течения 10 мм/с. Толща слоя активного ила 0,3...0,5 м. В пруду-стабилизаторе качество воды достигает заданных показателей. Стоимость

водоохранного комплекса на БСК-4 – 860 тыс. руб., при экономическом эффекте за счет повторного использования дренажных вод на орошение – 3 млн. 715 тыс. руб. (в ценах 1983 г.). Производительность всего водоохранного комплекса – 432 тыс. м³/сут.

Экспериментальные исследования по микробиальной очистке воды от ряда хлор- и фосфорорганических пестицидов показали возможность интенсификации процессов повышения качества воды с помощью гидромакрофитов. Исследование трехступенчатой технологической схемы биопрудов показали, что 30% начальной концентрации пестицидов после третьей ступени поглощаются гидромакрофитами, 0,3% сорбируются почвой и остальная часть разлагается микроорганизмами.

Производственные опыты по очистке воды от биогенов показали, что схема, состоящая из 2,5 км участка водотока и двух последовательных биопрудов, заселенных высшими водными растениями, обеспечили снижение на 99,9% всех неорганических форм азота и 90...95% фосфора, общее со-лесодержание снизилось от 1577 до 940 мг/л. Высокая интенсивность детоксикации наблюдается в период активной вегетации.

Искусственные заболоченные участки представляют собой обвалованные понижения рельефа местности с болотной растительностью или гидромакрофитами, для которых характерна незначительная (0,15...0,45 м) глубина потока; вода проходит через заросли гидромакрофитов или болотную растительность, частично через корнеобитаемый слой грунтов и отводится дренажом. В США по данным Ш. Рида, Р. Бастиана, В. Джевела (1979 г.) при использовании макрофитов удаляется 60...90% взвешенных веществ, 40...90% соединений азота, 10...50% соединений фосфора, БПК₅ снижается на 70...96%. Для очистки 4,5 тыс. м³ воды использованы от 12 до 24 га природных заболоченных участков, 9,2 и 14,8 га участков, устроенных специально для улучшения качества воды.

Биоплато представляет собой сооружение, в котором сообщества гидромакрофитов используются в качестве биофильтров для очистки воды. Сущест-

вует несколько типов биоплато: русловое, устьевое, береговое, наплавное, инфильтрационное. Размеры биоплато при ширине 5...10 м достигают в длину десятков километров.

Биоинженерные сооружения типа *инфильтрационного биоплато* объединяют основные элементы почвенной очистки и использования гидромакрофитов в качестве биофильтров, обеспечивающих движение потока жидкости сначала в горизонтальной плоскости через заросли гидромакрофитов, затем в вертикальной – через корнеобитаемый слой грунтов, насыщенный микрофлорой и альгоценозом. Создаваемый таким образом биогеоценоз определяет отличие биоинженерных сооружений от перечисленных выше. Испытание инфильтрационного биоплато проведено на опытном полигоне в районе Орельковского водохранилища (канал Днепр - Донбасс) для очистки коллекторно-дренажных вод и поверхностного стока. Эксперимент проводился в течение 140 суток: за трое суток снижение азота по аммиаку составило 80...95%, по нитратам – 85...97%. Исследования показали, что за счет инфильтрации через грунты степень очистки повышалась на 20% по сравнению с ботаническими площадками, береговыми и русловыми биоплато.

Биоассимиляторы. Для денитрификации дренажных вод, биоассимиляции азота и фосфора могут быть использованы микрофиты (прикрепленные водорослевые обрастания – перифитон). С использованием перифитона разработан биоассимилятор, представляющий систему лотков на сбросном коллекторе. На дне лотка устанавливаются пластины волнистого асбошифера с предварительно развитой биологически активной поверхностью перифитона. Глубина потока очищаемой воды 50...110 см. Время пребывания воды в лотках 1-4 часа. Биоассимилятор внедрен на IV очереди Большого Ставропольского канала. Разработанные конструкции не требуют дорогостоящих материалов и для эксплуатации не требуется энергия.

4.1. Русловое биоплато

Русловое биоплато представляет собой водоток или участок водотока, на котором создается определенный гидравлический режим, благоприятный для жизнедеятельности ВВР.

Для доочистки поверхностного и дренажного стока в водосборных и сбросных каналах с расходом до 1 м³/с ВВР засаживают чередующимися полосами 5...10 м по ширине водотока, создавая барьер поступающим загрязнителям.

На водоемах (буферных площадках, прудах-фильтрах, накопителях поверхностного и дренажного стока) ВВР высевают вдоль береговой зоны.

При глубине воды в сооружениях от 0,8 до 1,2 м рекомендуется высаживать тростник, роголистник темно-зеленый и элодею канадскую, при глубине 1,5...2,5 м – рогоз узколистый. Вдоль берегов и откосов сооружений, а также в мелководной зоне водоема необходимо высаживать тростник, камыш, сусак, манник водный, рогоз широколистный, осоку.

В каналах и водоприемниках с расходом воды более 1 м³/с оно должно обеспечивать постоянную глубину воды. Пропуск паводка осуществляется через подпорное сооружение.

Длина биоплато определяется по формуле:

$$L = \frac{V}{f_{БПК}} (C_{БПК}^0 - C_{БПК}^L) \quad (2)$$

где L – длина биоплато, км;

V – скорость воды на биоплато, м/с;

f – коэффициент очистительной способности биоплато, г О₂/л;

$C_{БПК}^0$ – концентрация органического вещества по БПК на входе и на выходе из биоплато, г О₂/л.

Коэффициент $f_{БПК}$ – для загрязненного дренажного стока и поверхностного стока с БПК более 15 г О₂/л, равен $7,1 \cdot 10^{-4}$, с БПК менее 15 г О₂/л – $1,9 \cdot 10^{-4}$.

4.2. Инфильтрационное биоплато

Инфильтрационное биоплато – водоохранное сооружение с фильтрующим основанием и посадками ВВР. Движение жидкости в этих сооружениях обеспечивает очистку в горизонтальной плоскости через заросли растений, а в вертикальной через корнеобитаемый, насыщенный микрофлорой слой грунтов.

Инфильтрационные биоплато выполняется в виде локализованных в естественном рельефе или специально обвалованных площадок с фильтрующим основанием и трубчатым дренажем. Поверхностью биоплато является искусственно созданный ландшафт с древесно-кустарниковой и высшей водной растительностью, которая занимает 10% акватории сооружения.

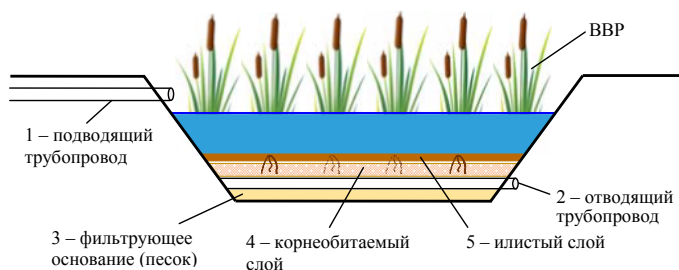


Рисунок 4.1 – Схема инфильтрационного биоплато

Площадь биоплато зависит от концентрации загрязняющих веществ, оставшихся в поверхностном или дренажном стоке, и определяется по формуле, предложенной Магомедовым В.Г.:

$$S = \frac{Q \cdot T_{к.онт.}}{H} \quad (3)$$

где S – площадь биоплато, $м^2$;

H – высота столба воды в сооружении, (обычно 0,2...1,5 м, но не менее 0,1);

Q – расход воды, поступающей на доочистку, $м^3/сут$;

$T_{к.онт.}$ – оптимальное время контакта потока с ВВР, при котором достигается требуемое снижение концентрации загрязняющих веществ, сут;

$$T_{к.онт.} = \alpha_1 T_{к1} + \alpha_2 T_{к2} + \dots + \alpha_n T_{кn} \quad (4)$$

Здесь $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ – доли относительного содержания загрязнителей, превышающих ПДК;

$$\alpha_i = \frac{C_i}{ПДК_i} / \sum \frac{C_j}{ПДК_j} \quad (5)$$

$T_{к1}, T_{к2}, \dots, T_{кn}$ – оптимальное время контакта потока с каждым загрязнителем, сут. Ориентировочно T_k может быть определено по графику (график показан на рисунке 4.2).

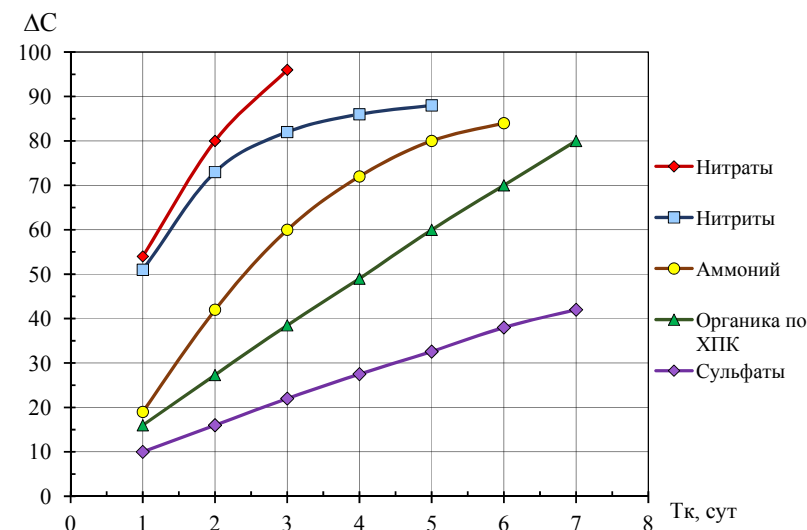


Рисунок 4.2 – Интегральные кривые удельной очистительной способности ВВР инфильтрационного биоплато:

ΔC – требуемое снижение концентрации загрязняющего вещества, %;

T_k – оптимальное время контакта потока с загрязнителем, сут.

Мощность фильтрующего основания принимается 1,0...1,2 м в зависимости от глубины проникновения корневой системы растений в грунт. В качестве фильтрующего материала могут использоваться гравий, щебень, песок, песчано-суглинистые грунты с коэффициентом фильтрации не менее 0,1 м/сут. Коэффициенты фильтрации различных грунтов представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Коэффициенты фильтрации грунтов

Грунты	Коэффициент фильтрации k , м/сут
глина	0,001
суглинок тяжелый	0,05
суглинок легкий	0,05 – 0,1
супесь	0,1 – 0,5
лесс	0,25 – 0,5
песок пылеватый	0,5 – 1
песок мелкозернистый	1 – 5
песок среднезернистый	5 – 20
песок крупнозернистый	20 – 50
гравий	20 – 150
галечник	100 – 500

В качестве фильтрующего материала в расчетном примере принят песок мелкозернистый.

Толщина илистого слоя, укладываемого на фильтрующее основание, должна быть не менее 0,1 м для распределения в ней корней растений. Трубчатый дренаж должен укладываться в грунт основания биоплато так, чтобы верх обратного фильтра дренажной засыпки был на одном уровне с поверхностью основания. В случае укладки на основание биоплато слоя подготовки, верх обратного фильтра должен быть ниже поверхности подготовки.

Длина зоны инфильтрации, т.е. биоплато, в пределах которой часть стока профильтруется через грунт в дренажную сеть, определяется по формуле:

$$L_{\phi} = \frac{1,5 \cdot Q}{B \cdot k}, \quad (6)$$

где L_{ϕ} – длина зоны инфильтрации, м;

Q – расход воды у водовыпуска, м³/сут;

B – ширина биоплато вблизи водовыпуска, $B=20$ м (10...40 м);

k – средний по площади биоплато коэффициент фильтрации грунта, $k=5$ м/сут (песок мелкозернистый).

Дренажная сеть в основании биоплощадок проектируется перпендикулярно потоку воды.

Биоплато позволяет очищать дренажный сток за счет поглощения веществ водными растениями, фильтрации и осаждения взвешенных веществ.

Эффективность биоплато:

- по взвешенным веществам – 95...97 %
- по нитратам и нитритам – 60...80 %
- по азоту – 92...95 %
- по фосфору – 90...97 %

Пропускная способность биоплато – 3-5 тыс. м³/сут., скорость воды – 1-2 м/сут.

Растения на биоплато высаживают разных видов, что позволяет учесть различный период вегетации и обеспечить необходимую эффективность очистки в течение всего теплого периода года.

4.3. Биоплато в виде интенсивно дренируемых площадок и каскада каналов биопрудов

Интенсивно дренируемые площадки предназначены для доочистки загрязненного поверхностного и дренажного стока и включает следующие конструктивные элементы (рис. 4.5):

1. секции сооружения трапецидального поперечного сечения для культивации высшей водной растительности;
2. водопропускные трубы с устьевыми сооружениями и оголовками, обеспечивающие последовательную подачу очищаемых вод из одной секции в другую;
3. трубопроводы подачи загрязненных вод и сброса очищенных вод;
4. эксплуатационные дороги для перемещения механизмов и техники.

Полезный объем сооружения W_k определяется по необходимости продолжительности пребывания подаваемых на очистку вод:

$$W_k = t_p \cdot Q_{cm}, \quad (7)$$

где t_p – необходимая продолжительность пребывания в сооружении среднесуточного расхода, сут;

$Q_{см.}$ – среднесуточный расход, м³/сут.

Среднесуточная нагрузка на биоплато:

$$Q_{см.} = \frac{W_{оп.}}{T_{оп.}}, \quad (8)$$

где $W_{оп.}$ – объем дренажного стока, поступающего с дренируемого массива, м³;

$T_{оп.}$ – время работы дренажа (190 сут).

Необходимая продолжительность пребывания воды T_p в сооружении определяется по формуле:

$$T_p = \frac{1}{K_{li} \cdot K_2} \cdot \lg \left[\frac{C_{i вх}}{C_{i сбр}} \right] \quad (9)$$

или принимается по рекомендациям Магомедова;

K_{li} – коэффициент скорости самоочищения по i -му загрязняющему веществу, сут⁻¹ (ориентировочные значения в зависимости от температуры очищаемых вод приведены в таблице 4.2);

K_2 – коэффициент объемного использования (для секций каналов-биопрудов с соотношением длины к ширине 3:1 равен 0.35);

$C_{i вх}$ – концентрация i -го вещества в подаваемой на очистку воде, мг/л; (Для поверхностного стока (таблица 2);

$C_{i сбр}$ – концентрация i -го загрязняющего вещества в очищенных водах, мг/л (принимается равной ПДК).

Таблица 4.2 – Коэффициенты скорости самоочищения в биоплато на фоне биоценозов тростника, сут⁻¹

Загрязняющее вещество	Температура воды, °С			
	1-5	5-10	10-15	Более 15
Органическое вещество по БПК ₅	0,08	0,11	0,12	0,12
NH ₄	0,05	0,12	0,16	0,18
P _{min}	0,03	0,07	0,09	0,10

Концентрация загрязняющих веществ в поверхностных водах, поступающих с загрязненной территории, представлены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Концентрация загрязняющих веществ в поверхностных водах

Вещество	Нитраты	Нитриты	Фосфаты	Аммоний	Взвешенные вещества	БПК	Сульфаты	Свинец	Хром	Цинк	Никель	Нефтепродукты
С, мг/л	0,18	0,15	7	0,6	102	3,7	170	0,1	0,015	0,11	0,1	0,69
ПДК, мг/л	0,08	40	2	0,5	25	3	100	0,01	0,07	0,01	0,01	0,05

Общая площадь зеркала $S_{биоплато}$:

$$S_{биоплато} = \frac{Q \cdot T}{H}, \text{ м}^2 \quad (10)$$

H – высота столба воды в биоплато зависит от выращиваемой ВВР (1 м – тростник).

Надводные откосы сооружения и эксплуатационные дороги засаживаются влаголюбивыми многолетними травами, выдерживающими длительные сроки тростниковидной, райграсом и т.п.

Дно и постоянно затопленные части откосов биоплато должны засаживаться высшей водной растительностью: тростник, элодея канадская, ряска.

Посадка тростника осуществляется корневищами с одной двумя растущими почками, плотность посадки 1-2 шт. на 1 м², элодея канадская – черенками, плотность посадки 0.25...0.5 кг/м².

При посадке водной растительности соблюдается ярусный принцип ее расположения: в первых секциях высаживаются тростник, обладающий наиболее высокой поглотительной способностью, в средних – элодея канадская, обеспечивающая значительную фотосинтетическую реакцию, в последних – растения-индикаторы, произрастающие только в чистой воде. Представители водной растительности, используемые для биологической очистки стоков представлены на рисунках 4.3-4.4.



а) камыш

б) рогоз

Рисунок 4.3 – Водно-воздушные или полупогруженные растения



а) элодея канадская

б) роголистник

в) ряска



г) Эйхорния (водный гиацинт)

Рисунок 4.4 – Погруженные и плавающие растения

При заилении отдельных секций более 10-15 см необходима очистка каналов от отложений наилка, которая осуществляется экскаватором Э-304 с ремонтным ковшом.

Для уменьшения выноса взвешенных веществ и сохранения устойчивого биоценоза очистку рекомендуется пунктирно, т.е. первый год чистить каналы с четными номерами, а на следующий год – с нечетными.

Конструктивная схема интенсивно дренируемых площадок представлена на рис. 4.5.

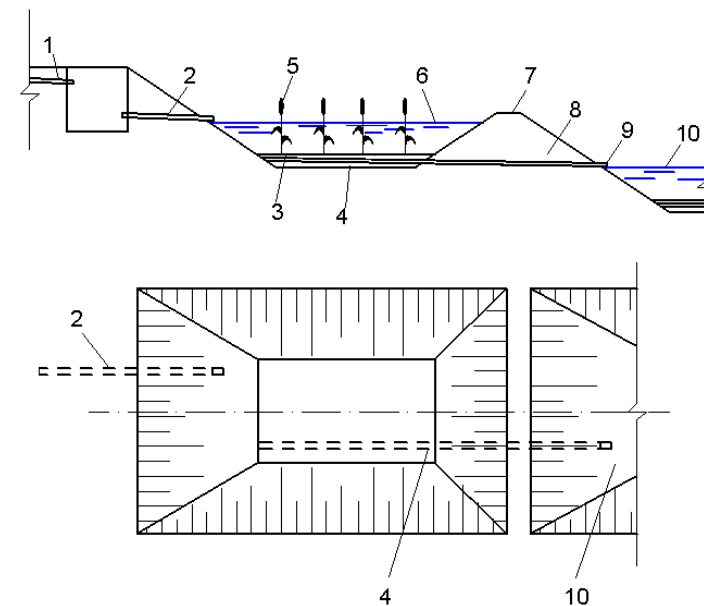


Рисунок 4.5 – Конструкция биоплато (интенсивно дренируемые площадки)

- | | |
|----------------------------|---|
| 1 – коллектор; | 6 – слой воды в сооружении; |
| 2 – подающая труба; | 7 – сбросная труба; |
| 3 – фильтрующее основание; | 8 – вал, разделяющий секции сооружения; |
| 4 – дренаж в основании; | 9 – отводной трубопровод; |
| 5 – ВВР; | 10 – вторая секция сооружения |

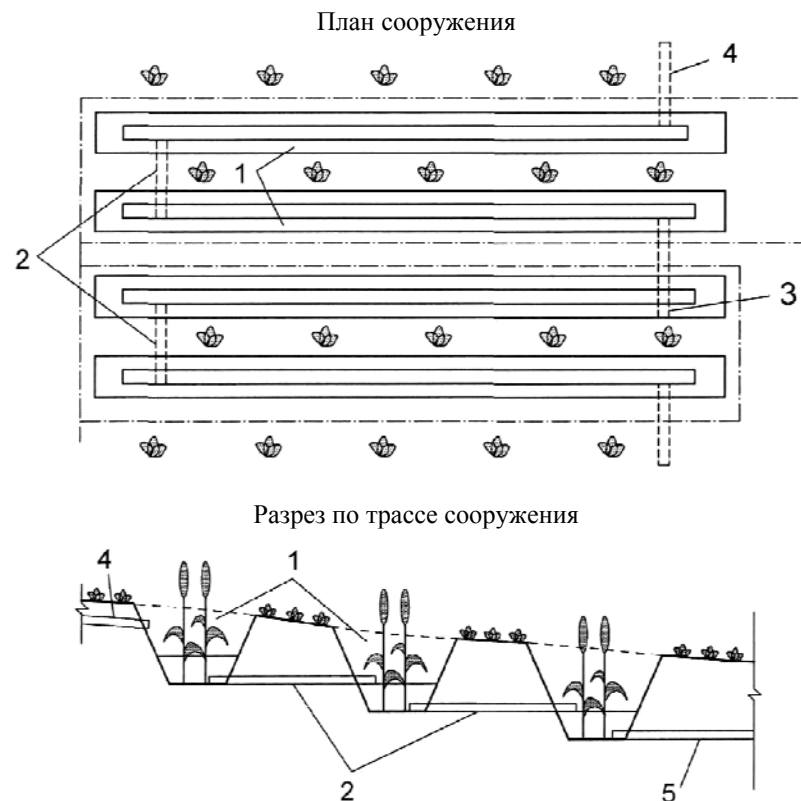


Рисунок 4.6 – Конструктивная схема каскада каналов-биопрудов:

- 1 – секции каналов-биопрудов;
- 2 – водопроводные трубы;
- 3 – устья водовыпускных труб;
- 4 – трубопровод подачи загрязненных вод;
- 5 – водовыпуск очищенных вод;
- 6 – эксплуатационные дороги.

4.4. Наплавные биоплато

Наплавные биоплато представляют собой плавающие сетки из синтетических волокон, в отверстиях которых высаживают травянистые многолетние растения с развитой корневой системой. Наплавные биоплато хорошо зарекомендовали себя для очистки вод от плавающих примесей (пены, хлопьев, нефтепродуктов и др.).

Основа наплавного биоплато – легкая и прочная циновка, состоящая из нескольких соединенных между собой пористых слоев нетоксичного пластика. Все это «разбавлено» смесью с названием биомикс. Она состоит из торфа, измельченного кокосового волокна и постоянно впитывающей воду специальной пены, похожей на строительную.

Корни растений прорастают через остров в воду. Эти заросли становятся биологическим фильтром, который чистит реку. В них же обитают и кормятся микроорганизмы и рыбы.

В кустарниках и травах над водой могут поселиться птицы, лягушки, насекомые.



Рисунок 4.7 – Наплавные биоплато



Рисунок 4.8 – Схема организации плавающих биоплато и пример их использования на практике:

- запуск биоплато;
- установка ограждений от растительоядных птиц;
- биоплато через 4 месяца;
- биоплато через 13 месяцев (Winston et al., 2013)

Автотрофы в биоплато преставлены макрофитами (водно-воздушными, погруженными и свободно-плавающими, а также водорослями). В процессах очистки воды принимают участие следующие группы гидробионтов: гетеротрофы и автотрофы. В зарослях мактрофитов хорошо чувствуют себя такие гетеротрофы как бактерии, простейшие и беспозвоночные. Группы гидробионтов в биоплато приведены на рис. 4.9.

Гетеротрофы представлены бактериями, простейшими и беспозвоночными. Жизнедеятельность гетеротрофных организмов сопровождается поглощением содержащихся в воде органических веществ. Гетеротрофы разлагают органику до воды, углекислоты, азота и фосфора.

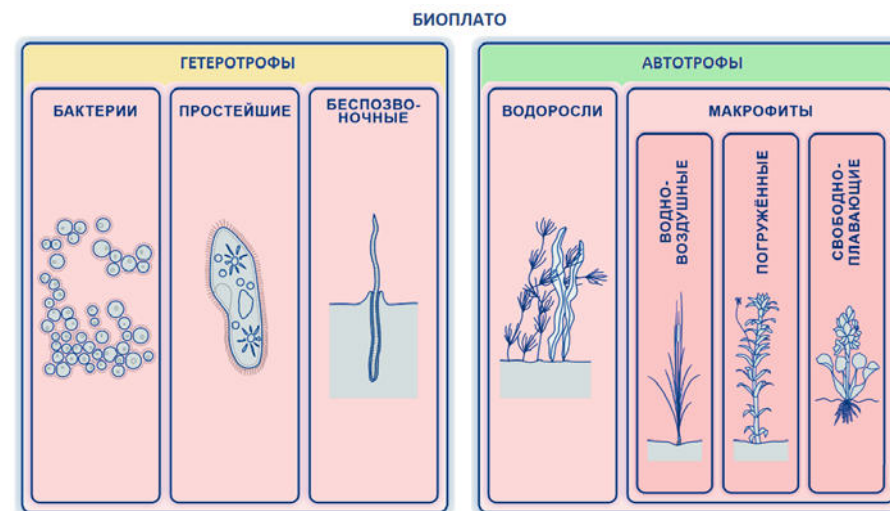


Рисунок 4.9 – Группы гидробионтов в биоооружениях

Автотрофы на биоплато представлены двумя группами — водорослями и макрофитами. Являясь первичными продуцентами, автотрофы потребляют разложенные гетеротрофами составляющие органических веществ (органику). С помощью фотосинтеза они создают новую безвредную органику — собственное тело. Однако по мере роста автотрофов они должны удаляться из водной среды, а в конце периода вегетации их удаление чрезвычайно просто обязательно (чтобы не происходили обратные процессы разложения).

К основным недостаткам биоплато, которые ограничивают возможности их применения при проектировании рекультивации и восстановления водных объектов, относятся:

- функционирование только в тёплый период года (за исключением тёплых сточных вод с температурой не ниже 5°C);
- необходимость использования сравнительно большой территории;
- невозможность использования в сильно загрязнённой среде (при высокой концентрации ядохимикатов и т.п.).

Площадь биоплато – это 10...15% от площади водоёма. Месторасположение - вне водоёма, слегка поднято над уровнем основного водоёма.

Способ подачи в биоплато при помощи насоса (напор). Расчёт производительности насоса: расчёт весьма приблизительный, но где-то проходила информация об обороте от 1 до 3-х объёмов водоёма в сутки, т.е. имея водоём 40 м^3 , производительность насоса в диапазоне от 2000 л/час до 6000 л/час.

Вода из биоплато сливается свободно (инерционно), при этом обогащаясь кислородом (помните про разницу уровней). Глубина около 30 см.

Видовой состав растительности – очень агрессивные и образующие развитую корневую систему растения, желательно те, которые произрастают в естественных водоёмах конкретного региона (чаще всего рогоз, камыш, роголистник, тростник), т.е. без экзотики.

5. ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ БИС И ПРИМЕРЫ ЦИФРОВЫХ РАСЧЕТОВ

5.1. Сооружения для очистки сточных вод с использованием ВВР

Сооружения для очистки сточных вод с помощью культур высших водных растений (ВВР) представляют собой несколько последовательно соединённых бассейнов. Стены и дно бассейнов могут быть выполнены из бетона, стальных листов, битума, глины, кирпича. В буферной емкости токсичные стоки смешиваются с остальными стоками для усреднения их качественного состава; затем сточные воды насыщают кислородом воздуха и интенсивно перемешивают с помощью насоса или мешалок. Перемешивание обеспечивает работу буферной емкости в режиме идеального смесителя. Кислород, растворённый в сточных водах, способствует активации микроорганизмов, а, следовательно, интенсификации процесса биохимического окисления. Здесь же сточная жидкость осветляется благодаря осаждению взвешенных веществ.

Стена буферной емкости, обращенная к бассейну, образует переливной желоб, по которому сточные воды из емкости перетекают в распределительный желоб с равномерно расположенными по всей длине отверстиями. Под каждым отверстием находится полусферический каркас, ударяясь о который потоки воды разбрызгиваются в мелкие капли. Вместо каркаса полусферической формы можно использовать выпуклую по всей длине распределительного желоба цилиндрическую поверхность. Поперек движения потока в каждом бассейне устанавливают поочередно шесть перегородок таким образом, чтобы перегородки одного вида следовали за перегородками другого вида.

Три перегородки отличаются друг от друга различным расположением отверстий. Перегородки из стальных листов, древесины, бетона или искусственных материалов делают такой высоты, чтобы предотвратить перелив через них, и крепят в боковых стенках или в дне. Их снабжают ребрами жесткости.

Высшие водные растения, контактирующие со сточными водами, укрепляются в бассейнах над дном, поэтому его можно легко очищать от отмершего ила с помощью, например, вакуум-насоса.

При прохождении через каждый бассейн сточные воды интенсивно перемешиваются и равномерно распределяются между макрофитами, которые ассимилируют вредные вещества и превращают их в безвредную биомассу. Таким образом растения извлекают из сточных вод питательные вещества минерального и органического происхождения.

При разделении всего сооружения на несколько (в данном случае шесть) бассейнов в каждом из них формируется специфического состава биоценоз, гарантирующий оптимальные условия биологической очистки сточных вод. В конце вегетационного периода части макрофитов, находящиеся над поверхностью воды, обламываются и плывут к краю бассейна, где их собирают и удаляют. Очистка сточных вод продолжается и зимой благодаря круглогодичной жизнедеятельности макрофитов.

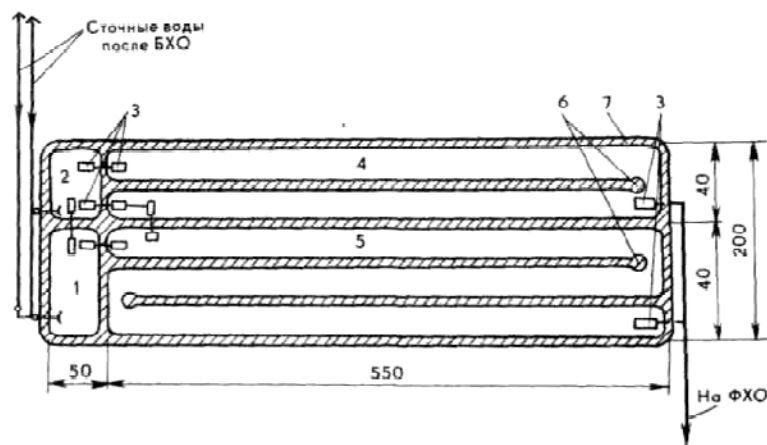


Рисунок 5.1 – Схема трехсекционного сооружения гидробиотической доочистки сточных вод:

- 1 – отстойник; 2,4,5 – секции биологического пруда с макрофитами;
- 3 – перепускные устройства; 6 – площадка для разворота автотранспорта;
- 7 – дамбы (размеры в м).

На ряде промышленных объектов нашей страны эксплуатируются сооружения гидробиотической очистки (ГБО) или доочистки промышленных и городских сточных вод, представляющие собой биологические пруды с лабиринтным движением очищаемой жидкости (Приложение 8). Принципиальная схема этих сооружений показана на рисунке 5.1 (окислительная часть комбинированного сооружения).

Данного типа сооружения обладают следующими преимуществами: возможностью культивирования различных видов макрофитов в любой последовательности и с различной плотностью посадки; экономичностью за счет применения грунтовых сооружений с использованием высокопроизводительной землеройной техники; возможностью выбора гидродинамических параметров работы в широком диапазоне путем назначения той или иной геометрии отдельных секций или сооружения в целом; механизированным производством посадочных работ и периодической чистки от донных отложений; удобством эксплуатации за счет наличия обводных линий с системой шиберов, позволяющих выключить из работы любую секцию сооружения.

5.2. Устройство и эксплуатация сооружений

В конце апреля куртины камыша выкорчевывают экскаватором, перевозят к месту построенного сооружения и вручную разделяют на отдельные стебли для посадки при глубине затопления проточной части сооружения сточными водами на 20 см. Посадочные стебли имеют длину 30...40 см и высаживаются при легком укоренении с плотностью из расчета один стебель на 12...15 м² площади проточной части. Полное заполнение проточной части сооружения проводится постепенно в течение 1 мес.

Осенью этого же года в местах высадки стеблей камыша образуются плодоносящие куртины с 30...50 стеблями. Летом следующего года число стеблей в куртинах увеличиваются до 100.

В конце второго года вегетации куртины достигают максимальной густоты (200...300 стеблей на 1 м²), что соответствует плотности произрастания камыша озерного в естественных условиях.

Продолжительность вегетационного периода зависит от района расположения локальных очистных сооружений со среднесуточной температурой выше +5°C. Учитывая, что максимальная эффективность работы сооружений гидроботанической очистки приходится на вегетационный период, в конце ноября с целью установления готовности построенного сооружения к промышленному использованию проводят его гидробиологическое обследование и устанавливают биоценотическую обстановку в нем в переходный период, то есть в период среднегодовой эффективности его работы.

Для сравнения пробы отбирают в различных экологических нишах: в толще воды, из донных отложений в прибрежной и центральной зонах, а также возле дамб, с поверхности стебля камыша. Обследование проводится при температуре воздуха +10... 12°C.

В конце второго года вегетации макрофитов построенное сооружение по доочистке сточных вод имеет полностью сформированную экосистему.

Технология культивирования наиболее широко используемых в сооружениях макрофитов полупогруженного типа (тростника обыкновенного и камыша озерного) основана на механизированном способе посадки корневищ вместе с материнским грунтом путем их экскавации в естественных зарослях, доставки к месту посадки и нанесению корневищного грунта на дно проточных секций. Для экскавации выбирают сомкнутые заросли тростниковые: 40...60 стеблей на 1 м² и более, высотой в конце вегетации 3...4 м; камышовые – 200...250 стеблей на 1 м² и высотой 1,5...2,5 м. Экскавация корневищного грунта проводится на всю глубину залегания живых корневищ растений (тростниковых – на 1...2 м; камышовых — на 0,6...0,8 м) с одновременной погрузкой на саморазгружающийся автотранспорт. Доставленный грунт отсыпают по дну проточных секций равномерно из расчета 3...4 м³ на 12...14 м погонной длины. Затем его распреде-

ляют по поверхности слоем толщиной 15...25 см. Прикатка проводится катками или гусеничной цепью трактора.

Заготовка и посадка полуводных растений проводят ранней весной, сразу же после оттаивания почвы.

В связи с тем, что посадочный материал тростника до образования стеблестоя не выдерживает затопления, проточные секции следует наполнять постепенно по мере роста стеблей. При культивировании в сооружениях камыша – типичного гидрофита – проточные секции можно наполнять сразу на проектную глубину, то есть до 2 м.

Рабочая глубина сооружения унифицируется с видом культивируемой высшей водной растительности (ВВР).

Требуемая глубина воды в биоплато и плотность посадки ВВР приведена в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Требуемая глубина воды в биоплато и плотность посадки ВВР

Растения	Плотность посадки	Глубина воды	
Космоген озерный	7-9 шт./м ²	1-1,2	гидрофиты (водно-воздушные или полупогруженные)
Рогоз узколистный	6-7 шт./м ²	1,5-2,5	
Рогоз широколистный	4-6 шт./м ²	до 0,8	
Осока водяная	5-6 шт./м ²	до 0,8	
Манник водный	30-40 шт./м ²	до 0,8	
Элодея канадская	0,25-0,5 кг/м ³	до 0,8	погруженные в воду прикрепленное растение (элодеиды)
Роголистник темно-зеленый	2-2,5 кг/м ³	до 0,8	
Ряска маленькая	0,5-0,7 кг/м ³	до 0,8	

Ширина секции по дну унифицируется с шириной рабочего органа экскаватора для устройства канала и очистки его от ила.

Надводные откосы засаживаются многолетними влаголюбивыми травами.

При заилении канала более чем на 15 см необходима очистка, которая осуществляется экскаватором Э-304 с ремонтным ковшом.

Рост ВВР регулируется срезанием надводной части растений. Для этих целей используют трактор с косилкой КСП–27, который скашивает растительность, одновременно собирает срезанную массу, измельчает ее и погружает в транспорт. Максимальная глубина срезания – 1,5 м.

Рост ВВР регулируется срезанием надводной части растений. Для этой цели используют тракторные или конные косилки, а также камышекосилки. Они не уничтожают корневую систему, не повреждают заросли и позволяют проводить работы в удобно выбранное время после вегетационного периода. Изъятие отвегетировавшей биомассы позволяет предупредить вторичное загрязнение, вымывание в осенне-зимний период токсических веществ, накопившихся в стеблях и листьях, заболачивание водоема.

Наиболее рационально и экономично использовать камышекосилки, которые одинаково эффективно срезают растения с плавающими листьями, надводные и погруженные. Хорошо зарекомендовали себя чехословацкие камышекосилки различных типов. Они представляют собой лодки, в передней части которых вмонтирован режущий аппарат. Передвигается косилка с помощью ходовых колес с лопастями. Режущий аппарат сделан подъемно-опускным, что позволяет изменять глубину кошения.

Из отечественных камышекосилок рекомендуется использовать косилки марки КСП-2,7, которые, скашивая растительность, одновременно подбирают срезанную массу, измельчают её и выгружают в транспортные средства. Несложно изготовить косилку в местных условиях, установив на понтоне или лодке мотор, а в качестве режущего инструмента можно применять ножи от сенокосилки или других механизмов.

Максимальная глубина срезания всех перечисленных камышекосилок не превышает 1,5 м, что позволяет использовать их на очистных прудах и каналах.

С откосов каналов и дамб сооружений ГБО лабиринтного типа выкашивать макрофиты можно косилкой К-48Б, навешиваемой на гусеничный трактор ДТ-75Б. Она срезает травянистую растительность в минеральных и торфяных грунтах с тонкими, толстыми, жесткими стеблями и мелкий кустарник диамет-

ром до 20 мм. Режущий аппарат ротационного типа обеспечивает скашивание полегшей и мокрой растительности. Он снабжен предохранительным устройством, позволяющим во избежание поломки отклонить его назад при наезде на непреодолимое препятствие. Машина обладает надежностью и успешно выполняет технологический процесс.

Очистка обеспечивается при следующих условиях:

- концентрация фосфора, который является лимитирующим, не должна превышать 50 мг/л;
- площадь, занимаемая ВВР, должна быть не менее 60% акватории канала;
- скорость течения воды должна быть не более 0,4 м/с.

5.3. Расчет нагрузки на биоплато при очистке дренажного стока

Расчетный расход принимаем равным бытовому расходу воды в подводящем канале, например, $Q_{\delta} = 0,083 \text{ м}^3/\text{с}$ (т.к. наиболее загрязненный сток с с/х угодий поступает в период вегетации растений).

Объем стока, подлежащего очистки равен:

$$W_{\text{др.}} = Q_{\delta} \cdot t, \quad (11)$$

t – число секунд в вегетационный период (летние месяцы).

$$W_{\text{др.}} = 0,083 \cdot 7,95 \cdot 10^6 = 0,66 \text{ млн. м}^3$$

Объем загрязняющих веществ, поступающих осушаемого или дренированного участка:

$$G_{\text{ос}} = C_{\text{max ос}}^{\text{ВВ}} \cdot W_{\text{др.}} = 0,624 \cdot 0,66 = 0,412 \cdot 10^6 \text{ мг} = 412 \text{ кг} \quad (12)$$

Допустимый объем загрязняющих веществ (фосфор) для сброса в реку:

$$G_{\text{доп.}} = l_{\text{доп.}} \cdot Q_p = 1 \cdot 0,083 = 0,083 = 83 \text{ кг}$$

Объем веществ (фосфаты), который необходимо задержать на биоплато:

$$G = G_{\text{ос}} - G_{\text{доп.}} = 412 - 83 = 329 \text{ кг} \quad (13)$$

$$G = B \cdot n \cdot F_{\text{биопл.}}, \quad (14)$$

n – содержание веществ в растениях $n_N = 4,09$ кг/ц;

$$F_{\text{биопл.}} = \frac{G}{B \cdot n} = \frac{329}{50 \cdot 4,09 \cdot 10} = 1,6 \text{ га} \quad (15)$$

Принимаем ширину биоплато равную ширине канала МК по верху $B_{\text{биопл.}} = 11$ м.

$$L_{\text{биопл.}} = \frac{F_{\text{биопл.}}}{B_{\text{биопл.}}} = \frac{1600}{11} = 145 \text{ м} \quad (16)$$

Глубину воды принимаем 0,25 м, что целесообразно исходя из графика зависимости биомассы сапрофитов (B_m) от глубины воды. Скорость в данном сооружении должна быть меньше заиления: $V_{\text{биопл.}} < V_{\text{запл}}$ (0,2 м/с)

$$V = \frac{Q_{\text{быт.}}}{0,25 \cdot B_{\text{биопл.}}} = \frac{0,083}{2,75} = 0,03 \text{ м/с} \quad (17)$$

Эффективность этого биологического инженерного сооружения:

- по взвешенным веществам 99,5%;
- по азоту 98%;
- по БПК 98%;
- по фосфору 95%.

Растения требуются различных видов, что позволяет учесть различные периоды вегетации и обеспечить необходимую эффективность очистки.

Зависимость продуктивности макрофитов от глубины воды в биоплато (на примере осоки) хорошо описывается куполообразной кривой (рис. 5.2) с оптимальным диапазоном продуктивности при 0,8 от максимальной, при глубине воды 25 см продуктивность биомассы осоки снижается в 2 раза, так же, как и при глубинах больше 1 метра. Аналогичные куполообразные зависимости существуют и для других видов высших водных растений.

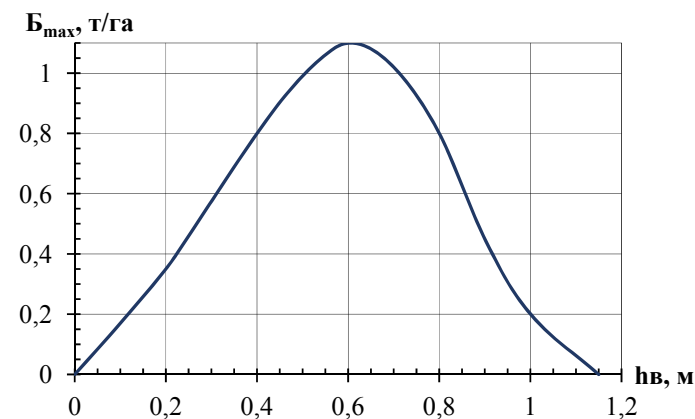


Рисунок 5.2 – Зависимость продуктивности макрофитов от глубины воды в биоплато (на примере осоки)

5.4. Расчет биоинженерных сооружений с использованием цифровых технологий

Для удобства расчетов параметров БИС построены номограммы и графики, которые могут быть использованы при подборе параметров БИС для очистки или доочистки сточных вод различных участников ВХК, что ускорит расчеты и принятие решений при составлении схем КИОВО.

Сложность решения задачи расчета параметров БИС состоит прежде всего в том, что опыт очистки воды при помощи макрофитов относился к небольшим объемам сточных вод с высокими концентрациями загрязняющих примесей и соответственно существующие методы расчетов призваны решать эти вопросы.

Еще одной проблемой расчета БИС является то, что в сообществах ВВР, как и в сооружениях биологической очистки воды, интенсивность процесса очистки существенно уменьшается при снижении исходных концентраций загрязняющих примесей. Природные же воды каналов характеризуются относительно невысокими концентрациями ингредиентов: 3-5 ПДК по сравнению с 30- 70 ПДК и более в сточных водах.

При небольших объемах сточных вод, площади сооружений, где в качестве биофильтров использовались макрофиты, также были сравнительно невелики. Переход к очистке больших объемов стока ($100 \text{ м}^3/\text{с}$ и более по сравнению с $1\text{--}2 \text{ м}^3/\text{с}$ расхода сточных вод) требовал отведения для ВВР значительных площадей.

Создание на основе сообществ ВВР сооружений для очистки природных вод, характеризуемых большими расходами и относительно невысокими концентрациями загрязняющих примесей, требует отведения значительных площадей. Выделение таких площадей, например, на каналах возможно лишь в том случае, если биоплато одновременно с очисткой воды будет выполнять какую-либо технологическую функцию, например, формирование берегового откоса канала и защита его от обрушения при транспортировании воды. Такое совмещение функций в одном сооружении необходимо для того, чтобы создание биоплато на каналах было экономически эффективным.

Для полного использования очистительной способности макрофитов в биоплато вода должна быть постоянно проточной, с тем чтобы водообмен между этим сооружением и основным потоком был максимальным, а площадь застойных зон в биоплато должна быть сведена к минимуму.

Площадь биоплато зависит от концентрации загрязняющих веществ, оставшихся в поверхностном или дренажном стоке, и может быть определена с помощью специальных номограмм или по компьютерной программе БИС-Excel [4, 20]. Номограммы для расчета площади БИС при разных концентрациях загрязняющих веществ и разных модулях дренажного стока для осушаемого массива 200 га при заданной очистке до ПДК рыбохозяйственной категории водопользования приведены на рис. 5.3 (расчет по БИС-Excel при расчете по азоту, фосфору и БПК).

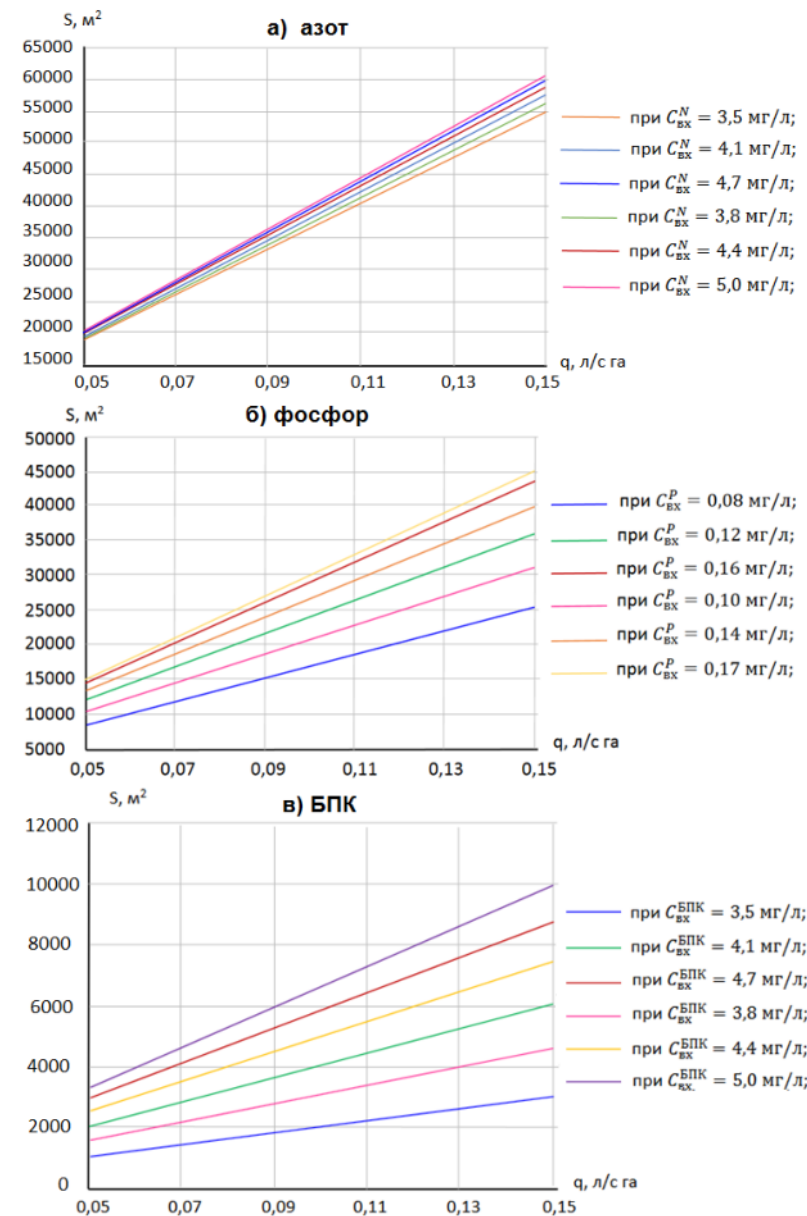


Рисунок 5.3 – Номограммы для определения площади биоинженерных сооружений при разных концентрациях ЗВ на входе в сооружение и модулях дренажного стока, построенные по результатам расчетов с применением программы БИС-Excel

Расчеты по программе БИС-Excel позволят проводить сравнительный анализ основных параметров различных типов биоинженерных сооружений по отдельным элементам, оценивать потребность в материалах и сравнивать затраты на создание БИС (рис. 5.4).

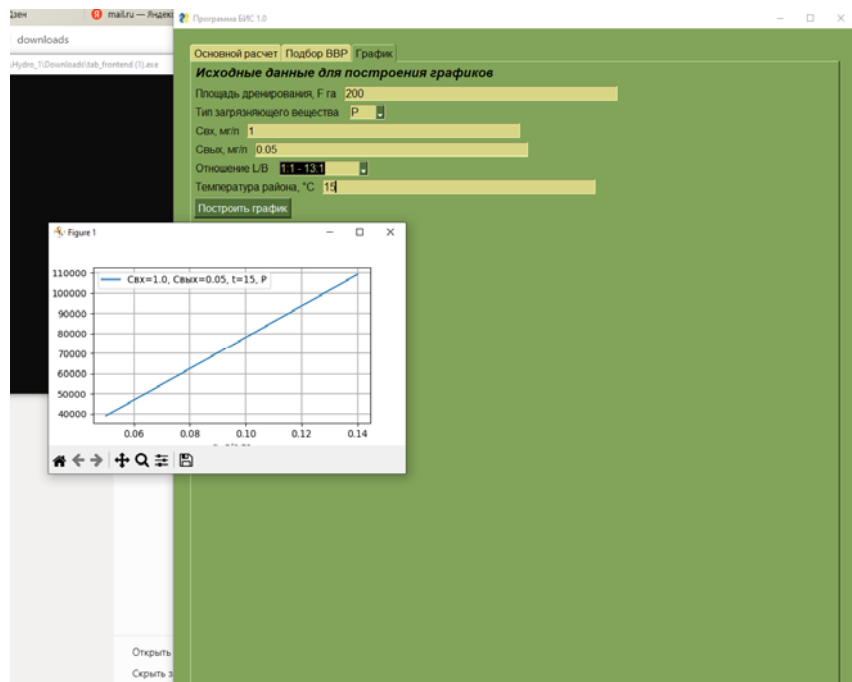


Рисунок 5.4 – Результат расчета параметров БИС в программной среде Python

Так в таблице 5.2 приведены результаты расчетов для 3-х типов БИС. Можно отметить, что при одной и той же площади сооружений затраты на создание инфильтрационного биоплато оказались значительно выше, чем при устройстве интенсивно дренируемых площадок (многосекционное сооружение из 2-х секций). Удорожание сооружений со скрытой поверхностью воды может объясняться большим объемом земляных работ, а также большей потребностью в материалах для создания объемной фильтрующей засыпки в основании (таблица 5.2).

Таблица 5.2 – Сравнительные характеристики различных типов биоинженерных сооружений для очистки дренажного стока

Тип сооружения	Площадь, га	Глубина воды, м	Толщина фильтрующей засыпки, м	Объем фильтрующей засыпки, м³	Объем воды в сооружении, м³	Количество ВВР, шт		Затраты на сооружение
						Полупогруженные	Погруженные	
интенсивно-дренируемые площадки	0,197	1,5	0,6	475,5	1121,6	7880	560,8 280,4	K=2,1 млн.руб З=0,25 млн.руб / год
инфильтрационное биоплато	0,197	1,5	1,5	2919,2	5658	7880	2829 1414,5	K=3,5 млн.руб З=0,42 млн.руб/год
каскад каналов-биопрудов	0,16	1	0,6	915,6	3724	6400	1862 931	K=0,6 млн.руб З=0.074 млн.руб/год

* Расчеты выполнены в ценах 2007 года

Эффективность применения локальных инженерных сооружений обусловлена сравнительно невысокой стоимостью строительства и эксплуатации. По обобщенной оценке, указанные сооружения снижают степень загрязнения водных объектов от 65 до 95% в зависимости от типа сооружений и вида загрязняющих веществ. Одновременно достигается экономия водных ресурсов за счет воспроизведенного стока. На основании изложенных соображений и международного опыта локальные инженерные сооружения могут быть рекомендованы для использования в фермерских хозяйствах, коттеджных поселках, а также для улучшения экологии загрязненных водосборов.

6. ПРИМЕРЫ РАСЧЕТОВ И КОНСТРУИРОВАНИЯ БИОИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Расчет биоплата ведется по фосфору, как элементу, лимитирующему эвтрофирование водного объекта. Среднее содержание фосфора в дренажном стоке района проектирования объекта осушения (по данным лаборатории комитета природных ресурсов Владимирской области) $C_{oc}^{bb} = 0,072$ мг/л.

По выполненным расчетам максимальная концентрация фосфора в поверхностном стоке с осушаемых земель равняется 0,624 мг/л в период вегетации растений.

Для предотвращения загрязнения водного объекта при масштабных осушительных мероприятиях на осушаемом участке запроектировано биоplate.

Исходные данные для проектирования биоplate:

- Средняя глубина МК $H_{cp} = 2,1$ м;
- Ширина канала по дну $b = 0,5$ м;
- Бытовой расход $Q_6 = 0,086$ м³/с;
- Уклон $I = 0,008$;
- Расчетный слой суммарного весеннего стока $h_p = 0,25$ м;
- Нагрузка по органическим веществам (по фосфору) $C_{oc\ max}^{bb} = 0,624$ мг/л.

Расчет биоplate ведется на бытовые расходы.

Пример расчета приведен для массива осушения – 1200 га. Грунты объекта осушения суглинистые, обладающие слабыми фильтрационными свойствами. Грунтовые воды располагаются на глубине более 5 м от поверхности земли и не участвуют в заболачивании. Основной источник водного питания – атмосферные осадки, тип питания – атмосферный.

Верхние горизонты массива осушения представлены дерново-подзолистыми почвами.

В качестве систематической регулирующей сети – закрытый горизонтальный дренаж (закрытые собиратели).

Глубина закладки дрен – 1,2 м. Дрены гончарные, диаметром 50 мм, с оберткой геотекстилем и обсыпкой песчано-гравийной смесью, засыпка траншеи разрыхленным грунтом с добавлением щебня. Глубина закрытых собирателей перед впадением в открытую сеть – 1,5 м. Модуль дренажного стока 0,05 л/с-га;

Вынос элементов питания с дренажным стоком с осушенных земель характеризуется данными таблицы 6.1.

Таблица 6.1 – Концентрация загрязняющих веществ

Вещество	Азот	Аммоний	БПК ₅
C , мг/л	0,18	0,6	3,7
ПДК, мг/л	0,08	0,5	3

В примере приведены расчеты трех конструкций биоplate:

- 1) каскад интенсивно дренируемых площадок;
- 2) инфильтрационное биоplate;
- 3) каскад каналов-биопрудов.

Каскады интенсивно дренируемых площадок располагаются в магистральных каналах и открытых коллекторах, а инфильтрационные биоplate располагаются перед впадением закрытых коллекторов в магистральный канал или в реку. На массиве осушения предполагается устройство 12 биоинженерных сооружений: из них – 6 интенсивно дренируемых площадок и 3 – инфильтрационные биоplate и 3 – каскад каналов-биопрудов.

6.1. Интенсивно дренируемые площадки

Длительность периода эффективной работы сооружения в течение года определяется продолжительностью периода со среднесуточными температурами более 5-7°C.

Расчетные сезонные нагрузки на сооружение (их предельные значения) в условиях Северо-Запада России составляют, кг/га:

По общему азоту – до 1400;

По общему фосфору – до 310;

Органическая по БПК₅ – до 1900.

$$Q = F \frac{q_g}{T}, \quad (1)$$

где Q – нагрузка на сооружение; F – суммарная площадь всех площадок сооружения, га; q_г – гидравлическая нагрузка, м³/га;

T – суммарная продолжительность работы сооружения, сут. Модуль дренажно-го стока 0,05 л/с га;

Продолжительность работы сооружения 181 сут. (15,638 млн. сек).

Расчетная сезонная гидравлическая нагрузка составляет:

$$q = 0,05 \cdot 15,638 \cdot 10^6 \cdot 10^{-3} = 781,9 \text{ м}^3/\text{га}. \quad (2)$$

Расчетный расход:

$$Q = q/T = 781,9 \cdot 1200/181 = 5183,9 \text{ м}^3/\text{сут} \quad (3)$$

Площадь биоплато зависит от концентрации загрязняющих веществ, оставшихся в поверхностном или дренажном стоке, и определяется по формуле, предложенной В.Г. Магомедовым (формула 1):

$$S = \frac{Q \cdot T_{к.онт.}}{H}$$

где S – площадь биоплато, м²;

H – высота столба воды в сооружении, м (обычно 0,2-1,5, но не менее 0,1);

Q – расход воды, поступающей на доочистку, м³/сут;

T_{к.онт.} – оптимальное время контакта потока с ВВР, при котором достигается требуемое снижение концентрации загрязняющих веществ, сут;

$$T_{к.онт.} = \alpha_1 T_{к1} + \alpha_2 T_{к2} + \dots + \alpha_n T_{кn} \quad (4)$$

Здесь α₁, α₂, ..., α_n – доли относительного содержания загрязнителей, превышающих ПДК;

$$\alpha_i = \frac{C_i}{\text{ПДК}_i} / \sum \frac{C_j}{\text{ПДК}_j} \quad (5)$$

$$\alpha_n = \frac{2,25}{4,68} = 0,48; \quad \alpha_{NH_4} = \frac{1,2}{4,68} = 0,25; \quad \alpha_{бпк} = \frac{3,7}{4,68} = 0,79$$

T_{к1}, T_{к2}, ..., T_{кn} – оптимальное время контакта потока с каждым загрязнителем, сут. Ориентировочно T_к может быть определено по графику (рис. 4.2).

Расчет проводим по азоту, БПК₅ и аммоний:

$$\Delta C_{\text{азот}} = 125\%$$

$$\Delta C_{\text{аммоний}} = 20\%$$

$$\Delta C_{\text{БПК}} = 23\%$$

С графика снимаем T_к:

$$T_{к \text{ БПК}} = 1,2 \text{ сут};$$

$$T_{к \text{ аммоний}} = 0,8 \text{ сут};$$

$$T_{\text{азот}} = 5,5 \text{ сут};$$

$$\alpha_{\text{БПК}} = 0,43;$$

$$\alpha_{\text{аммоний}} = 0,23$$

$$T_{к \text{ опт}} = 0,48 \cdot 5,5 + 0,25 \cdot 0,8 + 0,79 \cdot 1,2 = 2,64 + 0,2 + 0,95 = 3,79 \text{ сут}.$$

$$Q = 5183,9 \text{ м}^3/\text{сут}.$$

Всего на дренируемом массиве 12 биосооружений, следовательно, нагрузка на одно сооружение составляет

$$Q/12 = 5183,9 / 12 = 431,99 \text{ м}^3/\text{сут}.$$

Площадь одного биосооружения:

$$S = 431,99 \cdot 3,79/1,5 = 1091,4 \text{ м}^2 = 1092 \text{ м}^2;$$

$$S_{\text{одной площадки}} = 546 \text{ м}^2.$$

Ширина секций зависит от конструкции грунтового биофильтра и технологии уборки многолетних трав. При использовании для скашивания и уборки

зеленой массы трав косилок-подборщиков ширина секций по верху принимает-ся равной ширине захвата косилки. Ширина секции принята равной 20 м.

Двухслойный биофильтр состоит из корнеобитаемого слоя толщиной не менее 0,15-0,20 м (в проекте 0,15) из местных гумифицированных структурных почвогрунтов и песчаного фильтра толщиной 0,2-0,4 м (в проекте – 0,4м) с коэффициентом фильтрации более 1 м/сут (в проекте – 10 м/сут).

В качестве фильтрующего материала используем песок среднезернистый.

Толщина илистого слоя, укладываемого на фильтрующее основание принята равной 0,2 м для распределения в ней корней растений. Трубчатый дренаж укладывается в грунт основания биоплато так, чтобы верх обратного фильтра дренажной засыпки был на одном уровне с поверхностью основания. Дрены укладывают на водоупорные подстилающие грунты или на водонепроницаемый экран.

Длина зоны инфильтрации, т.е. биоплато, в пределах которой часть стока профильтруется через грунт в дренажную сеть, определяется по формуле (4):

$$L_{\phi} = \frac{1,5 \cdot Q}{B \cdot k} = \frac{1,5 \cdot 5183,9}{20 \cdot 10} = 38,9 \text{ м},$$

где L_{ϕ} – длина зоны инфильтрации, м;

Q – расход воды у водовыпуска, м³/сут;

B – ширина биоплато вблизи водовыпуска, $B = 20$ м;

k – средний по площади биоплато коэффициент фильтрации грунта, $k = 10$ м/сут.

Принимаем длину секции биоплато равной 39 м. Длина отдельных секций сооружения имеет уклон поверхности не менее 0,005.

Дренажная сеть в основании биоплощадок проектируется перпендикулярно потоку воды.

Расстояние между дренами рассчитывается по формуле:

$$L = 2 \cdot h_{\phi} \sqrt{\frac{k_{\phi}}{I}},$$

где k_{ϕ} – коэффициент фильтрации нижнего фильтрующего слоя;

h_{ϕ} – толщина нижнего фильтрующего слоя;

$$I = \frac{Q_p}{B \cdot L_d} = \frac{431,99}{20 \cdot 39} = 0,55 \text{ м/сут – интенсивность подачи загрязненных вод.}$$

$L = 2 \cdot 0,5 \sqrt{\frac{20}{0,55}} = 6$ м, принимаем расстояние между дренами равным 6 м. По ширине секции устраиваем 4 дренаи диаметром 50 мм.

Схематичный разрез по оси биоплато по типу интенсивно-дренируемых площадок представлен на рисунке 6.1.

6.2. Инфильтрационное биоплато

Площадь биоплато рассчитывается по формуле В.Г. Магомедова:

$$S = \frac{431,99 \cdot 3,79}{2} = 3274,5 \text{ м}^2$$

Конструктивно принимаем ширину биоплато равной 20 м, длина биоплато равна 164 м.

Мощность фильтрующего основания принята равной 1,2 м по глубине проникновения корневой системы рогоза в грунт. В качестве фильтрующего материала используются гравий, щебень, песок, песчано-суглинистые грунты с коэффициентом фильтрации не менее 0,1 м/сут. Коэффициенты фильтрации различных грунтов представлены в таблице 1.

Определим длину зоны инфильтрации в биоплато, то есть той зоны, в которой происходит очистка в фильтрующей толще грунтов, пользуясь формулой (4), при этом:

$$k = \frac{10 \cdot 1,2 + 5 \cdot 0,2 + 0,1 \cdot 0,2}{1,2 + 0,2 + 0,2} = \frac{12 + 1 + 0,02}{1,6} = 8,14 \text{ м/сут;}$$

$$L_{\phi} = \frac{1,5 \cdot 431,99}{20 \cdot 8,14} = 3,98 \text{ м.}$$

Следовательно, длина зоны горизонтального движения воды (очистка в водной толще зарослях ВВР) составляет:

$$L_z = 164 - 4 = 160 \text{ м.}$$

Схематичные разрез по оси инфильтрационного биоплато и план-схема представлены на рисунке 6.2.

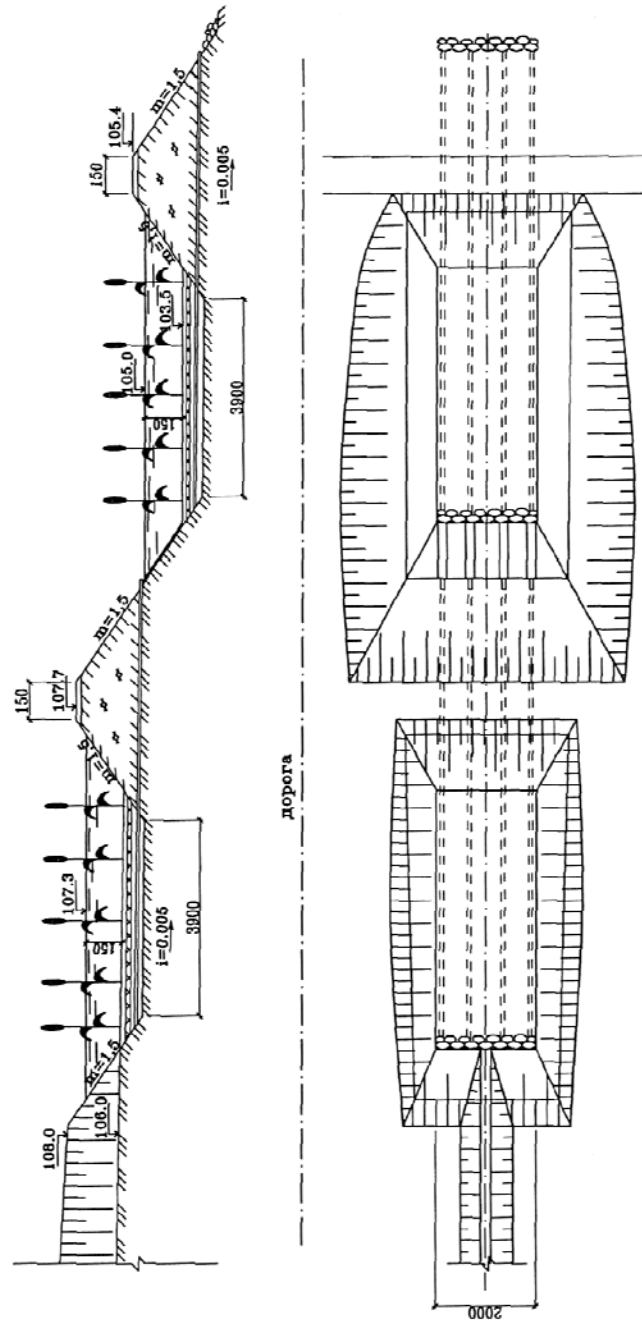


Рисунок 6.1 – Конструкция интенсивно дренируемых площадок

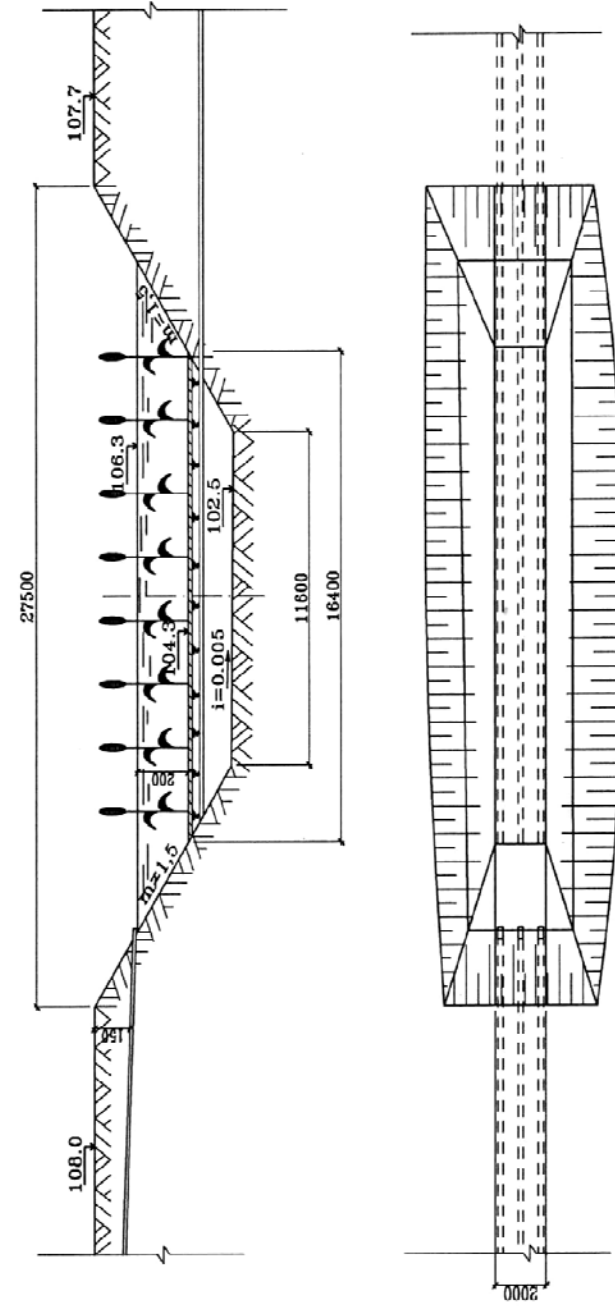


Рисунок 6.2 – Конструкция инфильтрационного биоплато

6.3. Каскад каналов биопрудов

Полезный объем каналов биопрудов определяется по необходимой продолжительности пребывания в нем среднесуточного объема подаваемых на очистку вод:

$$V_{\text{кан.}} = T_p \cdot Q_{\text{см.}},$$

где $T_p = \max \{T_1, T_2, T_i\}$ – продолжительность пребывания в каскаде среднесуточного расхода, сут;

$Q_{\text{см}}$ – среднесуточный расход очищаемых вод, м³/сут. За расчетный расход принимаем $Q_{\text{см.}} = 431,99$ м³/сут

Необходимая продолжительность пребывания воды в каскаде каналов-биопрудов определяется по формуле (СП 100.13330.2016):

$$T_i = \frac{1}{K_{li} \cdot K_2} \cdot \lg \left[\frac{C_{i \text{ бх}}}{C_{i \text{ сб}}} \right], \quad (19)$$

где K_{li} – коэффициент скорости самоочищения по i-му загрязняющему веществу, сут⁻¹;

Определенные на основе экспериментальных исследований значения K_{li} на фоне биогеоценозов рогоза-тростника-ряски в зависимости от температуры очищаемых вод приведены в таблице 6.2.

Таблица 6.2 – Коэффициенты скорости самоочищения

Загрязняющие вещества	Значения коэффициентов, K_{li} , сут ⁻¹ при температуре воды, °С			
	1...5	5...10	10...15	Более 15
Азот	0,05	0,12	0,16	0,18
Фосфор минеральный ($P_{\text{мин}}$)	0,03	0,07	0,09	0,1

Расчет ведем по азоту:

$$T_i = \frac{1}{0,18 \cdot 0,35} \cdot \lg \left[\frac{0,18}{0,08} \right] = \frac{1}{0,063} \cdot \lg 2,25 = 5,59$$

сут, принимаем 6 суток.

K_2 – коэффициент объемного использования. Для секций каналов биопрудов с отношением длины к ширине 2.4:1, $K_2=0,35$;

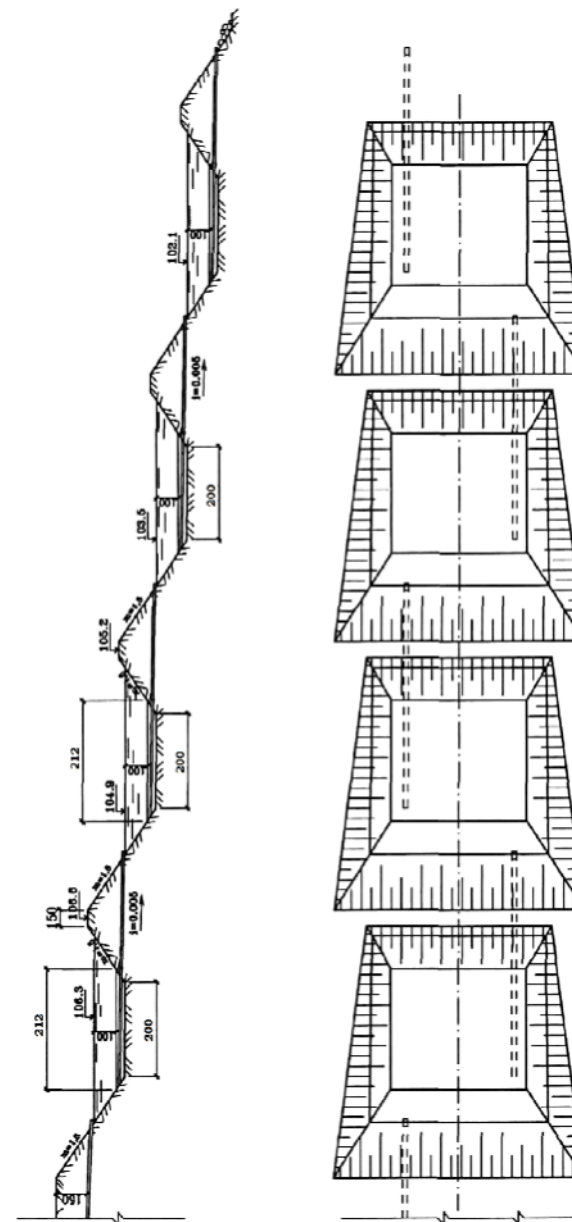


Рисунок 6.3 – Конструкция каскада каналов биопрудов

$C_{ивх}$, $C_{исб}$ – концентрации i -го загрязняющего вещества соответственно в подаваемой на очистку и очищенной воде, мг/л; $C_{ивх} = 0,18$; $C_{исб} = 0,08$;

$$V_{кан.} = 6 \cdot 431,99 = 2591,94 \text{ м}^3,$$

$$L = 2592 : 20 : 1 = 130 \text{ м} - \text{общая длина каналов.}$$

Ширина каналов – 20 м.

Длина одной секции – 32,5 м (конструктивно 33).

Схематичный разрез и план-схема биоплато по типу каскада каналов биопрудов представлены на рисунке 6.3.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Классификация макрофитов, широко используемых в очистке сточных вод

Группы	Подгруппы	Виды растений
Гидрофиты	Воздушно-водные или полупогруженные растения (гелофиты)	Тростник обыкновенный, рогоз узколистый, камыш озерный, осока водяная, манник, ежеголовник простой, болотноцветник кувшинковый, белокрыльник
	Прибрежноводные, но могущие существовать в погруженном состоянии и иметь плавающие листья (амфибииды)	Стрелолист, частуха, гречиха земноводная, рис, хвощи, сусак зонтичный, ирис аэровидный, аир обыкновенный
Гидатофиты	Свободноплавающие (лимнобиум)	Ряска многократная, пузырчатка, сальвиния плавающая, водный орех, водный гиацинт, водокрас, эйхорния, телорез
	Погруженные в воду прикрепленные растения (элодеиды)	Рдест блестящий, пронзеннолистный и гребенчатый, элодея канадская роголистник, темно-зеленый, уруть колосистая, наяда, водная сосенка
	Погруженные в воду и укореняющиеся растения (аэрогидатофиты)	Кувшинка, кубышка

Приложение 2
Основные экологические требования к среде обитания тростника
обыкновенного и рогоза узколистного

№	Факторы среды обитания	Ед. измерения	Данные и характеристики
1	Температура воды и почвы для начала интенсивного роста весной	°С	более 8...10
2	Температура воздуха (летом)	°С	не более 40...50 (на солнце 60...70)
3	Глубина воды (оптимальная)	м	0,5...0,7
4	Глубина воды для вполне сформировавшихся зарослей	м	0,5...2,0
5	рН среды (оптимальная)	Ед	6,5...8,0
6	Соотношение питательных веществ	-	N:K:P (3:2:1)
7	Режим работы	-	проточный
8	Площадь акватории, покрытая растениями	%	95...100
9	Плотность посадки:		
	тростник обыкновенный	экз/м ²	80
	рогоз узколистный	экз/м ²	75

Приложение 3
Эффективность тростника обыкновенного и рогоза узколистного в процессе регулирования качества воды

Макрофиты	Почвы	Фито-масса т/га	Вынос с 1 га, кг										
			азот	фосфор	калий	кальций	натрий	магний	сера	хлор	кремний	железо	марганец
Тростник обыкно- венный	илы	44	668 15,2	278 6,3	420 9,5	198 4,5	42 0,95	25 0,57	88 2	408 9,3	471 10,7	нд 0,2	12 0,3
	песок	13,8	206 14,9	80 5,8	131 9,5	60 4,3	8,6 0,62	6,5 0,47	28 2	154 нд	148 10,7	1,4 0,1	3,8 0,3
Рогоз узколистый	илы	18,7	449 24	122 6,5	256 13,7	254 13,6	127 6,8	22 1,2	45 2,4	374 20	15 0,8	1,3 0,07	8,4 0,45
	песок	13,2	308 23,3	82 6,2	185 14,0	173 13,1	87 6,6	15 1,14	31 2,35	285 21,6	12 0,91	4,05 0,3	6,3 0,48

Примечание: в числителе - вынос всей фитомассой, в знаменателе - в расчете на 1 тонну фитомассы.

Приложение 4
Изменение содержания пестицидов в опытах с гидромакрофитами

Гидро-макрофиты	Пестицид	Содержание пестицидов				Всего подвержено де-струкции, %
		в начале опыта, мг/л	в конце опыта			
			в воде, мг/л	в растениях, мг/кг сырой био-массы	в почве, мг/кг	
Рогоз узколи-стый	Хлорофос	225	46,7	7,0	0,2	76,0
	Метафос	225	0,3	0,0	0,3	99,7
	ГХЦГ Си-мазин	225	0,14	0,7	0,3	99,5
		225	10,4	32,4	11,5	75,8
Камыш озерный	Хлорофос	225	2,7	1,3	0,3	98,1
	Метафос	225	1,0	0,0	0,0	99,5
	ГХЦГ Си-мазин	225	0,14	0,0	0,0	99,9
		225	2,1	2,4	2,9	96,7
Элодея канад-ская	Хлорофос	225	2,6	1,3	0,6	98,0
	Метафос	225	1,28	0,6	0,5	98,9
	ГХЦГ Си-мазин	225	2,4	0,7	0,3	98,5
		225	40,9	0,2	2,9	81,7
Ряска маленькая	Хлорофос	225	0,8	0,01	0,6	99,4
	Метафос	225	1	0,0	0,0	94,5
	ГХЦГ	225	2,4	0,03	0,1	99,7
Вода (контроль)	Хлорофос	125	26,0	-	0,2	79,0
	Метафос	125	17,6		0,6	85,4
	ГХЦГ	125	0,4		Следы	72,8

Приложение 5
Аккумуляция биогенных и минеральных веществ из сточных вод высши-ми водными растениями

Виды расте-ний	Биогены			Макроэлементы								Микроэлементы													
	N	P	K	Fe	Ca	Mg	Na	Cd	Zs	Te	Si	Ag	Cu	Ni	Mo	Pb	Gr	Ba	Al	Mn	V	Zn	F		
Тростник обыкновенный	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+		
Камыш озер-ный	+	+	+	+	+	-	+	-	-	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-		
Элодея канад-ская	+	+	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	+	+	+	-	+	+	-	+	+	-	-		
Рдест прон-зеннолистный	+	+	+	+	-	-	-	-	+	+	+	-	+	+	+	-	+	+	+	+	-	-	-		
Рогоз узколи-стный	+	+	+	+	-	-	-	-	+	+	-	-	+	+	+	-	+	+	+	+	-	+	-		
Роголистник темно-зеленый	-	+	+	-	-	+	-	-	+	-	+	-	+	+	+	-	+	+	-	+	+	-	+		
Рдест гребен-чатый	-	-	-	+	-	+	-	-	+	-	-	-	+	+	+	-	+	+	+	+	-	+	-		
Осока водяная	-	-	-	+	-	-	-	-	+	+	-	-	+	+	+	-	+	+	+	+	-	-	-		
Водный ги-ацинт	+	+	-	-	+	-	-	+	-	-	-	+	-	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-		

Приложение 6
Накопление микроэлементов водными растениями в водохранилище (кг/га водной площади)

Вид растения	Биомасса, т/га в сыром состоянии	Mn	Zn	Co	Cu
Рогоз узколистный	71,9	13,66	0,60	0,01	0,36
Тростник обыкновенный	71,5	15,6	0,50	0,0042	0,35
Камыш озерный	80,5	14,5	0,39	0,004	0,31
Рдест гребенчатый	24	2,5	0,21	0,01	0,03
Рдест блестящий	23,6	4,25	0,40	0,024	0,087

Приложение 7
Количество минеральных веществ (кг/га), аккумулируемых ежегодно из и почвы урожаем тростника обыкновенного

Минеральные вещества	В 10т воздушно-сухой надземной массы	В 50 т воздушно-сухой массы корней	Всего	Минеральные вещества	В 10т воздушно-сухой надземной массы	В 50 т воздушно-сухой массы корней	Всего
Калий	113,8	745	858,8	Натрий	20,7	430	450,7
Фосфор	32,1	90	122,1	Сера	97,2	180	277,2
Кальций	40,1	55	95,1	Азот	47,2	120	167,2
Магний	24,1	70	94,1	Кремнезем	827,1	2845	3672,1

Приложение 8
Концентрация (мг/л) ингредиентов сточных вод, доочищаемых в прудах гидроботанической очистки

Показатели	На входе	На выходе
pH	7,2...8,2	7,7...8,5
Взвешенные вещества	7,8...17,0	3,0...6,8
Нефтепродукты	0...0.8	0
Метанол	0...0.5	0
Формальдегид	0...1,3	0
СПАВ	0...3,04	0...0.3
Цинк	0...0,0006	0
Алюминий	0...0,003	0
Хром	0...0,0003	0
Жесткость общая, мг-экв/л	6,8...11,2	5,3...9,6
Кальций	98...160	72,4...128,0
Магний	27...34	20,4...29,6
Щелочность общая, мг-экв/л	4,0...5,4	2,5...4,2
Сульфаты	240...451	228...406
Хлориды	226...493	204...420
Азот аммонийный	0...0.6	0

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Беглярова, Э. С. Водные объекты на особо охраняемой природной территории бассейна реки Серебрянка / Э. С. Беглярова, А. В. Дмитриева, С. А. Соколова // Природообустройство. – 2017. – № 4. – С. 20-26. 5.
2. Водохозяйственные системы и водопользование / А. М. Бакштанян, Э. С. Беглярова, А. Л. Бубер [и др.]. – Москва : Общество с ограниченной ответственностью «Научно-издательский центр ИНФРА-М», 2019. – 452 с. – ISBN 978-5-16-014286-9. – DOI 10.12737/textbook_5c62791282d144.90563100
3. ВСН 33-2.2.03-86 Мелиоративные системы и сооружения. Дренаж на орошаемых землях. Нормы проектирования.
4. Глазунова, И. В. Анализ предотвращенных ущербов от загрязнения воды при компьютерных расчетах параметров биоинженерных сооружений / И. В. Глазунова, М. В. Барсукова // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. – 2017. – № 2(110). – С. 66-70.
5. Глазунова, И. В. Ассимиляционная способность элементов мелиорированных агроландшафтов при создании биоплато / И. В. Глазунова, С. А. Соколова, В. М. Яшин // Мелиорация и гидротехника. – 2024. – Т. 14, № 2. – С. 108-127. – DOI 10.31774/2712-9357-2024-14-2-108-127.
6. ГОСТ 27065-86. Группа Т00. Межгосударственный стандарт. Качество вод. Термины и определения.
7. Дмитриева, А. В. Основы проектирования водоохраных зон и прибрежных защитных полос : учебное пособие / А. В. Дмитриева, С. А. Соколова, И. В. Глазунова. – Москва : Российский государственный аграрный университет - МСХА им. К.А. Тимирязева, 2016. – 70 с.
8. Гордин И.В., Марков П.П. Замкнутые системы аграрно-промышленного водопользования. М.: Агропромиздат, 1992. – 220 с.
9. Ибрагимов, А. Г. Управление природопользованием : Учебное пособие / А.Г. Ибрагимов. – М.: Росинформагротех, 2017. – 144 с.
10. Качество поверхностных вод Российской Федерации информация о наиболее загрязненных водных объектах Российской Федерации (Приложение к

- ежегоднику, 2019) / М.М. Трофимчук, Е.Е. Лобченко, В.П. Емельянов, О.Л. Романюк, И.П. Ничипорова, Н.А. Лямперт, О.А. Первышева, Н.Н. Оленникова, Н.И. Давыдова, Е.М. Чернова, Е.М. Купряхина. - Ростов-на-Дону: ФГБУ Гидрохимический институт, 2020. – 150 с.
11. Кирейчева Л.В., Глазунова И.В. и др. Рекомендации по повышению эффективности работы дренажа для орошаемых земель России. – М.: Минсельхоз РФ, 1994.
12. Кирейчева, Л. В. Методика расчета прудов-накопителей дренажного стока для локальных участков орошения / Л. В. Кирейчева, И. В. Глазунова // Природообустройство. – 2012. – № 5. – С. 30-34.
13. Кирейчева, Л. В. Мировой опыт эффективного использования водных ресурсов в сельском хозяйстве / Л. В. Кирейчева, И. В. Глазунова // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. – 2010. – № 6(30). – С. 72-77.
14. Научно-прикладной справочник: Многолетние колебания и изменчивость водных ресурсов и основных характеристик стока рек Российской Федерации. – СПб.: ООО "РИАЛ", 2021. – 190 с.
15. Об утверждении Правил охраны поверхностных водных объектов [Текст]: постановление Правительства РФ от 5 февраля 2016 г. № 79.
16. Пособие к ВНТП 01-98 «Оросительные системы с использованием сточных вод и животноводческих стоков». – М.: Минсельхоз РФ, 1998. – 168 с.
17. Раткович Л.Д., Глазунова И.В. Методология использования биоинженерных сооружений в России и за рубежом / ВОДА Magazine (водопользование, водоснабжение, водоотведение), 2011. - №12(52), С.38-43.
18. Раткович, Л. Д. Вопросы рационального использования водных ресурсов и проектного обоснования водохозяйственных систем: Монография / Л. Д. Раткович, В. Н. Маркин, И. В. Глазунова, МГУП. – Москва: МГУП, 2013. – 258 с.
19. Рациональное водопользование / И. В. Глазунова, В. Н. Маркин, С. А. Соколова, Л. Д. Раткович. – Курск : Закрытое акционерное общество "Университетская книга", 2022. – 136 с. – ISBN 978-5-907586-89-5. – DOI 10.47581/2022/Glazunova.01.

20. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2019621448 Российская Федерация. Параметры биоинженерных сооружений в составе схем КИОВР : № 2019621362 : заявл. 07.08.2019 : опубл. 13.08.2019 / И. В. Глазунова ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К.А. Тимирязева» (ФГБОУ ВО РГАУ - МСХА имени К.А. Тимирязева).
21. Соколова, С. А. Комплексная оценка экологического состояния реки Москвы / С. А. Соколова, С. А. Мухамедзянова // Молодежь и системная модернизация страны : Сборник научных статей 7-й Международной научной конференции студентов и молодых ученых. В 5-ти томах, Курск, 19–20 мая 2022 года / Отв. редактор М.С. Разумов. Том 4. – Курск: Юго-Западный государственный университет, 2022. – С. 375-379.
22. СП 100.13330.2016 взамен СНиП 2.06.03-85 Мелиоративные системы и сооружения (Приказ Минстроя России от 16 декабря 2016 г. № 953/пр).
23. СП 33-101-2003 Определение основных гидрологических характеристик (взамен СНиП 2.01.14-83).
24. Стрижков, Д. А. Принципы восстановления эвтрофированных водоемов на городских территориях / Д. А. Стрижков, С. А. Соколова // Проблемы развития современного общества : Сборник научных статей 9-й Всероссийской национальной научно-практической конференции. В 3-х томах, Курск, 23–24 января 2024 года. – Курск: ЗАО "Университетская книга", 2024. – С. 361-365.
25. Ткачев Б.П., Булатов В.И. Малые реки: современное состояние и экологические проблемы: Аналит. обзор / ГПНТБ СО РАН. - Новосибирск, 2002. – 114 с. - (Сер. Экология. Вып. 64).
26. Факторы влияния диффузного загрязнения на водные объекты / Л. Д. Раткович, В. Н. Маркин, И. В. Глазунова, С. А. Соколова // Природообустройство. – 2016. – № 3. – С. 64-75.

27. Шабанов, В. В. Районирование территорий по необходимости комплексного мелиоративного регулирования / В.В. Шабанов, В.Н. Маркин // Природообустройство, 2017. – № 2. – С. 63-68.
28. Beglyarova, S. Change of Indicators of Pollution of Surface Drain of Urban Territories when Carrying Out Construction Work on the Example of the Private Reservoirs of Rivers Likhoborka and Zhabenka / S. Beglyarova, S. A. Sokolova, A. M. Bakshtanin // Power Technology and Engineering. – 2021. – Vol. 55, No. 1. – P. 35-39. – DOI 10.1007/s10749-021-01316-0.
29. Blankenberg A.-G.B., Braskerud B.C. «LIERDAMMEN» — a wetland testfield in Norway. Retention of nutrients, pesticides and sediments from a agriculture runoff: Diffuse Pollut. Conf., Dublin, 2003.
30. Glazunova, I. Development of the water-saving technology for refining high-viscosity watered petroleum in oilfield / I. Glazunova, M. Shiryaeva, A. Bakshtanin // II International Conference on Current Issues of Breeding, Technology and Processing of Agricultural Crops, and Environment (CIBTA-II-2023), Ufa, Russia, 03–05 июля 2023 года. – Les Ulis Cedex A, France: EDP SCIENCES S A, 2023. – P. 2034. – DOI 10.1051/bioconf/20237102034.
31. Healy A., Cawley M. Nutrient Processing Capacity of a Constructed Wetland in Western Ireland // J. Environ. Quality, 2002. – 31. – P. 1739-1747.
32. Karpenko, N. P. Biomeliorant for the restoration of saline and degraded soils in the arid zone / N. P. Karpenko, I. V. Glazunova, D. K. Egemberdiev // International scientific and practical conference "Ensuring sustainable development: agriculture, ecology and earth science" (AEES 2021), London, Virtual, 27–29 октября 2021 года. Vol. 1010. – London: IOP Publishing Ltd, 2022. – P. 012044. – DOI 10.1088/1755-1315/1010/1/012044.
33. Lloyd S.D., Fletcher T.D., Wong T.H.F., Wootton R.M. (Australia). Assessment of Pollutant Removal Performance in a Bio-filtration System: Preliminary Results, 2nd South Pacific Stormwater Conf.; Rain the Forgotten Resource, 27-29 June 2001, Auckland, New Zealand. — P. 20-30

Учебное издание

Глазунова Ирина Викторовна
Соколова Светлана Анатольевна
Раткович Лев Данилович

**ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ
БИОИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ
КАЧЕСТВА ВОД**

учебное пособие

Компьютерная верстка и макет *Горохов А.А.*

Подписано в печать 03.06.2024. Формат 60×84 1/16.

Бумага офисная. Цифровая печать.

Уч.-изд. л. 5,0. Усл. печ. л. 4,6. Тираж 500 экз. Заказ № _____

Отпечатано в типографии

Закрытое акционерное общество «Университетская книга»

305018, г. Курск, ул. Монтажников, д.12

ИНН 4632047762 ОГРН 1044637037829 дата регистрации 23.11.2004 г.

Телефон +7-910-730-82-83 www.nauka46.ru
