

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БИОИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ В РОССИИ И КНР И ПИНЦИПЫ РАСЧЕТА ПРИ ОЧИСТКЕ ДРЕНАЖНОГО СТОКА

Глазунова И.В.¹, Чжу Пейгень²

1. ГНУ ВНИИГиМ Россельхозакадемии, г. Москва, Россия,

2. ФГОУ ВПО МГУП, г. Москва, Россия

На совещании у Председателя Правительства Российской Федерации 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 водопотребления только мелиоративно-водохозяйственный комплекс АПК занимает третье место после промышленности и жилищно-коммунального хозяйства. 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.

В 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 рассредоточенных стоков, организованных шоссежных и ливневых стоков, а также для восстановления самоочищающей 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, шоссежного 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 93,0 % от их годового поступления с бытовыми сточными водами.

По функциональному назначению БИС делятся сооружения на:

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

В большинстве случаев ВВР представлена тростником обыкновенным, рогозом узколиственным 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 АКНА (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. Крефельд 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. куб. м 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 городах *Santee* в 1985 году и *Gersberg* в 1993 году и т.д.

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 °С, зимой +0,8...1,5 °С. Содержание взвешенных и легкоокисляемых органических веществ, выраженных величиной БПК₅, снижалось на 50%. Характерно, что даже в январе и феврале величина БПК₅ выходящей воды не превышала 3 мг/л.



Рисунок 1 - Основные направления применения БИС в мире

При фильтрации грязной воды через заросли макрофитов, растущих по водоотводящим каналам на шахтах Подмосковного 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 (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 (А.С. Воронкин, Ю.Т. Лошаков и др., 1984).

С использованием перифитона разработан биоассимилятор, представляющий систему лотков на сбросном коллекторе (И.А. Гуцал, 1986). 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 мочных 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 (табл. 1).

Таблица1 - 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 фекальных кишечных бактерий,штук/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 обработки выпаривают и используются повторно (рис. 2.).

В городе Лаохэ есть предприятие переработки нефти, в загрязненной воде ХПК составляет 30000 мг/л, биоразлагаемость очень слабая, эти загрязненные воды проходят через жируловитель, 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).

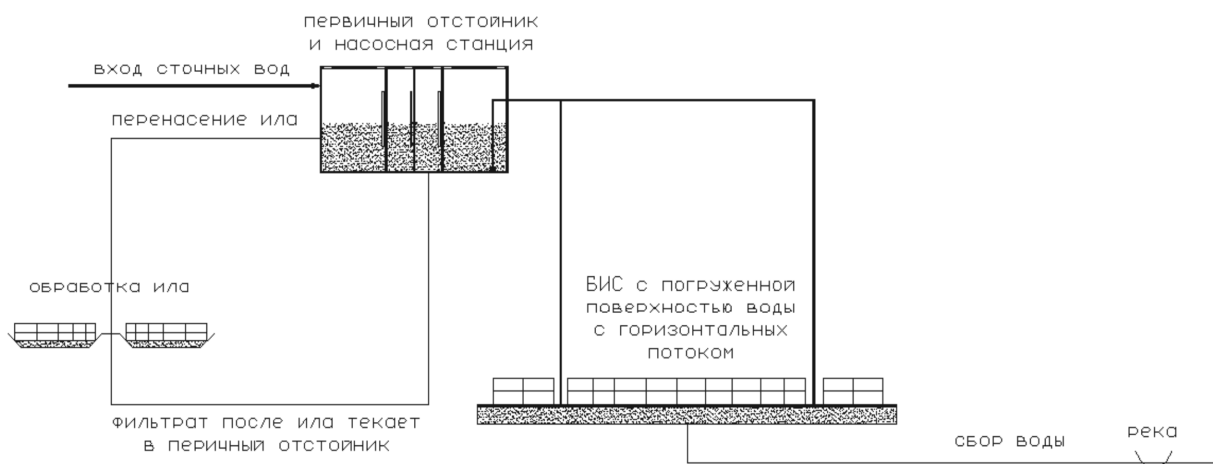


Рисунок 2 - Технологическая схема работы БИС

БИС в жилом районе "Восточное побережье" в городе Шэньчжэнь в Китае, для охраны окружающей среды и экономии водных ресурсов, сточные воды 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-ого года до настоящего времени (рис. 3).

В провинции Юньнань построено БИС для очистки сточных вод завода переработки резины. В загрязненной воде есть частицы резины, углеводы, жиры, растительный 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 $2,5 \div 3,8$ сут, время прохождения через общую систему очистки $3,6 \div 5,5$ сут. Качество воды на выходе удовлетворяет 2-му нормативу сброса, эффективность по ХПК $97,4\% \div 98,8\%$, по БПК₅ $97,5\% \div 98,8\%$, по $\text{NH}_3\text{-N}$ $63,9\% \div 88,8\%$.

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



Рисунок 3 - Вид жилого района (полив зеленых насаждений производится сточными водами, прошедшими доочистку на БИС)

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, расположено 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-ой секции 70 см. Очитка 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.

БИС имеют широкие перспективы применения в мире для очистки от азота, фосфора, по ХПХ, от взвешенных веществ, или при экологических восстановлении прибрежных и водных экосистем.

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. 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 канадская) 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.

Классификация БИС по конструктивным особенностям (рис. 4):

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.

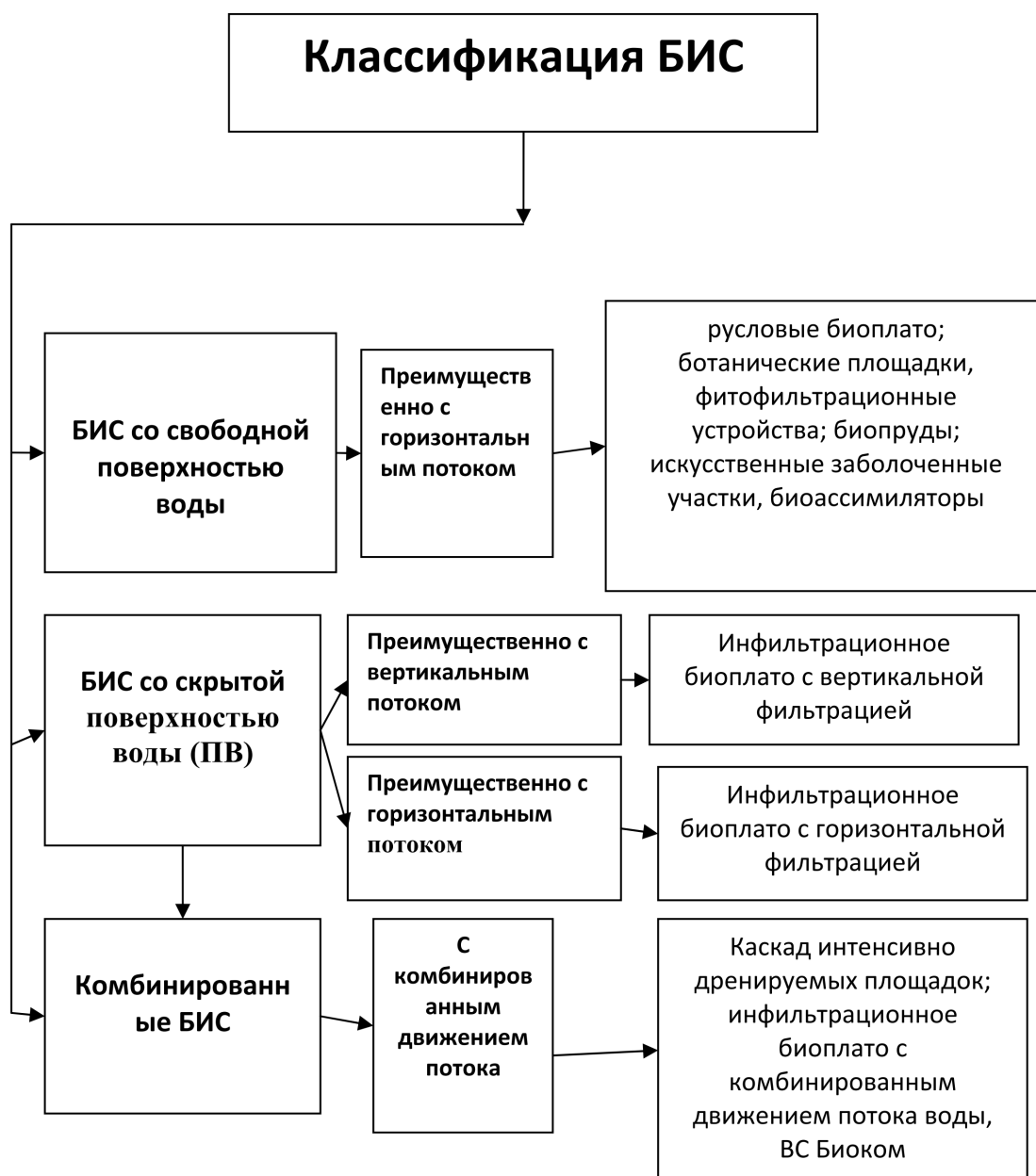


Рисунок 4 – Классификация БИС по конструктивным особенностям

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.

Их 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 по азоту и фосфору, чем БИС с вертикальным течением.

В сооружении грунт находится в ненасыщенном состоянии, на поверхности земли есть слой воды, которая инфильтруется.

Такие БИС занимают меньше 1/3 площади, занимаемой БИС с горизонтальным потоком.

Особенности: а) более эффективная очистка по азоту, фосфору, но недостаточная очистка для органических веществ; б) загрязняет окружающую среду летом; в) сложно регулировать; с) 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 загрязняющих веществ. Они 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 мелководьях риса и разведения рыб, широкой поддержки эти направления не получили ввиду сложности и низкой эффективности при выполнении ширококомасштабных работ.

В Московском университете природообустройства разработана программа подбора основных параметров биоинженерных сооружений для очистки дренажного стока для его последующего повторного использования. 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.

Таблица 2 Условия применения БИС и основные эксплуатационные характеристики

Параметры	Характеристики
1. Условия применения	
1.1.Рекомендуемые грунты	На слабоводопроницаемых грунтах при устройстве сооружения в средне и сильноводопроницаемых грунтах необходимо предусматривать защиту подземных вод от загрязнения (экраны, водонепроницаемые пленки в основании сооружения)
1.2.Уклоны местности	Для многосекционных сооружений рекомендуемые уклоны $0.04 \div 0.08$
1.3.Глубина залегания УГВ	более 5 м
2. Эксплуатационные характеристики	
2.1. Продолжительность периода работы	Определяется периодом года со среднесуточными температурами более $(+5 \div +7)$
2.2. Оптимальная гидравлическая нагрузка	$(0.5 \div 0.7) \text{ м}^3/\text{м}^2.\text{сут}$
2.3. Скорость движения воды в сооружении	$(0.1 \div 0.3) \text{ см/с}$ $(86.4 \div 259.2) \text{ м/сут}$
2.3. Рекомендуемая температура воды и почвы	летом $+18.....+20$ (но не более $+40....+50$) зимой $+0.8....+1.5$
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	$1:0.25 \div 1:3$
2.10. вынос загрязняющих веществ фитомассой ВВР	
- азот	668кг с 1 га
-фосфор	278кг с 1 га
-пестициды	225мг/л
-тяжелые металлы:	80.5 т/га
б) Mn	15.6 кг/га
в) Zn	0.6 кг/га

Параметры	Характеристики
г) Со	0.024 кг/га
д) Си	0.36 кг/га
2.11. Рекомендующие уклоны сооружения	0.005 ÷ 0.02
2.12.Площадь акватории, покрытая растениям	10% ÷ 90% в зависимости от типа сооружения
2.13. рН воды	6 ÷ 8

Литература

1. Пособие к ВНТП 01-98 «оросительные системы с использованием сточных вод и животноводческих стоков. Минсельхоз РФ Департамент мелиорации земель и сельскохозяйственного водоснабжения НИИССВ «Прогресс» , Москва 1998.
2. Безднина С.Я. Экосистемное водопользование (концепции, принципы, технологии).М: «Рома», 1997,137 с.
3. Глазунова И.В., Раткович Л.Д., Соколова С.А. Проектирование биоинженерных сооружений в составе схем комплексного использования водных ресурсов. МГУП, М:2007, 63с.
4. Караушев А.В. Речная Гидравлика Ленинград: 1969, 415с.
5. Пойкер Х. Культурный ландшафт: формирование и уход М.: Агропромиздат, 1987,175с.
6. Интернет ресурсы