

**КАЗАНСКИЙ (ПРИВОЛЖСКИЙ) ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИНСТИТУТ УПРАВЛЕНИЯ, ЭКОНОМИКИ И ФИНАНСОВ**

*Кафедра природообустройства и водопользования*

**Э.Г. НАБЕЕВА, Н.М. МИНГАЗОВА, И.С. ШИГАПОВ**

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ  
МЕТОДЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ВОДНЫХ  
ЭКОСИСТЕМ**

**Казань – 2022**

**УДК 574.635**  
**ББК 28.082**

*Принято на заседании учебно-методической комиссии ИУЭиФ  
Протокол № 7 от 20 апреля 2022 года*

**Рецензенты:**

кандидат биологических наук,  
доцент кафедры природообустройства и водопользования КФУ

**О.Ю. Деревенская;**

кандидат биологических наук,  
ген. директор НПЦ «Экологическая аудиторская компания»

**Ф.Ф. Бариева**

**Набеева Э.Г., Мингазова Н.М., Шигапов И.С.**

**Учебно-методическое пособие «Методы восстановления водных объектов» /**  
Э.Г. Набеева, Н.М. Мингазова, И.С. Шигапов. – Казань: Казан. ун-т, 2022. – 54 с.

Учебно-методическое пособие направлено на ознакомление с существующими способами экореабилитации водных объектов. Предназначено для студентов кафедры Природообустройства и водопользования Института управления экономики и финансов КФУ, изучающих дисциплины «Восстановление водных экосистем, благоустройство и экореабилитация водных объектов» (бакалавры по направлению 20.03.02 «Природообустройство и водопользование»), Восстановление и экореабилитация водных экосистем магистры (Урбоэкология), «Экологические технологии и материалы при восстановлении нарушенных территорий и акваторий» (Безопасность и реабилитация территорий природных и техногенных катастроф), а также широкому кругу читателей, интересующихся указанными проблемами.

© Набеева Э.Г., Мингазова Н.М., Шигапов И.С., 2022

© Казанский университет, 2022

## СОДЕРЖАНИЕ

1. Методология восстановления водных экосистем. Методы восстановления и оздоровления водных экосистем	4
2. Самоочищение водных объектов	6
3. Обоснование проектов восстановления водных экосистем	10
4. Классификация методов восстановления.	12
4.1. Профилактические мероприятия	12
4.1.1. Противоэрозионные мероприятия	19
4.2. Восстановительные мероприятия	36
4.2.1. Изъятие загрязненных донных отложений	36
4.2.2. Аэрирование воды и биофильтры	43
5. Восстановление озерных экосистем	48
6. Восстановление речных экосистем	49
7. Восстановление ветландов	51
Литература	53

# 1. МЕТОДОЛОГИЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ. МЕТОДЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ И ОЗДОРОВЛЕНИЯ ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ

В настоящее время в отечественной и зарубежной литературе имеются сведения по ряду мероприятий, способов и методов, направленных на оптимизацию состояния, предотвращение загрязнения, эвтрофирования, деэвтрофирования и др. В основном эти мероприятия касались либо предотвращения, либо деэвтрофирования.

В 1970-1980-е гг. вышел ряд обзорных работ по методам восстановления («Управление качеством воды в каналах», «Действие аэрации на природные воды» и т.д.). В 1990-е гг. создается Европейский союз восстановления рек, который детально анализировал методы восстановления речных экосистем.

По мнению В.Г. Драбковой и М.Я. Прытковой (1994), восстановление следует понимать не как возврат экосистемы к ее начальному состоянию в далеком геологическом прошлом, а прежде всего как снижение биогенной нагрузки на озеро, прекращение поступления загрязняющих веществ (нефтепродуктов, тяжелых металлов, пестицидов и др.).

В работах сотрудников института гидробиологии НАНУ восстановление понимается как частный случай управления водными экосистемами (Оксиюк и др., 1974, 1980 Оксиюк, Стольберг. 1986; Романенко и др., 1990). В работе В.В. Русанова., Н.М.Мингазовой (1991) восстановление рассматривается как новое направление в гидробиологии.

Понятие «восстановление водной экосистемы» предполагает наличие сведений о начальном (естественном, ненарушенном) состоянии, которые чаще всего отсутствуют, но могут быть получены по аналогии с другими водоемами, расположенными в том же природном районе и не подвергающимися антропогенному воздействию.

Основу научной концепции восстановления озерных экосистем составляют такие понятия и принципы, как природный потенциал экосистемы, трофический статус водоема и устойчивость его экосистемы. При этом природный потенциал озер оценивается величиной биогенной нагрузки на озеро, соответствующей естественному состоянию водоема. По М.Я. Прытковой (1994), необходимо выявление значения минимальной нагрузки, к которому надо стремиться при восстановлении экосистемы озера, но нельзя ставить задачу, связанную со снижением биогенной нагрузки до ее природных значений.

С позиции закона об эволюционно-экологической необратимости (Реймерс, 1994), можно сформулировать два принципа для объяснения процесса восстановления экосистем и биоценозов, а также механизмов этого процесса:

1) Восстановление экосистем и биоценозов из-за связи с внешними условиями идет по пути возвращения прежних условий обитания и состава флоры и фауны (близких к прежним), сформулированный как принцип «генетической памяти» (Мингазова, 1999).

2) Наблюдается не полная, а лишь частичная обратимость биоценозов и экосистем – принцип частичной обратимости при восстановлении (Мингазова, 1999).

Восстановление озерной экосистемы предусматривает и участие естественных процессов самоочищения (приводящих к самовосстановлению), и вмешательство человека по снижению нагрузки загрязняющих веществ с территории водосбора, или вторжению в экосистему для регулирования внутриводоемных процессов. Во втором случае восстановление за счет искусственных мероприятий, по сути, становится одним из видов антропогенного воздействия (управление, регулирование) (Мингазова, 1999).

В отношении методологии восстановления в литературе указывается, что для определения путей восстановления необходимо оценить современное состояние озера, выполнить комплексные (термические, гидродинамические и гидробиологические исследования, изучение донных отложений) исследования (в те-

чение 2-3 лет) и обобщить сведения по изученным водным объектам типа данного региона. На основе этого разрабатывается проект восстановления конкретного озера и осуществляется его мониторинг. Только на основе оценки современного состояния экосистемы можно сделать вывод о необходимости вмешательства с целью ее оздоровления (Прыткова, 1994).

## **2. САМООЧИЩЕНИЕ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ**

Самоочищение - совокупность природных процессов, направленных на восстановление экологического благополучия водных объектов (ГОСТ 27065-86).

Согласно концепции восстановления (Мингазова, 1999) гидробиоценозы в известной степени способны кондиционировать свою среду, противодействовать ее изменениям под влиянием внешних воздействий, т.е. представляют собой систему биологического самоочищения, противостоящую эвтрофированию и загрязнению водоемов, направление и мощность работы которой в значительной мере определяют качество воды. Самоочищение происходит в любых, даже самых загрязненных водоемах; самоочистительная способность связана с продукционно-деструкционными процессами. Восстановительные мероприятия, осуществляемые человеком, как правило, направлены на активизацию процессов естественного самоочищения.

Окисление органических соединений является важнейшей составляющей процесса самоочищения водоема.

Самоочищение водоема – это последовательность физических (осаждение, седиментация), химических (нейтрализация, окисление, сорбция, коагуляция) и биохимических процессов (окисление в присутствии микроорганизмов и т. д.), которая приводит к восстановлению природных свойств водоема.

Эффективность процессов самоочищения зависит от степени сапробности водоема, а также от интенсивности течения в водоеме (самоочищение водоемов с застойной водой (озерах, прудах) происходит медленнее, чем в проточных водоемах (реках)).

Можно выделить три основных механизма самоочищения водных экосистем:

- фильтрационная активность, или фильтры;
- механизмы переноса, перекачивания химических веществ из одной экологической среды в другую;
- расщепление молекул загрязняющих веществ (Остроумов, 2000).

**Механизмы фильтров** — это: а) совокупность беспозвоночных гидробионтов-фильтраторов; б) сообщества высших водных растений (макрофитов), которые задерживают часть биогенов (азот, фосфор) и загрязняющих веществ, поступающих в экосистему с прилегающей территории; в) бентос, задерживающий и поглощающий часть биогенов и поллютантов, мигрирующих на границе раздела вода/донные осадки; г) микроорганизмы, сорбированные на взвешенных частицах, перемещающихся относительно водной массы вследствие гравитационного оседания частиц под действием сил тяжести; в результате водная масса и микроорганизмы перемещаются относительно друг друга, что эквивалентно ситуации, когда вода профильтровывается через зернистый субстрат с прикрепленными микроорганизмами; последние извлекают из воды растворенные органические вещества и биогены.

**Механизмы переноса** включают в себя:

- а) функциональный насос, способствующий перемещению части поллютантов из водной толщи в донные осадки (седиментация, сорбция);
- б) функциональный насос, обеспечивающий перемещение части поллютантов из водной толщи в атмосферу — испарение;
- в) функциональный насос, определяющий перемещение части биогенов из воды на территорию окружающих наземных экосистем — совокупность миграционных процессов в связи с вылетом из воды взрослой стадии (имаго) тех насекомых, у которых личиночная стадия была проведена в воде;
- г) аналогичный функциональный насос, перемещающий часть биогенов из воды на территорию окружающих наземных экосистем — в связи с питанием

рыбоядных птиц гидробионтами (рыбой); при питании рыбоядные птицы изымают биомассу рыб из водной экосистемы и тем самым выносят из воды биогенные элементы, содержащиеся в этой биомассе, поскольку эти птицы гнездятся на территории, окружающей водоем или водоток.

**К механизму расщепления** загрязняющих веществ относятся:

- а) мельница внутриклеточных ферментативных процессов;
- б) мельница внеклеточных ферментов, находящихся в водной среде;
- в) мельница фотохимических процессов, сенсibilизированных веществами биологического происхождения;
- г) мельница свободно-радикальных процессов с участием лигандов биологического происхождения (Остроумов, 2000).

Все эти механизмы реализуются в следующих процессах:

**Биологическая детоксикация.** Все гидробионты в определенной степени способны разрушать и обезвреживать органические вещества (попадая с пищей и водой, они инактивируются в желудочном тракте). В самих телах гидробионтов может идти не только снижение детоксикации, но и биоаккумуляция. Кумулятивный эффект (когда скорость поступления выше чем скорость выведения и накопления может наблюдаться если концентрация загрязняющих веществ невелика).

**Биоседimentация и осветление воды.** Освобождение воды от загрязняющих веществ происходит в результате их биологического перемещения на дно. Захоронение в грунтах делает их менее опасными. Транзит веществ из воды в грунт осуществляется за счет работы организмов-фильтраторов и седиментаторов. Изымая из воды взвеси, фильтраторы и седиментаторы транспортируют их в грунт в виде фекальных комочков или за счет псевдофекалий. Основная часть отфильтрованного материала попадает на дно. В этих процессах участвуют организмы зоопланктона и зообентоса: осцидии, моллюски, ракообразные, колорватки. Особенно велика роль биофильтрации у двустворчатых моллюсков. Мидии длиной 5-6 см отфильтровывают 3,5 л воды в сутки. Благодаря совокупной фильтрационной работе мидий, устриц и др. моллюсков, на побережье создается

биофильтр с вязким слоем псевдофекалий под ним. В нем захоронены взвеси, тяжелые металлы, нефтепродукты (Белова, 1977).

**Биофильтрация.** В пресных водах огромная роль в этом процессе принадлежит перловицам, беззубкам, шаровкам и другим двустворчатым моллюскам. Фильтрация у пресноводных видов выше, чем у морских. Количество фильтруемой воды различается в зависимости от температуры воды и вида моллюска и составляет от 2 л у *Dreissena polymorpha* до 12 л у рода *Anadonta*. Также в осветлении воды участвуют пресноводные рачки. Например, Эти показатели были рекомендованы для водохранилищ Европейской части (Авакян, 1998).

Эффективность процессов самоочищения может быть оценена по показателям (табл. 1.) и расчетным способом.

Таблица 1.

Показатели, по которым можно анализировать эффективность процессов самоочищения (Мингазова, 1999)

Факторы	Процессы, их составляющие	Количественные показатели
Физические	Седиментация (осаждение с учетом разноса течениями, подъем взвесей с газовыми пузырьками, захоронение в грунтах, перемешивание, фильтрация, испарение, действие света и температуры	Содержание взвешенных веществ, прозрачность воды, скорость течения
Химические и физико-химические	Растворение, образование взвесей, сорбция, окисление, восстановление, распад веществ, гидролиз	Содержание загрязняющих веществ, их содержание в воде, грунтах во временном аспекте
Биологические и биохимические	Минерализация органического вещества	Деструкция (характеризуется количеством растворенного кислорода). Редукция- превышение деструкции над продукцией и поступление аллохтонного органического вещества

	Стабилизация органического вещества в процессе утилизации в телах гидробионтов	Вторичная продукция
	Фотосинтетическая аэрация	Интенсивность фотосинтеза, содержание кислорода, первичная продукция, деструкция
	Биологическая детоксикация из-за накопления и разложения в телах гидробионтов	Содержание загрязняющих веществ в телах гидробионтов
	Биомиграция загрязнения	Коэффициент накопления, коэф. распределения, коэф. биоконцентрирования
	Биоседиментация, биофильтрация	Численность и биомасса гидробионтов-фильтраторов и седиментаторов. Прозрачность воды, содержание в воде взвешенных веществ.

Интенсивность аэробных бактериальных процессов в озерах может быть охарактеризована скоростью потребления бактериями кислорода. По этому показателю можно судить о скорости процесса минерализации органического вещества.

По мере увеличения уровня трофности озер, интенсивность дыхания бактериопланктона возрастает. По вертикали, активность дыхания бактериопланктона была максимальной в поверхностных слоях воды в малопродуктивных озерах, в более продуктивных наибольшее потребление кислорода происходило в придонных слоях воды.

### **3. ОБОСНОВАНИЕ ПРОЕКТОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ**

В отношении методологии восстановления в литературе указывается, что для определения путей восстановления необходимо оценить современное состояние озера, выполнить комплексные (термические, гидродинамические и гидро-

биологические исследования, изучение донных отложений) исследования (в течение 2-3 лет) и обобщить сведения по изученным водным объектам типа данного региона. На основе этого разрабатывается проект восстановления конкретного озера и осуществляется его мониторинг. Только на основе оценки современного состояния экосистемы можно сделать вывод о необходимости вмешательства с целью ее оздоровления (Набеева Э.Г., 2010).

В последние 10-15 лет в печати появилось много работ, в каждой из которых излагается свой взгляд на проблему восстановления озерных экосистем, но вместе они формируют основные направления решения этой проблемы. К ним относятся следующие:

- стратегия охраны озерной биоты должна основываться на понимании факторов и процессов, регулирующих состав, структуру и динамику озерных сообществ;

- необходим мониторинг ландшафтных изменений на водосборе и, особенно в зонах, прилегающих к водоему;

- успех мероприятий по восстановлению озер в значительной степени определяется изученностью взаимосвязей между морфометрическими характеристиками озер (объемом, средней глубиной) и водообменном, реакцией озер на поступление в них соединений фосфора, выноса его из озер и захоронение в донных отложениях, фоновых концентраций тяжелых металлов и главных ионов в воде притоков и склонов;

- основой для разработки экологической стратегии управления озерами являются данные по состоянию озер мира, сгруппированные по отдельным странам;

- вода останется чистой, если сохранять и поддерживать естественные условия ее формирования и самоочищения на водосборах рек (Сметанин, 2003).

Создание проектов восстановления требует экологического, экономического и социального обоснования планируемых мероприятий. Существуют определенные последовательности действий для составления успешных проектов.

1. Определение целей восстановительных мероприятий (снизить опасность затоплений, защита и сбережение природных ресурсов, снижение затрат на очистку вод и т.д.);
2. Определение ограничений проекта (наличие особоохраняемых территорий, мест обитания редких видов, экономических ограничений, наличие «красных линий» в проектировании и т.д.);
3. Анализ существующей ситуации;
4. Подбор эффективных мероприятий.

#### **4. КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ.**

Все методы восстановления, существующие в настоящее время, можно условно разделить на профилактические и восстановительные мероприятия.

Профилактические мероприятия направлены на снижение негативного воздействия на водные объекты, путем снижения потока биогенных и загрязняющих веществ с территории водосбора.

Восстановительные мероприятия включают в себя действия, осуществляемые непосредственно на водном объекте и изменяющие его состояние.

##### **4.1. Профилактические мероприятия**

К профилактическим мероприятиям относят мероприятия, проводимые на водосборной площади. Такие мероприятия способствуют уменьшению загрязнения водных объектов, сокращают приток биогенов и общую антропогенную нагрузку на водный объект.

К профилактическим относят ограничительные, запретительные мероприятия, осуществляемые на территории водосбора.

*Таблица 2*

Классификация профилактических мероприятий для экоремедиации  
водных объектов

№	Наименование мероприятия	Содержание мероприятия, методы	Последствия применения
I	<b>Профилактические, предотвращающие эвтрофирование</b>		

1	Ограничительные, запретительные		Снижение количества загрязняющих веществ или прекращение поступления
1.1	Ограничение и запрет сброса сточных вод	Запрет сброса сточных вод и неочищенных стоков, ограничение использования свинца в составе антидетонационных добавок в бензине, усовершенствование существующих процессов. Внедрение безводных, водооборотных и замкнутых систем водоснабжения	
1.2	Очистка промышленных сточных вод	Механические, физические, химические, биохимические, биологические методы очистки	
1.3	Система плат за неорганизованный сброс	- платы за несоблюдение нормативов сброса загрязняющих веществ; за неорганизованный сброс и т.д.	
1.4	Предотвращение загрязнения сточными водами и отходами животноводческих комплексов	Отведение поверхностного стока или очистка механическими или физическими способами	Прекращение поступления загрязняющих веществ
1.5	Предотвращение загрязнения поверхностным стоком с урботерриторий		
1.6	Ограничение рекреационной нагрузки	-соблюдение нормативов (физических, психо-физиологических) -рекреационная нагрузка, - рекреационная емкость - рекреационный норматив	Уменьшение загрязняющих веществ, предотвращение антропогенного эфтрофирования, снижение бактериального загрязнения
1.7	Защита от загрязнения удобрениями и пестицидами	- соблюдение нормативов внесения - применение в виде гранул - правильное складирование - контроль за применением	Уменьшение количества загрязняющих веществ

2	Агромелиоративные		
2.1	Агротехнические мероприятия по регулированию поверхностного стока и правильной обработке почвы	- фитомелиоративные агроприемы, противоэрозионная и безоборотная обработка почв - снегозадержание, агрофи-зические способы обработки почвы	Задержка поверхностного стока на 25-40 %, предотвращение загрязнения взвешенными веществами, биогенами, органическими веществами
3	Лугомелиоративные		
3.1	Залужение	Создание луговых полос вдоль водоемов	Задержание твердого стока до 90%
3.2	Биофильтры из высшей водной растительности	Использование водно-болотной растительности (гелофитов)- тростник, камыш, рогоз.	Задержание твердого стока до 90-100%
4	Лесомелиоративные		
4.1	Лесотехнические мероприятия	-полезащитные (противоэрозионные) -водорегулирующие -прибалочные, приовражные лесные полосы вдоль водоемов и лесные специализированные насаждения (гидромелиоративные, придорожные, лесоукрепительные)	-предотвращение эрозии -поглощение поверхностного стока - снижение концентрации биогенов - задержание биогенов с наносами
5	Почвоохранные		
5.1	Противоэрозионные	Водозадерживающие валы, гребневые, ступенчатые и траншейные террасы, водосборные сооружения в вершинах оврагов. Донные запруды, пороги и перепасы в оврагах, противоселевые и берегоукрепительные сооружения.	Предотвращение эрозии и смыва загрязняющих веществ
6	Гидротехнические		
6.1	Создание окружных каналов-коллекторов	Дренажная система, охватывающая водоем для малых непроточных водоемов (глубиной 1-	Перехват биогенов до 100% (отведение фосфора)

	лекторов (циркуляционных каналов)	1.5 м, с соломой на дне с последующей заменой ее)	
6.2	Создание предводохранилищ	Образование водоемов достаточных размеров на речной сети перед поступлением в водоем (площадью 1-1.5 га)	Перехват биогенов на 50-60%
6.3	Создание прудов-отстойников (копальни или запруды)	Локальные расширения, углубления и запруды на малых реках.	Перехват биогенов на 50-60%
		Примечание: при дополнении этих методов созданием биоплато, количество перехваченных веществ возрастает до 100%	
<b>II</b>	<b>Восстановительные (регулирующие мероприятия)</b>		
1	Гидротехнические инженерные		
1.1	Аэрация воды гипolimниона	Используется для озер. Аэрационная система (насосная станция) различных конструкций (кинетические, механические, пневматические, гидродинамические, электролизные)	Увеличение концентрации кислорода, ускорение процессов нитрификации, снижение бактериального и сероводородного загрязнения
1.2	Создание, усиление проточности	Перекачивание воды (без циркуляционных каналов)	Ликвидация анаэробных условий, ускорение минерализации
1.4	Удаление слоя донных отложений	Удаление методами гидромеханики (землеройными машинами, земснарядами использование плавучих, канатно-экскаваторных и канатно-скреперных установок) верхнего слоя (сапропеля) в заиленных, дистрофирующих и гипертрофных озерах.	Уменьшение концентрации фосфора, торможение развития водорослей
1.5	Экранирование донных отложений	Присыпка загрязненных донных отложений (в том числе после изъятия) слоем в 15-30 см чистого песка, глины или сорбирующего материала.	Предотвращение выхода фосфора из донных отложений

1.6	Аэрация донных отложений	Аэрирование поверхностного слоя (используется для твердых отложений)	Повышение содержания кислорода на поверхности осадков
1.7	Разбавление чистой водой	Разбавление большими объемами, откачка эфтрофной воды при замещении грунтовыми водами	Уменьшение концентрации биогенов и уменьшение биомассы водорослей
1.8	Механические способы борьбы с биомассой водорослей	Проводится периодическое взмучивание грунта до мутности 50-100 мг/л, затенение воды плавающими шарами или изъятие излишней биомассы водорослей	Уменьшение развития фитопланктона и «цветения»
1.9	Обустройство прибрежных и пойменных территорий: берегоукрепительные работы	Крепление береговых склонов габионами матрасами (из оцинкованной сетки, заполняют камнем и увязывают между собой, далее их закрепляют в прибрежной зоне)	Со временем происходит заполнение порового пространства частицами грунта и зарастание растительностью (Сметанин В.И. Восстановление..)
		Железобетонные плиты и каменная наброска	Применяются для защиты береговых склонов в зоне переменного уровня при скорости течения 1-4 м/с, высоте волны до 1.25 м и отсутствии явлений ледяного припая. (Сметанин В.И. Восстановление..)
		Устройство опоясков (Опояски устраивают методом отсыпки каменных материалов непосредственно в воду без предварительной подготовки откоса)	Применяют в условиях незначительной интенсивности размыва подводной зоны береговых склонов, являющейся наиболее сложной для укреп-

			ления крутых склонов (Сметанин В.И. Восстановление..)
2.0	Очистка воды фильтрованием Фильтрующие плотины и запруды	При их возведении добавляют специальный материал, например природный цеолит. Применяют и устройство биофильтров по дну и берегам русла, для очистки воды за счет фильтрации через поры, населенные очищающими воду организмами	Для очистки от загрязнений в малых реках. Природные цеолиты обладают уникальными сорбционными, ионообменными, ионоселективными и др. свойствами. (Сметанин В.И. Восстановление..)
<b>III</b>	<b>Химические</b>		
2.1	Осаждение фосфора в воде	Внесение в воду хлорида железа, сульфата алюминия, гидроксида кальция, сульфата меди, квасцов, извести. Наиболее безопасен для гидробионтов сульфат алюминия.	Используют для технических и декоративных водоемов. Регулируют развитие водорослей, опасны для гидробионтов
2.2	Химические способы борьбы с биомассой водорослей	Использование альгицидов (мукулон, диурун, атразил и коагулянтов (сернокислый алюминий и др. для осаждения водорослей))	
2.3	Внесение нейтрализующих веществ в озеро	Известкование acidified водоемов, внесением $\text{CaCO}_3$ , содержащего 50% $\text{CaO}$ , назначается в зависимости от pH воды и времени водообмена. Крупность известняка должна быть менее 2 мм Вносят на мелководья, в донные отложения, по водной поверхности озера, по льду озера.	Химическая цель-увеличение pH озерной воды более 6.0 и щелочности более 0.15 мг/л, биологическая цель-обеззараживание воды до такой степени, чтобы флора и фауна могли продолжать существовать и заново заселить известкованную воду (М.Я.Прыткова Nyberg, Tornelof, 1988)
<b>IV</b>	<b>Биологические и биотехнические</b>		

3.1	Водоохранное сооружение, использующие высшей водной растительности (ВВР)	<p>Ботанические площадки, фильтрационные устройства, биопруды с посадками макрофитов, искусственно заболоченные участки, различные варианты биоплат- русловые, устьевые, наплывные, инфильтрационные, биоинженерные</p> <p>- <b>береговое (пойменное) плато</b> располагают по берегам реки, образуя мелководные участки путем вертикальной планировки прибрежной полосы</p> <p>- <b>русловое биоплато</b> –мелководье, полностью перегораживающее русло реки и расширяющееся в результате планировки береговой полосы</p>	<p>Очистка воды от соединений азота до 97%, тяжелых металлов до 90%,нефтепродуктов-до 100%, БПК5-до 70%.</p> <p>Происходит увеличение прозрачности воды, уменьшение содержания фосфора (The Changing state of the World's Lakes. Sven Erik Jorgensen, Riccarda de Bernardi)</p>
3.2	Биоманипуляция	Регулирование численности планктоноядных рыб за счет регулирования трофических взаимоотношений. Применяется в олиготрофных и эфтрофных водах	Приводит к повышению численности зоопланктона, снижению количества водорослей
3.3	Использование растительнойядных рыб	Вселение белого амура, толстолобика (для южных районов)	Регулирования роста высшей водной растительности (ВВР)
3.4	Использование вирусов и внутриклеточных паразитов водорослей	Внесение вирусов, лизирующих клетки сине-зеленых водорослей	Приводит к отмиранию водорослей, но потенциально опасен для гидробионтов
3.5	Биоплато из моллюсков	Поселение двустворчатых моллюсков на грунтах и биорифах	Уменьшение количества взвешенных веществ, усиление деструкции, увеличение прозрачности
3.6	Биологическое крепление берегов	По берегам высаживают ивовые породы деревьев, соответствующих условиям данной местности. Применяется для	прибрежная растительность препятствует стоку поверхностных вод

		защиты надводной зоны береговых склонов	ностных вод, ослабляет эрозионные процессы (Сметанин В.И. Восстановление..)
3.7	Бобровые пруды	за- Являются геохимическим барьером на пути миграции некоторых тяжелых металлов	На заболоченных и малопродуктивных для сельского и лесного хозяйства участках водосбора являются естественными очистными сооружениями, способствуя улучшению почв. (М.Я.Прыткова)

#### 4.1.1. Противозэрозийные мероприятия

Противозэрозийные мероприятия - совокупность научно обоснованных приемов защиты почв от водной, ветровой и механической эрозии. Береговая эрозия проявляется в размывании берегов рек, озер и водохранилищ под действием течения, волн, эрозии почвы, ливневых потоков. Следствием береговой эрозии является увеличение потока взвешенных, биогенных и загрязняющих веществ с территории водосбора в водный объект. В дальнейшем это приводит к эвтрофированию водных объектов, заилению и уменьшению глубин водоема.

К противозэрозийным мероприятиям на территории водосборной площади относят:

- залужение сильноосмытых склонов;
- почвозащитные севообороты;
- контурно-поперечная обработка склонов;
- лесомелиорация;
- гидромелиоративные сооружения, например, плотины, системы водорегулирующих валов, быстроток;
- полосное прикатывание и зачернение снега, применение щитов для снегозадержания

В настоящее время имеется большое количество методов укрепления берегов. В зависимости от целей и местных гидротехнических условий используются различные конструкции и материалы. Для укрепления берегов используют «жесткие» и «гибкие» берегоукрепления.

Жесткие берегоукрепления применяются в условиях сильных ветровых и волновых явлений, крутых склонов. Недостатком большинства жестких берегоукреплений является водонепроницаемость, изменение естественного ландшафта (спрямление берегов, удаление естественной растительности). Гибкие берегоукрепления позволяют сохранить естественный ландшафт склона и в дальнейшем способствуют его залужению, созданию новых биотопов.

**К жестким берегоукреплениям относятся:**

1. Подпорные стены.
2. Цементогрунт.
3. Бетонное покрытие береговой линии.

При выборе способа берегоукрепления необходимо провести исследование береговой линии: расположение береговой зоны, определить места и особенности эрозионного процесса (разрушения могут иметь точечный характер или располагаться по всей площади берега – как в надводной, так и в подводной его части); определить уклон берега, состав и специфику грунта, характеристики берегового склона (его высоту, крутизну и пр.); специфику климата данной местности; назначение благоустраиваемой территории.

**1. Подпорные стены**

Подпорные стены используются, при создании набережных рек и водохранилищ, где наблюдается сильное волновое воздействие. Виды подпорных стен могут различаться: подпорные стены набережных массивные, монолитные железобетонные, ряжевые, сборно-монолитные, сборные железобетонные, шпунтовые, выполненные из габионов.

Для обратной засыпки желательно использовать несвязные грунты (пески, песчано-гравийные смеси и т.п.). Такие грунты обладают высоким коэффициентом фильтрации, что позволяет обеспечить быстрый отвод грунтовой воды от

тыловой грани подпорной стены. Применение в проекте связных грунтов (суглинистые, суглинистые и, особенно, глины), помимо чрезвычайной длительности отвода в них воды, грозит явлениями морозного пучения и медленно протекающих процессов уплотнения (осадки). При недостаточном уплотнении засыпки самоуплотнение песчаных грунтов происходит за полгода, а связных — за 2—5 лет.

Для гарантированного понижения уровня грунтовых вод у тыловой грани подпорной стены проектируется пристенный дренаж. Конструкция такого дренажа представляет собой перфорированную трубу, укладываемую вдоль основания тыловой грани внутри обратной засыпки. Труба обсыпается обратным фильтром (обычно это два слоя щебня разной фракции) и обертывается полотнищем геотекстиля. Уклон трубы принимается равным 0,04. Отвод воды из дренажной трубы выполняется с помощью выпускных отверстий на лицевой грани подпорной стены. Шаг размещения таких отверстий обычно составляет от 3 до 6 м, их диаметр — 50 мм (рис. 1).

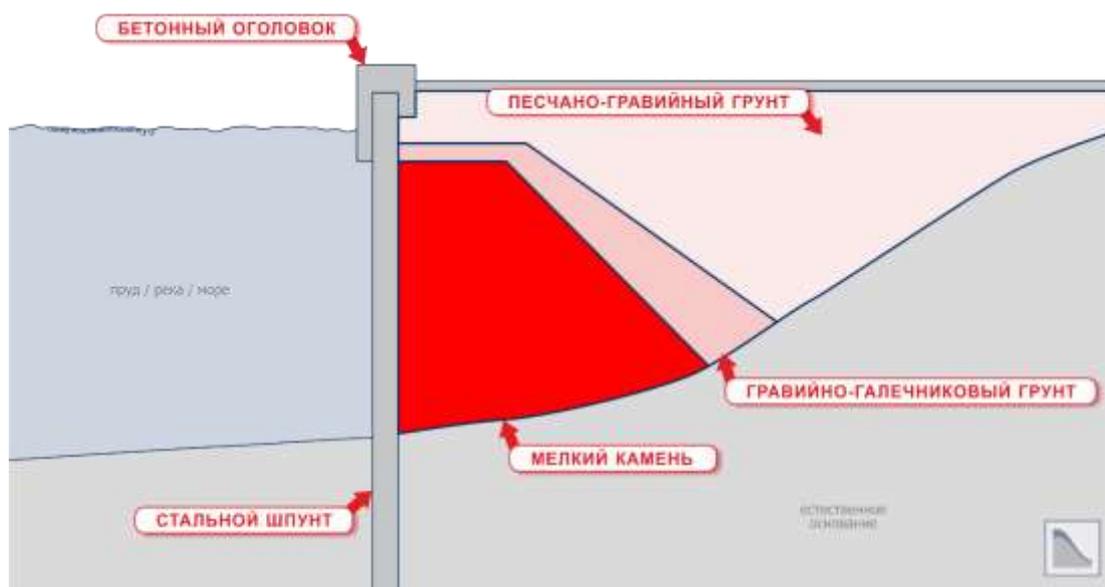


Рис. 1. Схема конструкции подпорной стены.

К достоинствам подпорных конструкций можно отнести:

- прочность
- устойчивость к негативным факторам окружающей среды

К недостаткам подпорных конструкций относятся:

- высокая материалоемкость;
- сложность выполнения работ;
- высокая стоимость возведения;
- необходимость в специальной технике;
- непригодный субстрат для заселения растениями и гидробионтами.

## **2. Цементогрунт.**

Цементогрунт - сильно уплотненная смесь почвы/заполнителя, цемента и воды. По своим качествам материал близок к низким маркам бетона, но в 3-4 раза дешевле, благодаря тому, что в основе его приготовления лежит земляной грунт, вода и цемент. Экономия строительных затрат составляет 40 – 60 % по сравнению с традиционными методами. Сокращение продолжительности строительства на 30-50% по сравнению с традиционными методами. Сооружение из цементогрунта сверху покрывается слоем почвы, поэтому постепенно зарастает естественной растительностью.

В случае выхода цементогрунта на поверхность, он выглядит как естественный береговой вал. Ступенчатый профиль укрепления из цементогрунта обеспечивает безопасную эвакуацию, находящихся на берегу людей в случае опасности. Уменьшает глубину и скорость потока рядом с берегом за счет создания участков стабилизированного грунта. Уменьшает воздействие на среду обитания дикой природы за счет того, что укрепление цементогрунта закладывается вглубь берега, а сверху происходит обратная засыпка почвы и восстановление растительности. Использование природных материалов (на 90%) позволяет снизить объемы импортируемого грунта, а соответственно, уменьшается интенсивность движения грузовиков, загрязнение, экскавация грунта, т.е. минимизируется воздействие на природные ресурсы. Цементогрунт – устойчивая и надежная система укрепления берегов, не поддающаяся эрозии.

Преимущества:

- доступность материала;

- снижение воздействия на окружающую среду в процессе строительства;
- возможность залужения.

Недостатки:

- Принципиальным недостатком является отсутствие исследований прочности и долговечности укрепленных грунтов при отрицательных температурах от -20 до -50 °С и дифференциации требований в зависимости от климатических условий района строительства. При длительном воздействии воды на цементогрунт происходит разрушение структурных связей грунта и начинается процесс разрушения.

### **3. Бетонное покрытие береговой линии**

Бетонное покрытие для формирования и укрепления береговой линии используется давно, многие городские реки имеют бетонированные набережные. Использование бетонного покрытия актуально и для морского берега, подвергающегося эрозионным и волновым процессам (рис. 2).



Рис. 2. Бетонирование морского берега.

Достоинства бетонного покрытия:

- прочность при волновом воздействии;
- нулевая подвижность;

- долгий срок службы;
- устойчиво к воздействию влаги и агрессивной среды.

Недостатки бетонного покрытия:

- нарушает естественный микрорельеф почвы;
- водонепроницаемо;
- при длительной эксплуатации происходит заиливание русла, вымывание грунта;
- непригодно для заселения околоводной растительностью, гидробионтами, птицами и водными млекопитающими.

В настоящее время появился аналог бетонному покрытию - бетонное полотно - это два текстильных слоя с наполнением из сухой цементной смеси высокого качества. Слои соединены между собой текстильными волокнами. С внутренней стороны полотна покрыто слоем ПВХ. Полотно хорошо гнётся и раскатывается по любой поверхности, сохраняя естественный рельеф берега.

Его свойства меняются спустя 1—2 часа после смачивания водой. Цементная смесь застывает, и полотно превращается в прочный слой армированного бетона.

ПВХ-подкладка защищает берег реки от воздействия поверхностных вод. Грунт под бетонным полотном не вымывается в результате атмосферных осадков. Полотно устойчиво к воздействию проточной воды (рис. 3). Слой бетона не вымывается и не разрушается под ее воздействием, поскольку армирован текстильными волокнами.



Рис. 3. Бетонное полотно.

Бетонное полотно применяют в следующих случаях: с большим углом наклона (вплоть до 90 °); со сложным рельефом; высотой более 12 метров; из несвязанного грунта; подверженных эрозии; находящихся под угрозой обрушения; имеющих недостаточно прочное основание; на склонах и берегах, где требуется не только укрепление, но и гидроизоляция (например, чтобы предотвратить вымывание грунта, водную эрозию).

Если берег имеет значительную крутизну, покрытие из бетонного полотна надежно его «стягивает», предотвращает разрушение. Технология Concrete Canvas может применяться в комплексе с георешеткой. В таком случае покрытие можно озеленить, придать ему более эстетичный вид.

**К гибким берегоукреплениям относятся:**

**1. Габионы.** Объёмные скульптуры из металлической или пластиковой сетки, доверху наполненные камнями. Применяют для усиления и предотвращения различных деформаций как на суше, так и под водой. При выборе камней, заполняющих габионы, необходимо обращать внимание на их безопасность и водорастворимость (рис. 4, 5).



Рис. 4. Габионы в берегоукреплении.

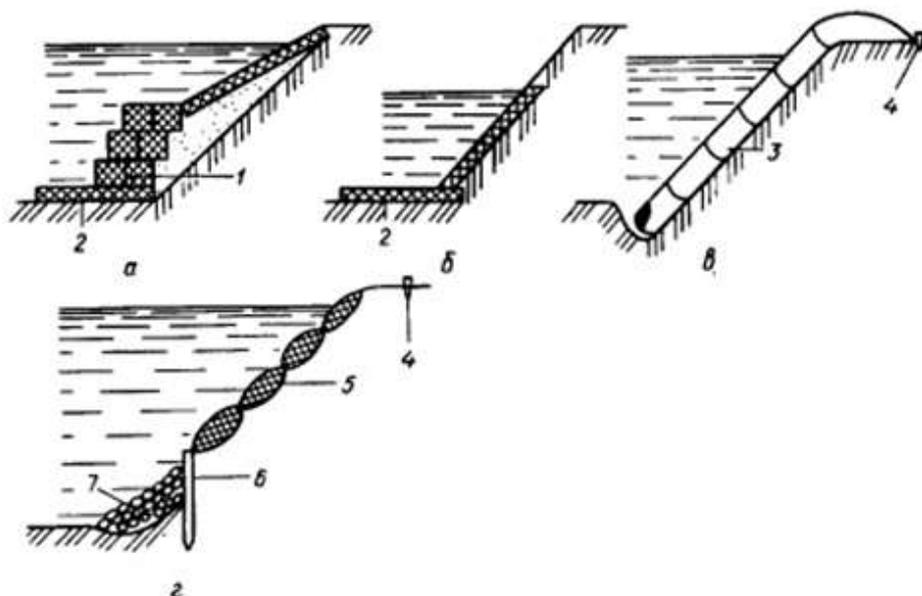


Рис. 5. Конструкции крепления берегов с использованием габионов: 1 - ящичный габион, 2 – туюфяк, 3 – трубчатый габион, 4 – анкерная опора, 5 – кираса, 6 – бетонная стенка, 7 – пригрузка камнем

Достоинства такого метода:

- большое сопротивление нагрузкам динамического и статического характера даже при повреждении целостности конструкции;
- высокая прочность конструкции, высокая коррозионная стойкость;
- проницаемость и пористость, что исключает необходимость установки дренажных систем;
- простота сооружения, использования, отсутствие необходимости масштабного обслуживания;
- экологичность готового объекта, со временем изделия покрываются различными растениями, не задерживают влагу.

Недостатки:

- проектные риски при монтаже высоких конструкций;
- высота стенки из габионов не должна превышать 12 м;
- при подвижных грунтах существуют риски обрушения;
- не способны выполнять функции водоотведения.

**2. Каменная наброска.** Применяется для укрепления откосов насыпей, подвергающихся непосредственному воздействию текущей воды или прибоя. Сооружается обычно из крупного рваного (плитного) камня твердых неветривающихся пород с разравниванием рядов и заполнением пустот мелким камнем; таким же образом выкладываются бермы, поддерживающие и ограждающие откосы насыпей у берегов рек, озер и т. д.

Берегоукрепления из каменной наброски обычно работают в весьма тяжелых условиях. Это наиболее распространенный тип крепления береговых откосов рек и водохранилищ при производстве работ «в воду». Кроме того, крепление каменной наброской не боится местных деформаций грунта (пучение, просадка) и может осуществляться почти в любых встречающихся на практике грунтовых условиях. Каменная наброска легко восстанавливается при частичном разрушении. Работы по устройству каменной наброски можно полностью механизировать.

Крепление из каменной наброски (рис. 6) применяется в районах со сравнительно невысокой стоимостью камня для водоемов, где высота ветровой волны не превышает 2 м, а ледовые условия (толщина льда, возможный навал ледяного поля на откос, колебание уровней воды в зимний период и др.) не могут вызвать значительного повреждения наброски (рис.7). Для более тяжелых волновых и ледовых условий применение каменной наброски носит ограниченный характер, так как необходимость укладки на откос камней больших размеров усложняет производственный процесс.

Иногда наброска производится и без выкладки рядов (рис.8), но тогда наружные поверхности сооружения покрываются более крупным камнем.



Рис. 6. Каменная наброска:

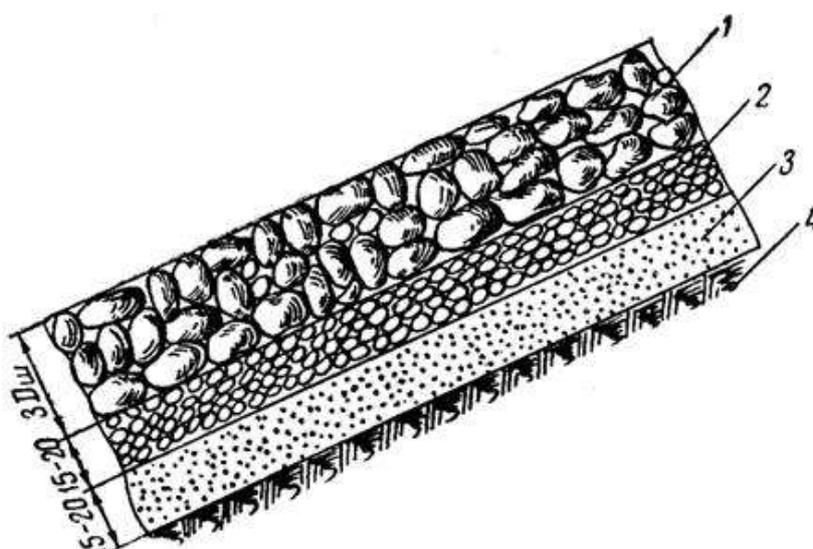


Рис. 7. Каменная наброска: 1 - камень; 2, 3 - слои подготовки; 4 - грунт тела ПЛОТИНЫ.

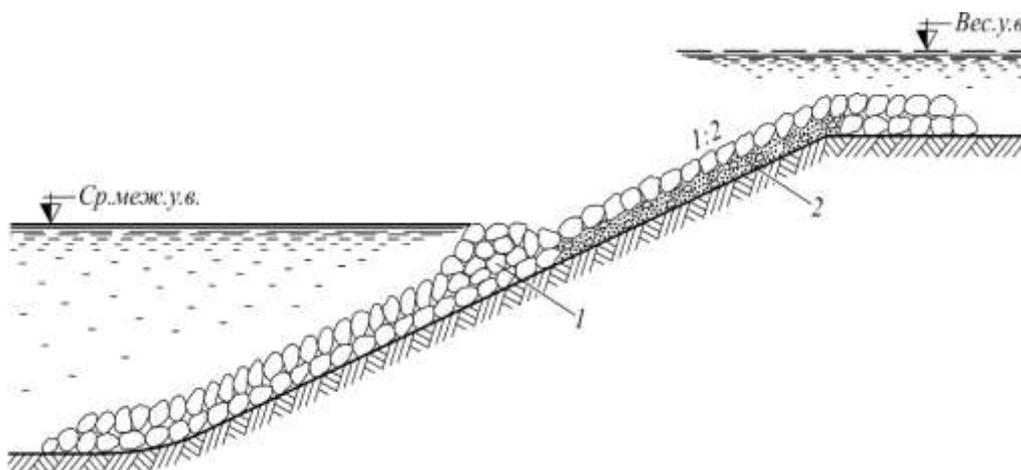


Рис. 8. Укрепление береговых откосов каменной мостовой:  
1 – сопрягающая каменная призма; 2 – слой обратного фильтра

Берегоукрепления из габионов выполняют в виде стенки, покрытий из тюфяков или трубчатых габионов. В Испании распространено крепление берегов плоскими габионами типа кирас. В этом случае на подготовленный откос укладывают две сетки с расстоянием между ними 0,1 ...0,15 м. Скрепляя сетки между собой, образуют отдельные карманы, которые заполняют камнем. Размеры кармана: ширина до 2 м, высота до 0,75 м. Кирасы закрепляют на откосе с помощью анкерных тяжей, пропускаемых через все покрытие. Для предотвращения подмыва основания крепления предусматривают бетонную или шпунтовую стенку либо подушку из каменной наброски.

**3.Георешетка.** Георешетка – сотовая конструкция из полиэтиленовых лент толщиной 1,5 мм, которые скреплены между собой сварными высокопрочными швами в шахматном порядке (рис.9). При растяжении в рабочей плоскости создает устойчивый горизонтальный и вертикальный каркас, что выполняет функцию фиксации наполнителя (грунт, кварцевый песок, камни и т.п.). Наполнитель усиливает берегоукрепление и придает склону естественный вид. Решетку применяют для укрепления берегов с углом наклона до 45°.

Ландшафтная георешетка для укрепления откосов может отличаться по высоте, быть перфорированной, объемной.



Рис.9. Георешетка с заполнением щебнем.

Достоинства:

1. Высокая прочность и надежность геокаркаса при малом весе.
2. Устойчивость материала к влаге, температурным колебаниям, воздействию вредителей и микроорганизмов.
3. Сохранение естественного вида берегового склона и чистоты воды в водоеме.
4. Структура геокаркаса и состав материала не создает препятствий для нормального роста высаженных растений и развития их корневой системы.
5. Быстрый и простой монтаж с минимальным объемом земляных работ без использования тяжелой спецтехники.
6. Универсальность – технология может применяться на стабильных и подвижных грунтах, для укрепления берега водоемов со средним, быстрым течением, стоячей водой.
7. Невысокая стоимость по сравнению с другими методами берегоукрепления.
8. Георешетка хорошо подходит для армирования грунтов.

Недостатки: пропускает воду, что способствует естественному дренажу, но может вызвать вымывание грунта из ячеек.

- **Геоматы.** Геомат – лёгкий, относительно гибкий водонепроницаемый синтетический материал, представляющий собой волокнистую структуру, изготовленную из полимеров. Сама трёхмерная структура может быть хаотичной или регулярной в зависимости от типа геомата. При укреплении откосов, геоматы выполняют следующие роли: армирование грунтов поверхностного слоя; фильтрация воды, для предотвращения вымывания грунтов.

Достоинства применения геоматов:

- Подходит для укрепления откосов с последующей посадкой газонных трав.
- Обеспечивает долговечную противоэрозионную защиту на склонах.
- Изготавливаются из полипропилена, монтаж геоматов проводится в теплое время года, (полипропилен теряет гибкость в минусовые температуры).

- Экологичность. Геоматы изготавливаются из полимеров, итоговый материал химически инертен, что делает его полностью безопасным в использовании. Он не вредит ни здоровью человека, ни окружающей среде. Геоматы нетоксичны, их можно использовать и при контакте этого материала с питьевой водой.
- Устойчивость к внешним воздействиям. Геоматы невосприимчивы к воздействию солнечного света и, следовательно, ультрафиолетового излучения; к микробиологическому воздействию. Материал обладает низкими показателями по воспламеняемости, огнеопасности и дымообразованию.
- Прочность. Материал является прочным сам по себе, устойчивым к различным вредным средам, повышенной прочностью к напряжению на разрыв. Отлично показывают себя при динамических и статических нагрузках.
- Долговечность. Эксплуатационный период длителен, максимальная долговечность возможна случае грамотного соблюдения процедуры укладки геомата.
- Эстетичность. В случае применения геоматов есть возможность сохранить натуральный вид и конфигурацию ландшафта



Рис. 10. Геомат.

Геоматы используются вместе с биологическими типами укреплений (растения, насаждения, которые имеют развитую корневую систему, что позволяет укреплять слой земли).

**Недостатки геоматов:**

- необходимо соблюдать технологию укладки;
- не разлагается в природной среде.

**3. Бетонируемые геотекстильные матрасы.** Сшитые из высокопрочного геотекстиля изделия в форме матраса для заполнения бетоном. Матрас текстильный соткан следующим образом: верхнее и нижнее полотна матраса переплетены друг с другом в регулярно повторяющихся точках, которые действуют как фильтры. Такая конструкция матраса предотвращает размыв грунта под ним, препятствуя выносу грунта с водой. Бетонируемые матрасы – рулонный материал с шириной полотна от 3,75 до 5,30 м, с длиной полотна в рулоне 100 м. Толщина бетонируемых может быть в диапазоне от 3см до 33 см. Вес матраса после заполнения бетоном составляет от 80 кг/м<sup>2</sup> до 750кг/м<sup>2</sup>. Прочность тканого геотекстиля для изготовления матрасов начинается от 40 кН/м и выше. Отдельные полотна соединяют между собой методом сшивания, внахлест и при помощи замков типа молний.

Установленный матрас представляет собой монолитную бетонную плиту, повторяющую форму основания. Структура матраса придает особую форму готовой конструкции, тем самым расширяя сферу применения материала (рис.12). Особая конфигурация матраса с фильтрующими клапанами обеспечивает дополнительную устойчивость конструкции на берегах водоемов с характерными высокими показателями скорости течения, волновой нагрузки и резкими перепадами уровня воды. Работы по установке матрасов допускается проводить при любой погоде в любое время года.

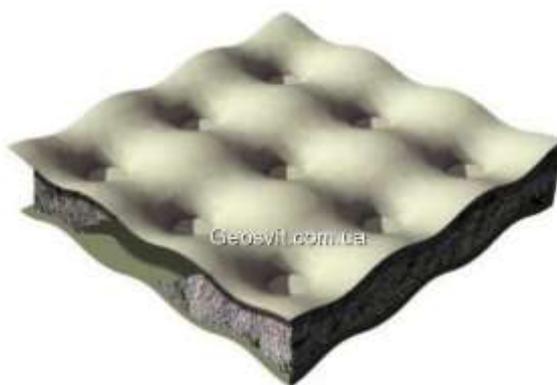


Рис. 11. Бетонируемый матрас

Преимущества использования бетонируемых матрасов:

- прекращаются процессы эрозии берегов и днищ;

- применимы для участков, как с ровной поверхностью, так и при сложном рельефе;
- эстетичный внешний вид;
- сокращение затрат на дноуглубительные работы, отсыпку каменных материалов;
- создаются благоприятные условия для проживания вдоль береговой линии;
- эффективно для морских и речных побережий, в условиях ледоходов и штормов.

Недостатки использования бетонируемых матрасов:

- водонепроницаемость;
- непригодность для последующего залужения.

**4. Технологии стабилизированного грунта.** Технология стабилизированного грунта состоит: из мобилизации сил давления грунта. Стабильность систем стабилизированного грунта обеспечивается совместной работой укрепляющих элементов, которые прокладываются горизонтально в грунтовой массе на определенное расстояние за конструкцию, укрепляющую непосредственно склон берега. Получающаяся конструкция проявляет свойства цельного элемента при воздействии на нее внешних сил. Сочетание свойств цельности и гибкости позволяет использовать технологию стабилизированного грунта для создания крупных гидротехнических сооружений по берегоукреплению.

Технология стабилизированного грунта позволяет защитить поверхность берега как от эрозии, так и предотвратить размыв и вынос грунта берега за счет объединения грунта в единую конструкцию при помощи системы георешеток.

**5. Биоматы.** Биомат — полотно, выполненное на основе растений. Зачастую для его производства применяют кокосовые оболочки, льняные нетканые волокна, джут, солому или составные смеси. Состав подбирается в зависимости от региона, в котором будет использоваться полотно биомата (рис.12). Основной областью, в которой востребованы биоматы, является защита почвы от эрозий,

вызванных влиянием воды и ветров, а также восстановление естественного растительного слоя. С его помощью надежно укрывают землю от осадков (снега, дождя) и ветра, а разлагающиеся со временем волокна служат естественным удобрением.

Достоинства биоматов:

- Использование биоматов с питательной грунтовой смесью позволяет обеспечить густой зелёный покров;
- Биоматы легкие по весу и легкие в монтаже, соответственно и стоимость транспортировки и укладки также ниже на 15-20%;
- Монтаж биоматов возможен круглый год;
- Уникальное свойство биомата препятствовать испарению влаги из почвы снижает необходимость в поливе на 50%, а натуральное джутовое полотно, разлагаясь, повышает плодородие почвы в несколько раз.
- Благодаря биоматам обеспечивается высокий уровень защиты поверхностного слоя грунта;
- Монтаж биоматов позволяет надёжно укрепить грунт на сложных рельефах, не затрачивая много времени и средств, что увеличивает полезную площадь для земледелия и строительства.

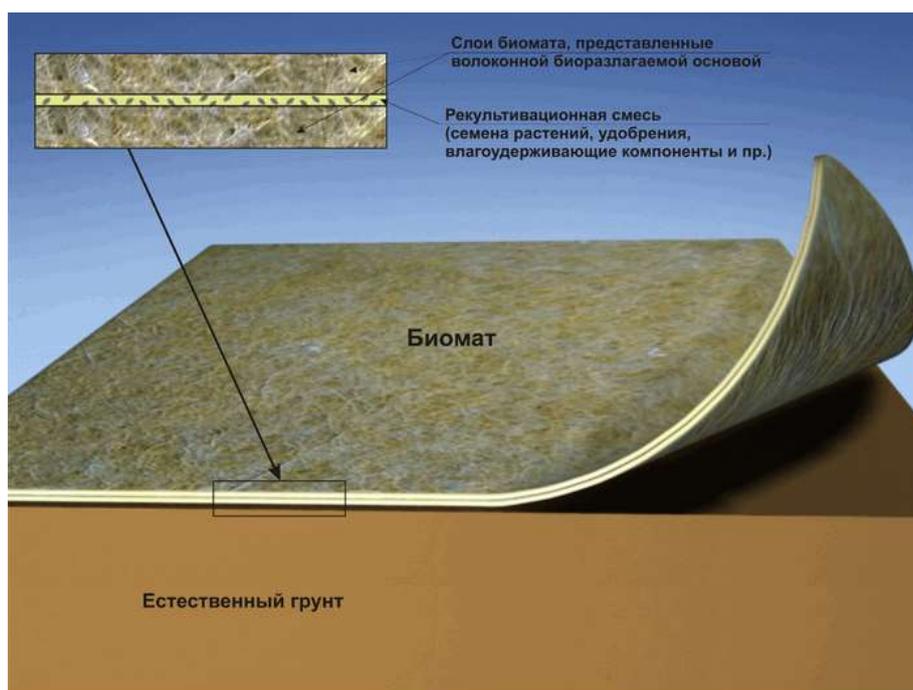


Рис. 12. Схема строения биоматов

## Недостатки применения биоматов:

- биоразлагаемый материал, на поверхности которого семена удерживаются водорастворимым клеем, не подлежит длительному хранению: после трехлетней выдержки всхожесть семян снижается на 30-40%.
- Более совершенные и дорогие материалы - многослойные иглопробивные биоматы, отвечающие всем требованиям газонных и противоэрозионных технологий, но не пользующихся заслуженным спросом из-за повышенной стоимости.
- Маты прошитые на сегодняшний день наиболее востребованные, поскольку сочетают в своей конструкции дешевые бумажные и полотняные основания, более тщательный подбор семенного материала. Существенный недостаток этого материала - неравномерный травостой из-за осыпания семян при небрежной укладке.
- Для больших углов наклона биоразлагаемое основание неприменимо, поскольку снижает эрозионную устойчивость грунтов.

## **4.2. Восстановительные мероприятия**

### **4.2.1. Изъятие загрязненных донных отложений**

Донные отложения играют в водных экосистемах значительную роль, являясь местами резервата ряда веществ в круговороте веществ в водных экосистемах, биотопами для обитания донных организмов и др.

Поэтому изъятие донных отложений в водных объектах должно проводиться лишь частично (поверхностный слой в 1-2 м), и на отдельных участках, а не полностью, во избежание деэвтрофирования и нарушения круговорота веществ.

Удаление слоя загрязненных донных отложений приводит к снижению уровня вторичных загрязнений придонных слоев воды биогенными соединениями (органическими веществами, оксидами азота, фосфора, соединениями тяжелых металлов и т.д.).

Выемка загрязненных донных отложений должна осуществляться в местах наибольшего скопления загрязняющих веществ в донных отложениях. Локализация их и определение объемов изымаемого грунта определяется в ходе подготовительных работ.

Необходимо знать толщину донных отложений, их качественный состав (для определения мест дальнейшего размещения). Добыча донных отложений позволит уменьшить вторичное загрязнение вод, происходящее при распаде органических и неорганических веществ, входящих в их состав. При этом уменьшается содержание общего фосфора в воде, который является причиной масштабного развития сине-зеленых водорослей («цветения воды»).

Выемка осуществляется методами гидромеханики (землеройными машинами, земснарядами с использованием плавучих, канатно-экскаваторных и канатно-скреперных установок, подъемных кранов и экскаваторов, оборудованных грейферными ковшами) верхнего слоя (сапропеля) в более глубоких участках, экскаваторами (в прибрежной территории).

Очистка воды землесосными снарядами включает разработку донных отложений засасыванием из-под воды, гидротранспортирование по системе пульпопроводов и намыв их в гидроотвал-илохранилище. По способу забора и перемещения грунта земснаряды подразделяют на:

Землесосные — извлекающие и перекачивающие грунт в виде водно-грунтовой пульпы с помощью грунтового насоса;

Землечерпальные — поднимающие и перемещающие грунт посредством ковшей или черпаков. В свою очередь землечерпальные снаряды подразделяются на:

- одночерпаковые штанговые, представляющие собой одноковшовый экскаватор, установленный на понтоне;
- одночерпаковые грейферные, представляющие собой подъемный кран, оборудованный грейфером (рис.13);
- многочерпаковые, представляющие собой машину непрерывного действия, с черпаками, закрепленными на бесконечной цепи, натянутой между двумя барабанами (рис.14).
- размывающие — вымывающие грунт струей воды. При этом грунт от места работ относится естественным течением.



Рис.13. Земснаряд с одноковшовым экскаватором



Рис. 14. Многочерпаковый снаряд.

По способу транспортировки грунта земснаряды подразделяются на:

Рефулерный - транспортировка грунта осуществляется по наплавному трубопроводу - рефулеру. Применяется только для землесосных снарядов. Позво-

ляет транспортировать грунт на значительные расстояния. В случае необходимости подачи пульпы на берег к рефулеру присоединяется береговой трубопровод (рис.15)

Лотковый — транспортировка грунта осуществляется по наклонному лотку на небольшое расстояние (до 30 м).

Шаландовый — транспортировка грунта осуществляется шаландами — специальными судами, принимающими грунт в трюм и отвозящими его к месту свалки.

Самоотвозный — грунт принимается земснарядом в собственный трюм и отвозится к месту свалки (рис. 15).



Рис.15. Землесосный снаряд с рефулером.

С гидромониторным выбросом пульпы через конические насадки. Используется данный способ только для землесосных снарядов при работах на устьевых участках рек и на водохранилищах с частым волнением, а так же на каналах, где возможна укладка грунта на берег.

В практике восстановления водоемов разработка донных отложений проводится различными земснарядами, как мелководными универсальными

“WATERMASTER classic – III” с глубиной захвата до 5 м. (рис.4.17), так и глубоководными с захватом до 18 м. При разработке донные осадки смешиваются с водой и в виде 10% пульпы (по твердому веществу) транспортируются на пескоулавливающую установку по гибкому пульпопроводу на расстояние до 3 км (рис 16).



Рис.16. Работа земснаряда

Данная технология позволяет: удалять донные отложения, сохраняя водную массу объектов; работать на водных объектах разной площади; сохранять устойчивость гидроэкосистемы; сократить сроки работ по циклу очистки; снизить затраты по сравнению с традиционными методами очистки; значительно уменьшить объемы к вывозу обезвоженных осадков на полигоны ТБО; не использовать земли под строительство карт намыва; избежать разрушительного воздействия на окружающую среду.

Технология, созданная совместно с ведущими западными специалистами в области экологии водоемов, были успешно применены при реабилитации объектов в Москве и Московской области, таких как: Царицынские и Борисовские пруды, речка Лихоборка и Захарковский карьер (рис. 17, 18).



Рис. 17. Работа земснаряда зимой.



Рис. 18. Мобильный многофункциональный земснаряд «Акватория».

Мобильный многофункциональный земснаряд «Акватория», производит дноуглубление и очистку водоема без спуска воды. Разрабатываемый из-под воды осадок (глина, песок, ил, мелкий гравий и т. д.) по пульпопроводу подается на расстояние до 3000 м на каскад установок по обезвоживанию.



Рис. 19. Мобильный завод по обезвоживанию иловых отложений, (комплекс ленточных фильтр-прессов)

Изъятый грунт необходимо в дальнейшем утилизировать. Он может использоваться в качестве основы для производства компоста, либо (в случае его высокой токсичности) нуждается в дальнейшей рекультивации.

Объем донных отложений, подлежащих изъятию и их качественный состав, устанавливают по данным инженерно-геологических изысканий, проводят буровым способом с привязкой каждой скважины к конкретному створу с отбором керна по глубине в каждой скважине. При этом отбирают пробы воды и измеряют глубины.

По результатам буровых работ строят геологические профили, вычисляют проектную отметку дна водного объекта, по которой будут очищать от донных отложений. Зная среднюю мощность и площадь залегания донных отложений, определяют их объем

$V_{\text{д.о.}} = h_{\text{ср.}} * \Omega$ , где  $V_{\text{д.о.}}$  - объем донных отложений, подлежащих удалению, м;  $\Omega$  - площадь залежи донных отложений, подлежащих удалению, м<sup>2</sup>,  $h_{\text{ср.}}$  - мощность донных отложений, подлежащих удалению, м.

В случае вязких грунтов (как для оз. Средний Кабан) для выемки донных отложений рекомендуется гидромеханизированный метод. При организации работ важно выбрать место для размещения складированных донных отложений и определить размеры отводимой площади для этих целей. В зависимости от гранулометрического состава и степени загрязнения донные отложения складировать временно или на постоянное место. При временном хранении необходимо расположить илохранилище на высоком месте, обеспечивающем процесс их естественного обезвоживания, в пределах доступности транспортных средств.

Гидравлический транспорт донных отложений при разработке их землесосными снарядами осуществляют по системе пульпопроводов, состоящих из плавучего, берегового и распределительного участков, выполняемых в основном из металлических труб.

Экологическими последствиями изымания донных отложений на первых этапах является выход загрязненных веществ в воду. Поэтому для предотвращения выхода рекомендуется после завершения работ по определенным участкам осуществлять последующее экранирование донных отложений.

**Экранирование донных отложений.** Присыпка загрязненных донных отложений (в том числе после изъятия) осуществляется чаще всего слоем в 15-30 см чистого песка, глины или сорбирующего материала. Мероприятие проводится для предотвращения выхода биогенных и загрязняющих веществ из донных отложений.

Метод можно использовать на особо загрязненных участках, при невозможности изъятия загрязненного грунта или после осуществления работ по изъятию загрязненного грунта для формирования гидроизоляционного слоя.

#### **4.2.2. Аэрирование воды и биофильтры**

**Аэрирование** является одним из наиболее действенных способов улучшения газового режима, ускорения окислительно-восстановительных процессов и улучшения качества воды в очистке и доочистке сточных вод.

Аэрирование может проводится различными способами - механическими, кинетическими, гидролизными, пневматическими и др.

К примеру, аэрирование может проводиться с помощью специальных установок. Существуют мобильные установки, состоящие из платформы (где установлены компрессор, генератор, помпы для подачи кислорода) и глубинного генератора подающего кислород или атмосферный воздух, который погружается в воду, устанавливается на дне. Данный метод насыщает глубинные слои воды кислородом, что способствует активизации процессов самоочищения, снижению концентрации загрязняющих веществ в придонных слоях (рис.21) .

Более мощными являются стационарные аэрационные установки (рис. 22). Данные установки позволяют насыщать кислородом глубинные придонные слои озера. Обогащение вод озера кислородом снижает общий уровень загрязнения

вод, концентрацию фосфора и других биогенных веществ, вызывающих рост биомассы фитопланктона («цветение воды»).

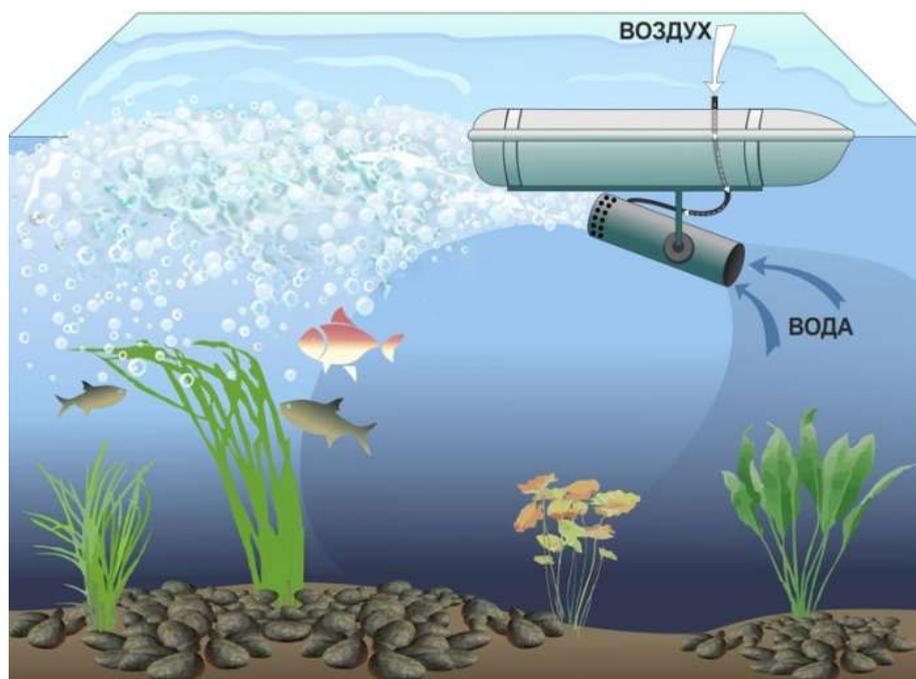


Рис. 20. Схема мобильной аэрационной установки

Данные установки защищают от замора рыб, оздоравливая водную среду. Для лучшей аэрации предусмотрены 6 секций с перфорированными трубопроводами, которые максимизируют площадь воздействия.



Рис. 21. Применение аэрационной установки в водном объекте

Очистка поверхностных стоков может производиться с помощью комплекса методов очистки, включающего очистку сточных вод, аэрирование вод озера, создание вспомогательных экосистем из комплексов погруженной водной

растительности, использование биофильтров. Погруженная растительность потребляет соединения азотной группы из водной толщи, аэрирование способствует окислению загрязняющих веществ.

Аэрационные установки используют как в самом водном объекте, подлежащем очистке, так и во вспомогательных водоемах, имеющих или созданных искусственно для очистки поступающих в озеро поверхностных и ливневых стоков (рис. 23).

**Системы биофильтров** сооружаются в прибрежной зоне или во вспомогательных водоемах и состоят из: водоупорного горизонта, трубопровода, перфорированного отверстиями, слоя гравия. Кислород, подаваемый через трубопровод, создает благоприятные условия для развития аборигенной микрофлоры, перерабатывающей растворенные и взвешенные в воде органические вещества. Таким образом, активизируются процессы самоочищения, снижается содержание органического и биогенных веществ в озере

В качестве биофильтров могут использоваться посадки макрофитов (видовой состав может определяться как аборигенными видами, так и декоративными), которые задерживают взвешенные вещества, потребляют растворенные в воде элементы тяжелых металлов, биогенные вещества и органические (рис. 24.).

Макрофиты могут использоваться также для предварительной очистки воды в каналах, поступающих в водоем (рис. 25, 26). Здесь чередуются мелкие участки (с высаженной растительностью, поглощающей биогенные вещества) и глубоководные участки (где активнее происходит аэрация воды и осаждение загрязняющих веществ).

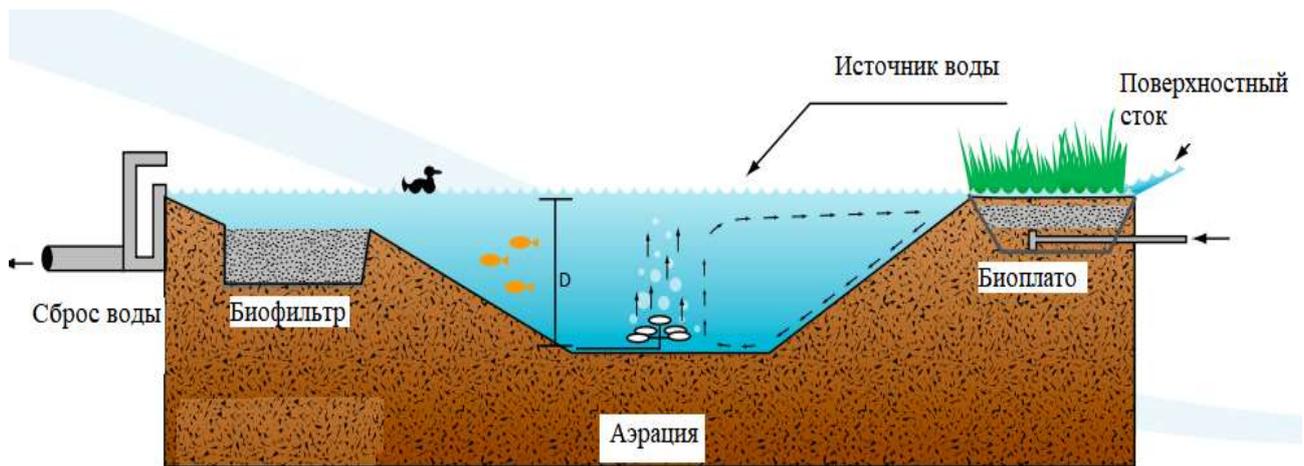
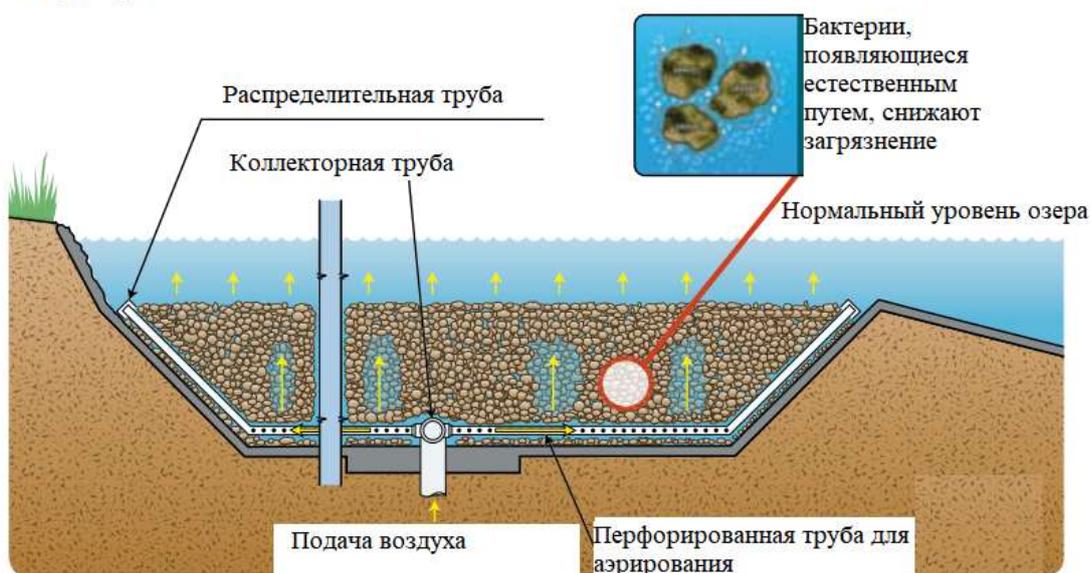


Рис. 22. Аэрация во вспомогательных водоемах [19].

Секция биофильтра



Секция очистки вод

Рис. 23. Системы биофильтров с использованием гравия и аэрации [19].

Секция очистки воды



Рис. 24. Использование макрофитов для перехвата загрязняющих веществ поверхностного стока [19].



Рис. 25. Система водоочистки с участием ветландов

## 5. Восстановление озерных экосистем

В последние 15-20 лет в печати появилось много работ, в каждой из которых излагается свой взгляд на проблему восстановления озерных экосистем, но вместе они формируют основные направления решения этой проблемы. К ним относятся следующие:

- стратегия охраны озерной биоты должна основываться на понимании факторов и процессов, регулирующих состав, структуру и динамику озерных сообществ;

- необходим мониторинг ландшафтных изменений на водосборе и, особенно в зонах, прилегающих к водоему;

- успех мероприятий по восстановлению озер в значительной степени определяется изученностью взаимосвязей между морфометрическими характеристиками озер (объемом, средней глубиной) и водообменном, реакцией озер на поступление в них соединений фосфора, выноса его из озер и захоронение в донных отложениях, фоновых концентраций тяжелых металлов и главных ионов в воде притоков и склонов;

- исследование эфтрофирования озер и возможностей их восстановления с применением новых экологических технологий, исследование органических и металлических микрозагрязнений, их роли в озерных экосистемах, изучение закисления озер и вызывающих его причин, создание банков данных и их использование для установления стандартов по охране вод;

- основой для разработки экологической стратегии управления озерами являются данные по состоянию озер мира, сгруппированные по отдельным странам;

- вода останется чистой, если сохранять и поддерживать естественные условия ее формирования и самоочищение на водосборах рек;

- необходимость информирования населения о ценности водных объектов, необходимости бережного отношения к природным объектам

- соучастное проектирование в случае экореконструкции городских водоемов.

При восстановлении озера необходимо прежде всего перекрыть или уменьшить внешние (на водосборе) источники загрязнения с помощью различных мероприятий (очистные сооружения, отвод от озера различных стоков, пруды – отстойники, вселение макрофитов в гидрографическую сеть с последующей их уборкой, водоохранные мероприятия и др.) способствуют поддержанию количества биогенных и загрязняющих веществ.

Внутренние меры (изъятие загрязненных донных отложений, макрофитов, рыбы, замена воды, аэрация, биоманипуляция и др.). Использование аэрации в зимнее время (при ледоставе) для предупреждения заморов рыб или в летние месяцы для предотвращения (или уменьшения) поступления биогенных элементов из донных отложений в водную массу нельзя рассматривать как восстановительную меру. В этих случаях аэрация позволяет избежать критических ситуаций на озерах, но не решает проблемы оздоровления водоема в целом.

## **6. Восстановление речных экосистем**

В литературных данных определено 7 видов мелиораций малых рек (технические, водные, земельные, воздушные, химические, растительные и зоомелиорации). Мелиорация рек заключается не только в строительстве сооружений и реализации комплексных мероприятий (т.е. создании гидротехнической системы, которая входит в состав комплексной системы управления водосбором реки), но и в соблюдении научно-обоснованных режимов эксплуатации (регулирования), что возможно созданием на базе малых и средних рек управляемых мелиоративно-хозяйственных систем (речная МХС).

Устройство известняковых барьеров. Метод используется для нейтрализации кислых карьерных вод. Эффективность этих устройств определялась шириной каждого из них. Устройства были наиболее эффективными при малой скорости течения, когда вода имела максимальный контакт с известняком. Барьеры

улучшают качество воды и значительно изменяют среду обитания водных организмов в реке.

Реконструкция русл малых рек. Перемещают русла часто при проведении рекультивационных работ на новых или заброшенных разработках карьеров. При этом реку возвращают в запасное русло (проект Катависса-Крик), либо создают новое (проект Бич-Крик) с укреплением дна русла изоляционным слоем песка и бентонита и каменной наброской.

Регулирование расхода воды. От расходов воды зависят уровни, скорости течения, процессы в русле, процессы самоочищения (табл.3).

Таблица 3

Регулирование уровней воды

Задачи	Что достигается решением задач?	Решение
1. Поддержание уровней в соответствии с расходами воды	<ul style="list-style-type: none"> <li>- оптимизация водно-воздушного режима во всей зоне влияния рек;</li> <li>- обеспечения продуктивности фитоценозов;</li> <li>- дренирование прилегающей территории;</li> <li>- затопление поймы (в соответствии с фазами развития луговых трав и ходом рыб на нерест);</li> <li>- соответствие требованиям рекреации и экологии</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- изменение профиля русла (расчисткой или сужением)</li> </ul>
1. Повышение уровня	<ul style="list-style-type: none"> <li>- создание запаса воды в сезонных русловых водоемах и пойменных копанях накопленной воды</li> <li>- подпор уровня грунтового потока в пределах поймы;</li> <li>- сосредоточенный попуск накопленной воды на другие участки реки и для других целей</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- регулирование пропускной способности поймы;</li> <li>- регулирование уровня попусками расходов воды;</li> <li>- подпорные сооружения;</li> <li>- включение стариц и разработка дополнительных русел;</li> <li>- обвалование (незамкнутое) пойменных массивов;</li> <li>- регуляционные сооружения (донные</li> </ul>

		пороги, дамбы, полузапруды и др.)
2. Понижение уровня	- необходимое дренирование прилегающей территории; - увеличение скоростей в русле в отдельных зонах; - создание благоприятного режима для биоценозов	- дноуглубление; - регулирование уровня временным спрямлением излучин; - ликвидация много рукавности; - гладкие берегозащитные конструкции

Для задержания наносов на подступах к реке рекомендуется использовать отвод потока русла пропуском его через искусственный илофильтр, разработка нового русла с отводом наносов в старое, устройство наносохранилищ в балках (Мордвинцев, 2002).

Расчистка русел При планировании работ необходимо уточнить параметры расчистки (глубину, ширину, форму русла), оценку последствий, технологию расчистки, выбор места складирования грунта.

**Методы восстановления донных субстратов включают:**

- физическое перемещение или добавление грунтов;
- механическая очистка/перемещение естественных субстратов с помощью гидравлических приспособлений (земснаряд, драга);
- аэрирование донных отложений;
- использование микроорганизмов для очистки донных отложений от загрязняющих и биогенных веществ;
- экранирование дна (инертными материалами, не выделяющими в воду загрязняющих веществ).

## 7. Восстановление ветландов

Основные методики восстановления ветландов направлены на восстановление водного питания осушенных территорий и высадку аборигенных видов растительности. Такие методы включают:

- повышение уровня воды в каналах для затопления территорий;
- создание дамб, задерживающих поверхностный сток с территории;
- расчистка каналов, подающих воду на территорию ветландов.

Кроме того, в последнее время во многих странах создаются искусственные ветланды, которые представляют собой затопляемые территории, выполняющие следующие функции:

- поддержка естественной ширины и глубины каналов;
- уменьшение эрозии берегов;
- создание условий произрастания деревьев и кустарников, те;
- уменьшение стока наносов и защита мест затопления;
- улучшение качества воды снижением количества биогенов и поллютантов
- предвидение гидрологического режима, снижение риска наводнений на участках ниже по течению.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Авакян А. Б., Асарин А. Е. Опыт экологизации уровня режима водохранилищ (на примере Иваньковского) // Пространственная структура и динамика распределения рыб во внутренних водоемах. Ярославль, 1998. С. 71–84.
2. Белова И.В., Константинов А.С. Зоопланктон//Волгоградское водохранилище (население, биологическое продуцирование и самоочищение). - Саратов, 1977. - С. 153-157.
3. Восстановление экосистем малых озер / Отв. ред.: В.Г.Драбкова, М.Я.Прыткова, О.Ф.Якушко. - С.-Петербург: Наука, 1994. - 143 с.
4. Гибшман М. Е., Попов В. И. Проектирование транспортных сооружений : Учебник для вузов. — Москва, 1988 - 447 с.
5. Макарецва Е.С. Биоманипуляция//Восстановление экосистем малых озер/Отв. ред.: В.Г.Драбкова, М.Я.Прыткова, О.Ф.Якушко. - С.-Петербург: Наука, 1994. - 143 с.
6. Мингазова Н.М. Антропогенные изменения и восстановление экосистем малых озер (на примере Среднего Поволжья) // Дисс. ... на соиск. степ. докт. биол. наук. Казань, 1999. Т. 1. - 460 с. Т. 2 (приложение). - 260 с.
7. Набеева Э.Г. Оценка восстановления и самоочищения разнотипных водных экосистем по показателям макрозообентоса // Дисс. .... на соиск. степ. канд. биол. наук. – 2010. – 180 с.
8. Реймерс Н.Ф. Экология (теории, законы, правила принципы и гипотезы) — М.: Журнал «Россия Молодая», 1994. - 367 с.
9. Остроумов С.А. Водная экосистема: крупноразмерный диверсифицированный биореактор с функцией самоочищения воды // Доклады РАН, 2000, т. 374, №3, с. 427–429.
10. Сметанин В. И. // Восстановление и очистка водных объектов./ — М.: КолосС, 2003. — 157 с.

11. Технический железнодорожный словарь. - М.: Государственное транспортное железнодорожное издательство // Н. Н. Васильев, О. Н. Исаакян, Н. О. Рогинский, Я. Б. Смолянский, В. А. Сокович, Т. С. Хачатуров. - 1941.

**Интернет –источники:**

12. Проектирование подпорных стен. Гидротехническое бюро // Сайт строительной организации/ URL: <https://www.gidroburo.ru/index.php/a-proektirovanie/a-8-podpornye-steny/73-a-8-04-obratnaya-zasypka-podpornykh-sten>.

13. Информационный справочный сайт. Лекционный сайт // URL: <https://poznayka.org/s66291t2.html>.

14. Сайт компании - производителя геотехнических продуктов. [https:// URL: kazan.geoproduct.ru/info/articles/o-gabionakh/ukreplenie-beregov-gabionami/](https://kazan.geoproduct.ru/info/articles/o-gabionakh/ukreplenie-beregov-gabionami/) - Геопродукт.

15. Сайт компании – производителя геотекстильных материалов // URL: <https://stsgeo.ru/beregoukreplenie-georeshetkoi/>.

16. Сайт компании – производителя бетонизируемых матрасов // URL: <https://uccr.su/material/>.

17. Сайт компании – производителя биоматов // URL: <https://geofabrika.ru/geosynthetics/biomaty/>.

18. Сайт ландшафтной организации // URL: [https://georex.ru/cat\\_resch/chtotakoe-gazonnye-biomaty-v-landshaftnykh-rabotakh/](https://georex.ru/cat_resch/chtotakoe-gazonnye-biomaty-v-landshaftnykh-rabotakh/).

19. Сайт ландшафтной организации // URL: <http://www.aquatorygroup.ru/html/gidromech1/>.

20. Презентация продукции компании PACE , создающей и восстанавливающей водные объекты // <http://pacewater.com/wp-content/uploads/2012/05/PACE-Brochure.pdf>.