

На правах рукописи

**ДАИШЕВ Шамиль Талгатович**

**ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОХРАНЫ И  
ВОСПРОИЗВОДСТВА ВОДНЫХ РЕСУРСОВ НА  
МЕЛИОРИРУЕМЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕН-  
НЫХ ВОДОСБОРАХ  
(на примере Северо-Запада РФ)**

Специальность: 25.00.36 – Геоэкология

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
доктора технических наук

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГ**  
**2001**

Диссертационная работа выполнена в Северном научно-исследовательском институте гидротехники и мелиорации (1988-1998 гг.) и Северо-Западном научно-исследовательском институте комплексного использования и охраны водных ресурсов (1999-2001 гг.)

Научный консультант: член-корр. РАСХН, доктор технических наук,  
профессор **Штыков В.И.**

Официальные оппоненты: Доктор технических наук, профессор,  
**Шульман С. Г.**

Доктор геолого-минералогических наук, профессор,  
**Питулько В. М.**

Доктор технических наук, заслуженный деятель  
науки республики Карелия  
**Нестеренко И. М.**

Ведущая организация: Головной научно-проектный центр  
**ЛЕНВОДПРОЕКТ**

Защита состоится 18 декабря 2001 г. в 16 часов на заседании диссертационного совета Д. **212.229.17** в Санкт-Петербургском государственном техническом университете по адресу: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29, ПГК, ауд. 411.

С диссертацией можно ознакомиться в фундаментальной библиотеке университета (СПбГТУ)

Автореферат разослан 16 ноября 2001 года

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
кандидат технических наук, профессор

Орлов В.Т.

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

**АКТУАЛЬНОСТЬ ПРОБЛЕМЫ.** Северо-Запад богат водными ресурсами (ВР), однако значительная часть местного стока - 5,4 % в Ленинградской, 12 % в Тверской, 13,8 % в Псковской, 20 % в Московской, 75% в Калининградской области формируется на территориях используемых в с.-х. производстве и подвержена загрязнению.

В настоящее время экологическая ситуация на мелиорируемых с.-х. водосборах существенно улучшилась, по сравнению с периодом 1985-90 гг., что обусловлено резким снижением интенсивности и объемов с.-х. производства. Однако, решение проблемы продовольственной безопасности страны и социально-экономическая необходимость восстановления отечественного с.-х. производства в прежних объемах, требует применения доз удобрений, по крайней мере, восполняющих вынос биогенов с урожаем, наращивания поголовья скота и кормопроизводства, возобновления работ по техническому обслуживанию и реконструкции мелиоративных систем, что неизбежно вернет показатели выноса загрязняющих веществ на прежний уровень.

Проблема загрязнения водных объектов рассеянным диффузным стоком с с.-х. водосборов относится к наиболее трудно решаемым, т.к. при относительно небольших концентрациях загрязняющих веществ объемы выхода загрязненных вод огромны. Однако, без ее решения такие дорогостоящие мероприятия, как замкнутость водопользования в промышленности, повышение эффективности работы очистных сооружений в коммунальном хозяйстве не дадут ожидаемого эффекта по замыкающим створам.

В связи с вышеизложенным, разработка научных основ, методов и технологий охраны и воспроизводства ВР в условиях мелиорируемых с.-х. водосборов на основе комплексного экосистемного подхода, природоимитирующих технологий мелиоративного и с.-х. освоения водосборов, гармоничного сочетания экологических, социальных и экономических приоритетов является важной и актуальной проблемой.

**ЦЕЛЬ ДИССЕРТАЦИИ** - разработка научных основ, методов и технологий охраны и воспроизводства ВР на мелиорируемых с.-х. водосборах. Для ее достижения необходимо решить следующие задачи:

1. Разработать концепцию охраны и воспроизводства ВР, с учетом особенностей с.-х. производства на мелиорируемых водосборах, общих целей и задач, стоящих перед водным хозяйством страны.

2. Провести экспериментальные исследования потоков биогенных и загрязняющих веществ на мелиорируемых с.-х. водосборах, как целостных объектах, в рамках бассейновых ландшафтных структур и их фрагментах - частных водосборах, отличающихся по степени антропогенного воздействия, вкладу в формирование качества воды по замыкающим створам.

3. Провести исследования экосистем искусственной гидрографической сети (ИГС), влияния ее компонентов на формирование качества воды.

4. Исследовать эффективность и разработать технологические принципы организации водоохраных сооружений в русле ИГС – отстойников-биопрудов,

биоканалов, аквасистем, рассеивающих выпусков сбросных вод, водоаэрационных сооружений, с учетом специфики работы в условиях резко меняющихся гидравлических и биогенных нагрузок.

5. Разработать принципиальные схемы, исследовать водоохранную эффективность и основные технологические параметры биоинженерных сооружений (БИС), для очистки ливневых и талых вод с территорий объектов инфраструктуры с.-х. производства, с учетом специфики их качественного состава и условий образования.

6. Исследовать водоохранную эффективность прудов и малых водохранилищ на с.-х. водосборах, разработать критерии оценки их водоохранного потенциала, методы управления качеством воды малых водоемов.

7. Разработать методы обоснования нагрузки с.-х. производства на мелиорируемые водосборы, обеспечивающей охрану и воспроизводство ВР.

ОБЪЕКТАМИ ИССЛЕДОВАНИЯ являлись:

- мелиорируемые водосборы, как целостные объекты и их фрагменты, осуществляющие воспроизводство ВР;

- различные по условиям формирования и степени антропогенного воздействия типы воды – дренажные, сбросные мелиоративных систем, ливневые и талые воды от объектов инфраструктуры с.-х. производства, речные воды, по створам отличающимся разной степенью с.-х. освоенности, воды природного фона, в результате смешения и трансформации которых формируется качество ВР;

- концентрирующая сток ИГС, включающая различные по типоразмерам и назначению каналы открытой мелиоративной сети, канализованные водоприемники, накопители дренажного стока; системы ливневой канализации населенных пунктов, объектов инфраструктуры, дорожной сети;

- компоненты экосистем ИГС, иловые отложения и высшая водная растительность (ВВР), влияющие на формирование качества ВР;

- естественные водоохранные ландшафтно-геохимические барьеры и БИС.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. В работе применен комплекс полевых, лабораторных, теоретических методов исследований; комплексный экосистемный подход к анализу полученных результатов. Методической основой является концепция государственной политики устойчивого водопользования РФ, труды отечественных и зарубежных ученых по вопросам охраны и комплексного использования ВР.

НАУЧНАЯ НОВИЗНА. В диссертации разработаны, научно обоснованы, подтверждены результатами экспериментальных исследований методы и технологии охраны и воспроизводства ВР на мелиорируемых с.-х. водосборах. Впервые получены следующие конкретные результаты:

1. Сформулирована концепция охраны и воспроизводства ВР на мелиорируемых с.-х. водосборах, разработаны методы и технологии ее реализации.

2. Разработана классификация различных по условиям формирования и степени антропогенного воздействия типов воды на мелиорируемых водосборах, дифференциация которых обоснована закономерным изменением их

свойств, загрязненности, стабильности гидрохимического состава, статистических характеристик распределения концентраций загрязняющих веществ.

3. Исследованы основные компоненты экосистем ИГС и закономерности их функционирования: видовой состав ВВР, зарастаемость ИГС, биомасса и вынос загрязняющих веществ с надземной и корневой частями ВВР; динамика накопления, водно-физические свойства, качественный состав иловых отложений и их внутриводных растворов, выполнена количественная оценка круговорота биогенных веществ в экосистемах ИГС.

4. Разработаны технологические принципы организации водоохраных сооружений в русле ИГС – отстойников-биопрудов, биоканалов, аквасистем, рассеивающих выпусков сбросных вод, водоаэрационных сооружений и определены показатели их водоохранной эффективности в условиях изменяющихся гидравлических и биогенных нагрузок.

5. Разработаны общие принципы проектирования БИС для очистки ливневых и талых вод с территорий объектов инфраструктуры с.-х. производства, учитывающие особенности их качественного состава и условий образования. Разработаны конструкции БИС в виде каскада каналов-биопрудов и каскада интенсивно дренируемых площадок, в результате экспериментальных исследований определены их основные эксплуатационные технологические характеристики и водоохранная эффективность. Разработаны методы расчета элементов конструкций и технологических параметров БИС.

6. Исследована водоохранная эффективность прудов и малых водохранилищ на с.-х. водосборах. Разработаны критерии оценки их экологического состояния и водоохранного потенциала, методы управления качеством воды, учитывающие специфику малых водоемов на с.-х. водосборах.

7. Разработана методика обоснования нагрузки с.-х. производства на мелиорируемые водосборы и пакет прикладных программ для ее реализации, учитывающая поступление загрязняющих веществ от всех компонентов производственной сферы; взаимное положение объектов источников - образования загрязненных вод, водоохраных компонентов ландшафта и компенсирующих природных биоценозов; формирование разветвленной ИГС и ее самоочищающую способность.

**ЛИЧНЫЙ ВКЛАД АВТОРА.** Приведенные в диссертации результаты были получены при выполнении госбюджетных и хоздоговорных НИР по темам и заданиям ГКНТ СССР, МСХ РСФСР, концерна Центринжсельстрой, Минсельхозпрода РФ, Федеральной программы "ПЛОДОРОДИЕ" и МПР РФ, по которым соискатель был ответственным исполнителем, разработчиком и непосредственным автором научно-технической документации, выводов и рекомендаций. При этом, личное участие соискателя составляет не менее 80% в решении каждой из поставленных задач.

**ДОСТОВЕРНОСТЬ И ОБОСНОВАННОСТЬ** научных результатов и выводов определяется:

-значительным объемом полевых исследований, в ходе которых был выполнен качественный анализ более 2 тыс. образцов воды, грунтов, илов, расте-

ний; комплексным сочетанием гидрологических и гидрохимических наблюдений; исследованием динамики заиления, водно-физических свойств, качественного состава иловых отложений и их внутриводных растворов; наблюдений за видовым составом, зарастаемостью ИГС, биомассой и химическим составом надземной и корневой частей ВВР;

- использованием современных методов анализа и обобщения данных полевых исследований;

- опытной проверкой предлагаемых методов и технологий;

- непротиворечивостью полученных результатов существующим научным представлениям и гипотезам.

**ПРАКТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ И РЕАЛИЗАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ РАБОТЫ.** Предлагаемые методы и технологии позволяют решать конкретные задачи по охране ВР на мелиорируемых с.-х. водосборах путем:

- оптимального сочетания объектов источников выхода загрязненных вод, естественных водоохраных ландшафтно-геохимических барьеров, инженерных водоохраных сооружений и компенсирующих природных биогеоценозов;

- перехвата и локализации потоков загрязняющих веществ по всей водосборной площади с помощью локальных водоохраных сооружений и мероприятий;

- использования самоочищающей способности ИГС, включения в ее состав отстойников-биопрудов, биоканалов, аквасистем, рассеивающих выпусков, водоаэрационных сооружений;

- повышения степени замкнутости круговоротов биогенных веществ на мелиорируемых водосборах, поддержания процессов саморегулирования и самоочищения эксплуатационными мероприятиями;

- организации очистки на БИС ливневых и талых от объектов инфраструктуры с.-х. производства;

- использования водоохраных свойств прудов и малых водохранилищ на с.-х. водосборах;

- нормирования нагрузки на мелиорируемые водосборы.

Результаты работы вошли в нормативно-методическую литературу – Пособие по проектированию водоохраных инженерно-биологических сооружений и использовались проектными организациями при разработке водоохраных мероприятий для проектов мелиорации земель и экологического обустройства с.-х. предприятий. Для 10 объектов животноводства Ленинградской области разработаны проекты БИС, 6 из которых реализованы. Методика нормирования нагрузки с.-х. производства и пакет прикладных программ для ее реализации используются в Невско-Ладожском БВУ. Результаты диссертационной работы используются в учебном процессе в Петербургском государственном университете путей сообщения при курсовом и дипломном проектировании.

**АПРОБАЦИЯ РАБОТЫ.** Основные результаты исследований докладывались и обсуждались на: Республиканской конф. "Регулирование водного режима дренированных минеральных почв" (Каунас, 1987); Всероссийской науч.-техн. конф. "Экосистемный подход к управлению качеством поверхностных и

подземных вод мероприятиями на водосборах" (Свердловск, 1991); II съезде гидроэкологов (М., 1991); Всероссийской науч.-техн. конф. "Экологически безопасное использование сточных вод и животноводческих стоков в с.-х." (Барнаул, 1995); II Республиканской конф. "Экологические проблемы республики Татарстан" (Казань, 1995); Международной науч. конф. "Состояние водоемов и способы их улучшения" (Каунас 1997); Всероссийской конф. "Бассейн реки: Эколого-водохозяйственные проблемы рационального водопользования" (Екатеринбург, 1996); Науч.-техн. конф. посвященной 190-летию ПГУПС "Современные проблемы водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов" (СПб, 1998); I Международной конф. "АКВАТЕРРА" (СПб, 1998); II Международной конф. "АКВАТЕРРА" (СПб, 1999); Международном экологическом конгрессе "Новое в экологии и безопасности жизнедеятельности" (СПб, 2000); IV Международном конгрессе "Вода: Экология и технология – ЭКВАТЕК-2000" (М., 2000); III Международной конф. "АКВАТЕРРА" (СПб, 2000).

Разработки соискателя отмечены серебрянной медалью ВДНХ (1991), двумя медалями "Лауреат ВВЦ" (1993, 1994).

**ПУБЛИКАЦИИ.** По теме диссертации опубликовано 42 работы, в т.ч. получено 16 авторских свидетельства СССР, 2 патента РФ.

**ОБЪЕМ И СТРУКТУРА ДИССЕРТАЦИИ.** Диссертация состоит из введения, 7 глав, заключения, списка использованных источников и приложений. Работа изложена на 291 с. и содержит 28 рис. и 66 табл.

**НА ЗАЩИТУ ВЫНОСЯТСЯ:** 1. Концепция охраны и воспроизводства ВР на мелиорируемых водосборах. 2. Закономерности эмиссии загрязняющих веществ на мелиорируемых водосборах. 3. Количественная оценка основных потоков биогенов в экосистемах ИГС. 4. Методы и технологии организации водоохраных сооружений в русле ИГС и результаты исследования их эффективности. 5. Принципы создания БИС для очистки ливневых и талых вод от объектов инфраструктуры с.-х. производства, результаты исследований их технологических характеристик, методы расчета и проектирования. 6. Результаты исследований водоохранной эффективности прудов и малых водохранилищ, критерии оценки их экологического состояния и водоохранного потенциала, методы управления качеством воды малых водоемов. 7. Методы обоснования нагрузки с.-х. производства, обеспечивающей охрану и воспроизводство ВР.

**АВТОР** выражает глубокую признательность и благодарность научному консультанту, член-корр. РАСХН, д. т. н., проф. ШТЫКОВУ В. И. за ценные советы и всестороннюю помощь при выполнении данной работы.

## **СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**В первой главе** приведено обоснование концепции охраны и воспроизводства ВР на мелиорируемых с.-х. водосборах.

Анализ работ Васильева Ю.С., Хрисанова Н.И., Осипова Г.К., Авакяна А.Б., Вендрова С.Л., Шумакова Б.Б., Маслова Б.С., Штыкова В.И., Бездниной С.Я., Шикломанова И.А., Булавко А.Г., Шебеко В.Ф., Водогрецкого В.Е., Ива-

нова К.Е., Минаева И.В., Дьяконова К.Н., Авессоломовой И.А., Очагова Д.М., Нестеренко И.М., Панова Е.П., Иванова Ю.И. и др. исследователей по экологическим аспектам функционирования природно-технических систем, ландшафтными, гидрологическим и гидрохимическим последствиям мелиоративного и с.-х. освоения водосборов и проведенные нами исследования позволили выявить особенности с.-х. производства в гумидной зоне, влияющие на воспроизводство ВР:

1.Базисная роль мелиорации в земледелии. Массовый размах работы по мелиорации земель приобрели после 1966 г. и к 1990 г. площади осушаемых земель по экономическим районам составляли: Северный –456, Северо-Западный – 806, Прибалтийский –703, Центральный – 1474 тыс.га. С.-х. производства на мелиорируемых водосборах имеет ряд особенностей, усугубляющих его воздействие на природные воды:

1.1.Разгрузка грунтовых вод осуществляется в дренажную сеть, при этом длина фильтрационных потоков уменьшается до 15-20 м, продолжительность разгрузки сокращается до нескольких суток, что вызывает увеличение выноса загрязняющих веществ с грунтовым (дренажным) стоком.

1.2.Осушение водосборов связано с образованием подверженной разнообразным деформациям открытой сети, составляющей от 5 до 10 % площади объекта осушения и являющейся постоянным источником загрязнения сбросных вод взвешенными веществами.

1.3.При осушении безуклонных территорий транспортирующая сеть требует глубокого заложения и может вскрывать сильно минерализованные железные грунтово-напорные воды.

1.4.Магистральные каналы осушительных систем, как правило, прорезают наиболее эффективные по своей водоохранной роли участки водоохранных зон, транспортируя сбросные воды в обход естественных ландшафтно-геохимических барьеров.

1.5.В отличие от естественных водотоков, эволюция - «старение» ИГС происходит значительно быстрее и проявляется в ее зарастании и заилинии. Быстрое старение ИГС требует систематических работ по уходу, ремонту и очистке. Однако, даже в период активного проведения мелиораций, потребность в эксплуатационных работах удовлетворялась на 40-50 %. В настоящее время очистные работы на многих объектах не проводились 15-25 лет. Объем иловых отложений в этом случае может достигать 120 м<sup>3</sup>/га, что создает угрозу загрязнения протекающих вод.

1.6.Открытая мелиоративная сеть является основой формирования разветвленной искусственной гидрографической сети (ИГС), оказывающей решающее влияние на формирование поверхностного стока. В состав ИГС входит не только осушительная сеть разных типоразмеров и назначения, но также и придорожные кюветы, открытые системы ливневой канализации населенных пунктов, садоводческих массивов и объектов инфраструктуры с.-х. производства. Канализованность территории увеличивается, по сравнению с естественной, в 20-30 раз, что создает благоприятные условия для поступления в ИГС загряз-



ненных ливневых и талых вод от объектов инфраструктуры с.-х. производства – ферм, гаражей, дорог, складов удобрений. По своему воздействию на природные воды, хозяйственная деятельность на такой сильно канализованной территории оказывает такое же влияние, как и в пределах водоохраных зон, где она строго ограничена действующим природоохранным законодательством.

2. Концентрация с.-х. угодий, ферм, дорог, населенных пунктов по берегам водных объектов.

3. Низкий уровень утилизации отходов животноводческих производств. По разным оценкам потери биогенных веществ от объектов животноводства в гидросферу составляют от 16 до 44% и реализуются в виде загрязненных ливневых и талых вод.

4. Концентрация сельского населения в населенных пунктах с многоэтажной застройкой. В силу целого ряда причин, работа очистных сооружений в этих условиях менее эффективна, чем в более крупных городах. Значительные проблемы возникают также с утилизацией твердых бытовых отходов и при содержании скота в личных подсобных хозяйствах.

Качественно новый этап в развитии водного хозяйства РФ связан с принятием нового Водного кодекса, отражающего реалии сегодняшнего дня – многоукладность экономики, лицензирование и платность водопользования. На основе работ сотрудников РосНИИВХ Черняева А.М., Далькова М.П., Прохоровой Н.Б., Попова А.Н., Рыбакова Ю.С. и др. впервые была сформулирована концепция государственной водной политики основная цель которой - переход к устойчивому водопользованию.

Одна из задач работы – разработка концепции охраны и воспроизводства ВР на мелиорируемых с.-х. водосборах. Основные положения сводятся к следующему:

1. В условиях мелиорируемых с.-х. водосборов формирование поверхностного стока происходит на загрязненных территориях – с.-х. угодьях, населенных пунктах, объектах инфраструктуры с.-х. производства; фильтрация грунтовых вод сосредотачивается в корнеобитаемой зоне почвогрунтов, заправленной органическими и минеральными удобрениями; концентрация стока осуществляется в ИГС. Сформированный в этих условиях сток отличается высокой степенью загрязненности.

2. Основное направление водохозяйственной деятельности на мелиорируемых водосборах гумидной зоны – использование поверхностных водных объектов для сброса в них избыточных поверхностных и грунтовых вод с мелиорируемых и богарных с.-х. угодий, селитебных территорий, объектов инфраструктуры. Целью водоохранной деятельности является сохранение и восстановление количественных и качественных характеристик водных объектов на уровне, позволяющем поддерживать и воспроизводить оптимальные условия существования биоты, рациональное сочетание экологических социальных и экономических приоритетов. Эта цель достигается путем экологизации хозяйственной деятельности, сбалансированности потребностей экономического развития и возможностей воспроизводства экологически полноценных ВР.

3. Основной структурно-функциональной единицей при анализе проблем охраны и воспроизводства ВР является бассейн элементарного водного объекта, имеющий иерархическую организацию в виде бассейнов притоков все меньших порядков, включая отдельные объекты мелиорации или территории объектов инфраструктуры с.-х. производства. При этом, каждый элементарный бассейн рассматривается, как совокупность двух каскадно связанных элементов – водосборной территории где формируется сток и русла, где происходит его концентрация.

4. Теоретической основой охраны и воспроизводства ВР является комплексный экосистемный подход. При этом целостность, структурно-функциональная стабильность геоэкосистемы водосборного бассейна обеспечивается взаимодействием подсистем – геоэкосистем русла, пойм, водоохраных зон, с.-х. угодий, лесов, лугов, болот, естественных водоемов. В составе каждой подсистемы выделяется экологическое ядро – совокупность живых компонентов, внутренний массообмен которых с окружающим биотопом закономерно превышает внешний. Так, например, экологическим ядром ИГС является водная растительность, накопление биогенных элементов в которой значительно превышает их потери в результате деструкции и метаболизма.

5. Технологии мелиоративного и с.-х. освоения водосборов должны носить природоимитирующий характер. Так, например, идеалом устройства и функционирования ИГС является речное русло в его естественном состоянии. Закономерное чередование перекатов и плесов обеспечивает аэрацию речных вод и осаждение взвешенных веществ. Естественный гидрологический режим, чередование паводковых и меженных периодов, маловодных и многоводных лет обеспечивают промывку заиленного русла, восстановление его дренирующей способности, вынос и осаждение взвешенных веществ на поймах, участие биоценозов русла и пойм в процессах формирования качества речных вод.

6. Реализация концепции - гармоничное сочетание экологических, социальных и экономических приоритетов достигается путем:

- нормирования нагрузки на водный объект и его водосбор;
- оптимизации территориального устройства мелиорируемых водосборов, размещения компенсирующих природных биогеоценозов вокруг источников загрязнения;
- перехвата и локализации потоков загрязняющих веществ по всей водосборной площади с последующей очисткой на локальных водоохраных сооружениях;
- использования самоочищающей способности ИГС;
- организации стока загрязненных вод через водоохраные зоны, повышение их водоохранной эффективности путем устройства простейших гидротехнических сооружений, трансформирующих поверхностный сток в грунтовый;
- повышения степени замкнутости локальных круговоротов биогенных веществ эксплуатационными мероприятиями.

**Во второй главе** изложены основные результаты экспериментальных исследований закономерностей эмиссии биогенных и загрязняющих веществ

(ЗВ) на мелиорируемых водосборах.

В результате обработки материалов полевых наблюдений были получены статистически достоверные показатели: Выноса и средних концентраций ЗВ с мелиорируемых водосборов в целом, а также их фрагментов; обобщенные характеристики состава и загрязненности различных типов вод, в т.ч., классы по О.А.Алекину, формулы ионного состава по Курлову, коэффициенты загрязненности по методике ВНИИВО, статистические характеристики распределения концентраций ЗВ в различных типах вод, классы качества по классификации СЭВ.

Формирование химического состава и свойств сбросных вод происходит в результате смешения и трансформации в ИГС дренажных, поверхностных и грунтовых вод, как конечного результата двух противоположно направленных процессов – самоочищения и вторичного загрязнения в ИГС. Основными факторами самоочищения являются сорбция ЗВ на взвешенных частицах и многообразные процессы биопоглощения биоконпонентами экосистемы ИГС. Основным фактором вторичного загрязнения является поступление ЗВ из иловых отложений при их размыве, с фильтрационными, диффузионными потоками и при газоотделении из илов.

Обобщить результаты исследований позволяет разработанная нами классификация различных по степени антропогенного воздействия и условиям формирования типов воды на мелиорируемых с.-х. водосборах:

1. Дренажные воды (ДВ) из устьев закрытых коллекторов, открытой регулирующей сети, формирование химического состава которых происходит под воздействием климатических факторов, водно-физических и агрохимических свойств почвогрунтов; видов и доз вносимых удобрений.

2. Сбросные воды мелиоративных систем, на водосборах которых не содержится источников загрязнения в виде объектов инфраструктуры с.-х. производства, условно чистые (СВЧ), формирование состава которых происходит в результате смешения и трансформации в ИГС грунтовых, поверхностных и транзитных вод.

3. Ливневые и талые воды (ЛТВ) с объектов инфраструктуры, формирующиеся в результате контакта атмосферных вод с загрязненной территорией. Гидрохимические показатели ЛТВ зависят от вида объекта и в некоторых случаях (фермы, силосные траншеи, склады удобрений и т.п.) приближаются к сточным водам.

4. Сбросные воды мелиоративных систем, на водосборах которых присутствуют источники загрязнения (СВЗ) в виде объектов инфраструктуры с.-х. производства, ЛТВ с которых попадают в открытую мелиоративную сеть. Формирование их гидрохимического состава происходит в результате смешения вод ЛТВ и СВЧ.

5. Воды природного фона (ВПФ) с малых водосборов, не испытывающих непосредственного воздействия с.-х. производства, формирование гидрохимического состава которых происходит под воздействием локальной гидрохимической обстановки и поступления ЗВ с аэротехногенными потоками.

6. Речные воды (РВ) на мелиорируемых водосборах, формирование гидрохимического состава которых происходит в результате смешения в речной сети всех отмеченных выше типов воды и трансформации их качественного состава под воздействием речных экосистем.

Выделение указанных типов вод обосновано не только их различным генезисом, но и закономерным изменением их загрязненности (табл.1), статистических характеристик распределения концентраций ЗВ (табл.2), соотношений между различными показателями загрязнения (табл.3).

Таблица 1

Значение коэффициента загрязненности для различных типов вод

Тип Воды	Коэффициент загрязненности по методике ВНИИВО: Средний / (наименьший – наибольший)	
	По 9 показателям (NO <sub>2</sub> , NO <sub>3</sub> , NH <sub>4</sub> , К, SO <sub>4</sub> , БПК <sub>5</sub> , Cl, Ca, Fe <sub>общ</sub> ) при рыбохозяйственных ПДК	По 5 показателям (PO <sub>4</sub> , NO <sub>3</sub> , NO <sub>2</sub> , NH <sub>4</sub> , БПК <sub>5</sub> ) при экологических ПДК
ВПФ	0,65 / 0,4-0,84	3,48 / 1,8-5,76
СВЧ	0,62 / 0,3-1,6	8,69 / 3 – 15
ДВ	0,95 / 0,54-1,4	11,3 / 3,53-15,5
РВ	1,78 / 0,6-3,7	14,8 / 4,85-26,0
СВЗ	9,07 / 1,84-30,0	97,8 / 17-293

1. Наименьшей загрязненностью отличаются ВПФ из первичной гидрографической сети, которые даже в условиях пригородной зоны СПб содержат биогенные вещества в концентрациях в 2-3 раза превышающих экологические ПДК и в целом, удовлетворяющие рыбохозяйственным ПДК. По экологической классификации ВПФ относятся к III-IV классу качества, лимитирующими являются NH<sub>4</sub> и P<sub>мин</sub>. ВПФ отличаются от других типов воды стабильностью гидрохимического состава,  $0,38 < C_v < 1,14$ . Наиболее стабильными компонентами являются N<sub>общ</sub>, P<sub>мин</sub>, наибольшая изменчивость характерна для органических веществ по БПК<sub>5</sub>. Аммонийная форма азота преобладает над нитратной, в целом, содержание органического и минерального азота примерно одинаково, содержание органического фосфора в 1,5 раза больше, чем минерального.

2. На осушаемых участках наиболее загрязненными являются ДВ. Содержание биогенных веществ в них, в среднем в 13 раз превышает экологические ПДК, и в целом, удовлетворяет рыбохозяйственным ПДК. По экологической классификации относятся к VI классу, лимитирующим являются N-NO<sub>3</sub>. Технологичный характер вод, формирующихся на объектах осушения, проявляется в глубоких генетических изменениях ионного состава. Среди анионов снижается доля гидрокарбонатов, увеличивается доля и абсолютное содержание хлоридов сульфатов, нитратов. В составе катионов снижается относительная доля кальция, увеличивается доля и абсолютное содержание натрия, магния, калия, железа. Если для природного фона характерен I "мягкий" тип воды, то воды формирующиеся на объектах мелиорации относятся ко II "жесткому" типу, когда  $\text{HCO}_3^- < \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} < \text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-}$ , или III "агрессивному" типу, когда

Таблица 2

Статистические характеристики распределения концентраций биогенных веществ в различных типах вод на мелиорируемых с.-х. водосборах

Загрязняющее вещество	Тип Воды	Концентрации, средние/(наим.-наиб.), мг/л	Стандартное отклонение, мг/л	Коэффициент вариации	Коэффициент асимметрии
Органические вещества по БПК <sub>5</sub>	ВПФ	2,21 / 0,28-9,2	2,52	1,14	2,01
	РВ	4,10 / 0,17-23,4	2,86	0,70	2,87
	ДВ	3,23 / 0,76-6,4	2,01	0,62	0,46
	СВЧ	4,05 / 0,16-23,0	3,52	0,87	2,83
	СВЗ	47,9 / 1,03-329	84,8	1,77	2,05
N <sub>Общ</sub>	ВПФ	1,52 / 0,48-2,24	0,58	0,38	-0,22
	РВ	7,82 / 0,01-31,6	6,75	0,86	1,25
	ДВ	16,9 / 0,86-53,2	19,3	1,14	1,07
	СВЧ	5,70 / 0,38-66,6	9,82	1,72	4,44
	СВЗ	33,4 / 1,12-122	29,7	0,89	1,25
N-NH <sub>4</sub>	ВПФ	0,48 / 0,03-1,40	0,44	0,91	0,92
	РВ	1,22 / 0,02- 0,38	1,48	1,21	1,51
	ДВ	0,61 / 0,08-3,28	0,90	1,47	2,50
	СВЧ	0,63 / 0,06-8,87	1,28	2,02	4,92
	СВЗ	18,5 / 0,08-117	27,7	1,50	1,95
N-NO <sub>3</sub>	ВПФ	0,52 / 0,07-1,0	0,27	0,52	0,33
	РВ	2,39 / 0,03-13,4	3,34	1,40	1,87
	ДВ	7,86 / 0,28-30,8	10,2	1,35	1,30
	СВЧ	2,24 / 0,01- 30,7	5,11	2,28	4,02
	СВЗ	5,01 / 0,02-39,1	8,26	1,65	2,49
P <sub>Общ</sub>	ВПФ	0,15 / 0,07- 0,40	0,10	0,62	1,62
	РВ	0,53/ 0,10 – 8,75	0,82	1,53	8,34
	ДВ	0,38 / 0,17- 1,04	0,29	0,75	1,41
	СВЧ	0,49 / 0,07-3,36	0,56	1,13	2,98
	СВЗ	5,38 / 0,10-31,9	7,98	1,48	1,84
P <sub>Мин</sub>	ВПФ	0,06 /0,02-0,14	0,037	0,56	0,58
	РВ	0,29 / 0,02-2,51	0,32	1,09	3,78
	ДВ	0,16 / 0,06-0,44	0,12	0,74	1,30
	СВЧ	0,26 / 0,02-1,84	0,35	1,34	2,81
	СВЗ	3,59 / 0,03-22,7	5,09	1,42	1,90

$\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-} < \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ . Минерализация ДВ достигает 730 мг/л, по своему качественному составу они менее стабильны, чем ВПФ, но более устойчивы, чем другие типы воды,  $0,75 < C_v < 1,47$ . В составе ДВ нитратная форма азота преобладает над аммонийной, в целом, содержание органических и минеральных форм азота и фосфора примерно одинаково.

Таблица 3

Свойства различных типов воды на мелиорируемых водосборах <sup>(1)</sup>

Тип воды	Свойство	Коэффициент Корреляции
Воды природного фона ВПФ	$P_{\text{общ}} = -0,10 + 3,37P_{\text{мин}}$	0,94
	$N_{\text{общ}} = 0,79 + 0,87N_{\text{мин}}$	0,90
	$N_{\text{мин}} = 0,66 + 0,78 N_{\text{NH}_4}$	0,78
	$N_{\text{общ}} = 1,58 + 0,08\text{БПК}_5$	0,54
	$\text{БПК}_{20} = 0,86 + 0,48 \text{БПК}_5$	0,85
	$\text{БПК}_5 = -12,6 + 19,3 \text{ПМО}^{(2)}$	0,98
Речные воды РВ	$P_{\text{общ}} = 1,24 P_{\text{мин}}^{0,72}$	0,76
	$N_{\text{общ}} = 0,49 + 1,97N_{\text{мин}}$	0,93
	$N_{\text{мин}} = 1,89 + 0,83 N_{\text{NO}_3}$	0,89
	$\text{БПК}_{20} = 0,64 + 0,45 \text{БПК}_5$	0,84
Дренажные воды ДВ	$P_{\text{общ}} = 0,001 + 2,70P_{\text{мин}}$	0,99
	$N_{\text{общ}} = 4,4 + 1,87N_{\text{мин}}$	0,97
	$N_{\text{мин}} = 0,33 + 0,97 N_{\text{NO}_3}$	0,99
	$\text{БПК}_{20} = 0,18 + 0,44 \text{БПК}_5$	0,95
Сбросные воды мелиоративных систем СВЧ	$P_{\text{общ}} = 0,14 + 1,21P_{\text{мин}}$	0,91
	$N_{\text{общ}} = 0,54 + 1,82N_{\text{мин}}$	0,97
	$N_{\text{мин}} = 3,09 N_{\text{NH}_4}^{0,66}$	0,49
	$N_{\text{мин}} = 0,81 + 0,98 N_{\text{NO}_3}$	0,97
	$\text{БПК}_{20} = 0,82 + 0,33 \text{БПК}_5$	0,74
Сбросные воды мелиоративных систем, загрязненные стоками с.-х. предприятий СВЗ	$P_{\text{общ}} = 0,14 + 1,46P_{\text{мин}}$	0,93
	$N_{\text{общ}} = 9,89 + 1,03N_{\text{мин}}$	0,96
	$N_{\text{мин}} = 7,61 + 0,92 N_{\text{NH}_4}$	0,96
	$N_{\text{общ}} = 24,1 + 0,24\text{БПК}_5$	0,73
	$\text{БПК}_{20} = 10,9 + 0,43 \text{БПК}_5$	0,93
	$\text{БПК}_5 = -38,9 + 0,97 \text{ПМО}^{(2)}$	0,84

Примечания: 1. Концентрации веществ в мг/л.

2. ПМО – перманганатная окисляемость.

3. По мере продвижения по транспортирующей сети загрязнение сбросных вод существенно снижается, коэффициенты загрязненности СВЧ меньше, чем ДВ. По сравнению с ДВ, в СВЧ незначительно увеличивается содержание фосфора и органических веществ по БПК<sub>5</sub>, Значительно уменьшается содержание общего и нитратного азота, снижается минерализация. По экологической

классификации СВЧ относятся к V-VI классу, лимитирующими являются  $N-NH_4$  и  $P_{Общ}$ . Формируясь на основе ДВ, СВЧ отличаются от них меньшей стабильностью качественного состава,  $0,87 < C_v < 2,28$ . Наиболее нестабильными компонентами являются соединения азота, подвергающиеся в открытой сети процессам нитрификации и биопоглощения.

4. Результаты массового обследования осушительных систем показали, что на 30% объектов имеет место организованный или случайный сброс в открытую сеть ЛТВ от объектов инфраструктуры с.-х. производства. Такая ситуация имеет место на 19 из 59 обследованных объектов общей площадью 35 тыс. га. СВЗ подвержены наибольшему техногенному воздействию, содержание биогенных веществ в них в среднем в 97 раз превышает экологические ПДК и в 10 раз рыбохозяйственные ПДК. Минерализация СВЗ достигает 2600 мг/л, содержание  $N_{Общ}$  – 122 мг/л,  $P_{Общ}$  – 32 мг/л. Содержание минеральных форм азота в 4 раза, а фосфора в 2 раза превышает содержание органических форм, преобладает аммонийная форма минерального азота. Состав СВЗ отличается нестабильностью  $0,89 < C_v < 1,65$ , причем наибольшей изменчивостью характеризуются ряды концентраций аммонийного и нитратного азота, изменяющиеся в процессе нитрификации.

5. РВ на мелиорируемых водосборах по загрязненности занимают промежуточное место между СВЧ и СВЗ. Техногенный характер РВ на мелиорируемых водосборах проявляется формированием вод преимущественно хлоридного класса, в связи с универсальной техногенной распространенностью этого элемента, входящего в состав органических и минеральных удобрений, отходов животноводства, хозяйственных сточных вод. Органические и минеральные формы азота и фосфора находятся примерно в одинаковых количествах, преобладает нитратная форма минерального азота. Наиболее значительные изменения в составе сбросных вод протекают в ИГС, в результате чего, состав РВ более стабилен, чем формирующих его СВЗ и СВЧ.

Проведенные исследования показывают, что наиболее значимым источником загрязнения на с.-х. водосборах являются ЛТВ от объектов инфраструктуры с.-х. производства, а мероприятия по их экологическому обустройству должны иметь приоритетный характер (табл.4).

Таблица 4

Поступление азота и фосфора с местным стоком с мелиорируемых водосборов Северо-Запада РФ, т/год

Составляющая	$N_{Общ}$	$P_{Общ}$
Местный сток с водосборов, не освоенных в с.-х. производстве (50,3 км <sup>3</sup> /год)	76400	7500
Сбросные вод мелиоративных систем на водосборах которых отсутствуют посторонние источники загрязнения, (2,51 км <sup>3</sup> /год)	10500	850
Сбросные воды мелиоративных систем, загрязненные ливневыми и талыми водами от объектов инфраструктуры с.-х. производства, ( 1,07 км <sup>3</sup> /год)	34000	5600

В период проведения исследований, особенно с 1990 по 1996 г. происходило резкое снижение нагрузки с.-х. производства на мелиорируемые водосборы. По базовым хозяйствам внесение органических удобрений сократилось в 12 раз, минеральных в 35 раз, плотность поголовья скота сократилась в 3,5 раза, 40-60% пашни трансформировалось в залежь и лугопастбищные угодья, прекратились работы по техническому обслуживанию мелиоративных систем. В результате, на водосборах малых рек средние концентрации общего азота уменьшились в 2,9-4,5 раза, общего фосфора в 1,3-1,8 раза.

**В третьей главе** изложены основные результаты исследования экосистем ИГС и их роль в формировании качества сбросных вод.

Экосистемы ИГС включают в себя абиотические компоненты – протекающие воды, взвешенные вещества, иловые отложения (ИО) и биокomпоненты – фито-зоо-бактериопланктон, бентос, перифитон и высшую водную растительность (ВВР), объединенные в единое функциональное целое на основе взаимозависимости, причинно-следственных связей, процессов энергомассообмена между отдельными компонентами (рис.1). Экологическим ядром экосистем ИГС является ВВР, биомасса которой на единицу объема протекающей воды на 1-2 порядка выше, чем других биокomпонентов экосистемы.

Установлено, что зарастанию в первую очередь подвергаются элементы ИГС, дно которых постоянно находится в обводненном состоянии. Создающийся при этом подпор способствует осаждению взвешенных веществ, формированию слоя ИО, что еще больше способствует зарастанию.

Видовой состав ВВР определяется почвенными и гидрогеологическими условиями. На фоне кислых переувлажненных почв развиваются, преимущественно, гигрофиты, характерные для самого осушаемого массива – осоки, камыш, хвощи, а также макрофиты – рогоз, тростник, аир, ряска, рдесты. На более сухих почвах, в условиях периодического обсыхания дна каналов, на дне встречалась в основном мезофильная растительность, характерная для самого осушаемого массива.

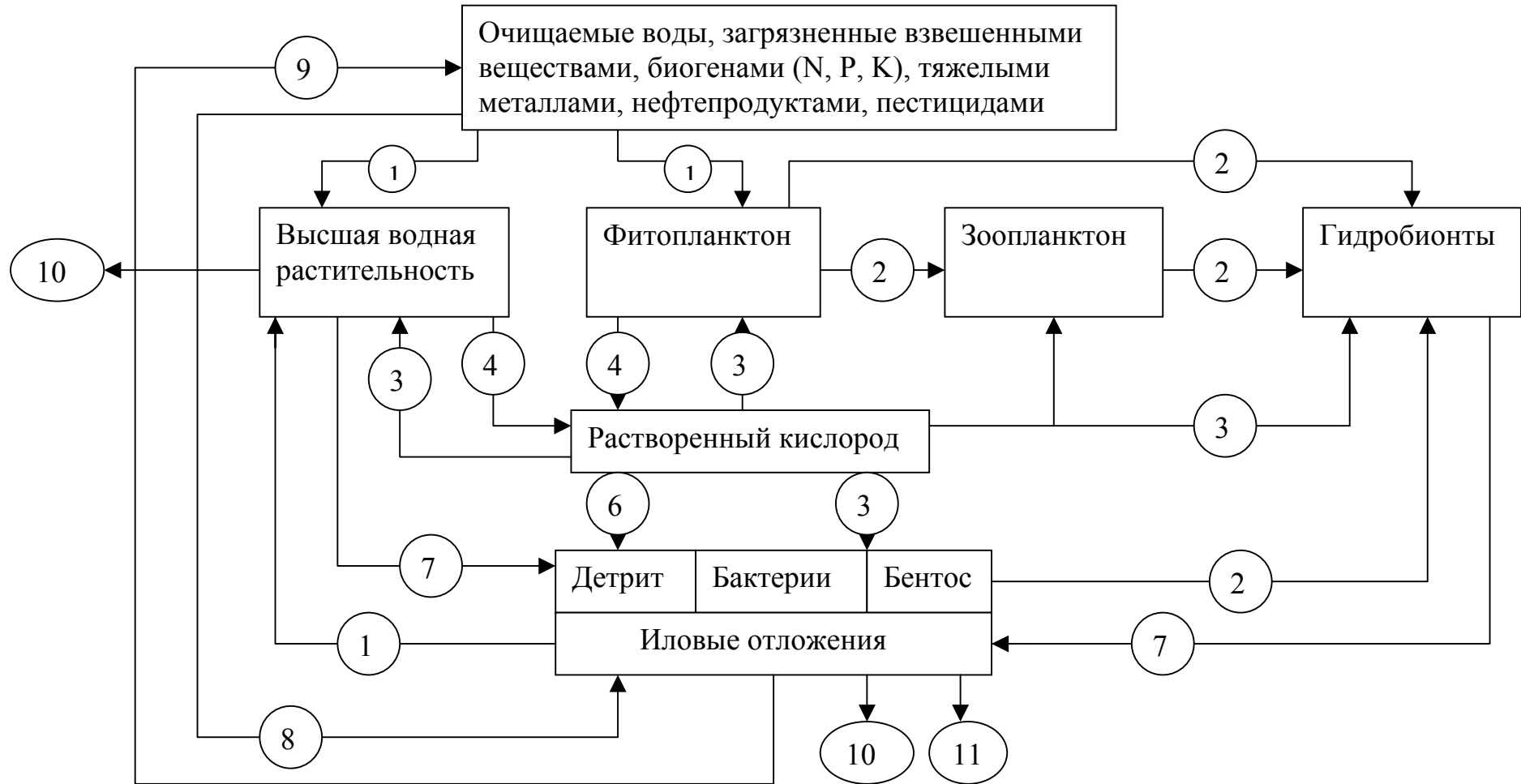
В условиях Северо-Запада РФ начало вегетации ВВР приходится на середину апреля, наиболее интенсивно прирост биомассы происходит в мае– июне. Пик вегетации – июль, увядание зеленой массы происходит в августе-сентябре. Динамика прироста биомассы ВВР пропорциональна приходу фотосинтетически активной радиации. Распространенность основных видов ВВР, средние значения биомассы в период пика вегетации приведены в табл. 5, а максимальные значения, до 18 кг/м<sup>2</sup>, наблюдались на участках ИГС, где имело место сосредоточенное поступление ливневых и талых вод от животноводческих ферм.

Установлено, что зарастаемость каналов 1-го типоразмера – 70, 2-го –60, 3-го –20-30 и 4-го –10%, что объясняется увеличением удельной мощности протекающих потоков с ростом типоразмера каналов. С учетом сложившегося распределения каналов по типоразмерам, общая площадь зарастания составляет 3,5 га, биомасса надземной части ВВР – 87 т, корневой 119 т.

Обобщение результатов анализов качественного состава ВВР показало, что ее усредненный видовой состав характеризуется следующими



Схема движения потоков биогенных и загрязняющих веществ в экосистеме искусственной гидрографической сети



1- биопоглощение; 2 – пищевые цепи; 3 – дыхание; 4 – фотосинтез; 5 - реэрация; 6 – окисление; 7 – деструкция органики; 8 – седиментация; 9 –вторичное загрязнение; 10 –изъятие ИО и ВВР при очистных работах; 11 – денитрификация в ИО

Рис 1.

Таблица 5

## Распространенность и сырая биомасса основных видов ВВР

Вид ВВР	Распростра- ненность, %	Сырая биомасса, кг/м <sup>2</sup>	
		Надземная	Корневая
Рогоз узколистный	20	4,0	6,0
Тростник обыкновенный	15	3,5	4,0
Аир болотный	15	2,5	3,0
Элодея канадская	10	1,5	-
Ряска	10	2,0	-
Канареечник тростниковидный	10	2,0	1,8
Осоки	10	1,8	9,0
Прочие: хвощи, роголистник, ро- гоз широколистный и др.	10	1,3	1,3
Итого, в среднем по ИГС	100	2,5	3,4

показателями, соответственно надземной и корневой частей растений: Содержание сухого вещества – 24 и 43%; золы - 16 и 38%; азота – 2,2 и 1,2%; фосфора – 0,53 и 0,63%; калия – 3,0 и 2,3%; марганца- 0,65 и 0,73%; железа 0,19 и 0,46%; свинца – 0,00045 и 0,0012%; меди – 0,00091 и 0,0016%; цинка – 0,00047 и 0,0013% сухого вещества. С учетом большей биомассы корневой части ВВР, оттока питательных веществ в корневую часть растений по окончании вегетационного периода, большая часть биогенов и микроэлементов сосредотачивается в корневой части и на сравнительно длительный период исключается из круговорота веществ в экосистеме ИГС.

ИО в ИГС образуются в результате биохимических, микробиологических и физико-химических процессов из остатков ВВР, переносимых водой органических и минеральных частиц. Основным источником органического вещества ИО являются отмирающие остатки ВВР. С другой стороны, снижение скоростей течения в зарослях ВВР способствует осаждению взвешенных веществ и формированию минеральной части ИО.

Первичной причиной поступления минеральных частиц являются разнообразные деформации дна и откосов ИГС, сброс мутных поверхностных вод. При строительстве открытой сети и в первые годы эксплуатации в нее поступает до 10 т/га грунта, из которых 9 т переотлагается в открытой сети, а 1 т поступает в водоприемники. С учетом взаимосвязи удельных объемов заиления с типоразмерами каналов и сложившегося на Северо-Западе распределения каналов по типоразмерам в ИГС ежегодно образуется 5600 м<sup>3</sup> ИО, в расчете на 1000 га осушаемых земель

При анализе качественного состава ИО элементы ИГС, с учетом роли ВВР и гидродинамических факторов в их формировании, условно разделялись на 3 группы: Биоканалы - сильно зарастающие ВВР участки ИГС; незаросшие участки ИГС; отстойники и пруды.

ИО характеризуются высокой влажностью в состоянии полной влагоемкости, их объемная масса составляет 120-710 кг/м<sup>3</sup>, пористость 0,72-0,95. По

механическому составу 20% исследованных образцов относится к глинам, 53% - суглинкам, 27% - супесям. Установлено, что водно-физические и агрохимические свойства ИО в значительной степени определяются содержанием органического вещества (рис.2). В целом, по своим агрохимическим свойствам ИО близки к осадкам хозяйственных сточных вод.

Формирование микроэлементного состава ИО представлено в табл.6, из которой следует, что среднее содержание ТМ в ИО близко к их среднему содержанию в почвах, минимальные значения, как правило, превышают аналогичные значения для почвенных образцов. Накопление ТМ в ВВР значительно меньше, чем в ИО. Таким образом, основным источником поступления ТМ в ИО являются почвы, уровень содержания ТМ в которых определяется природным фоном, поступлением с аэротехногенными потоками, органическими и минеральными удобрениями, пестицидами. Характерной особенностью ИО является высокое содержание  $Fe_{\text{общ}}$ , достигающее в отдельных образцах 10% по массе. В целом, в толще ИО преобладает восстановительная обстановка, до 75% железа находится в закисной форме.

Таблица 6

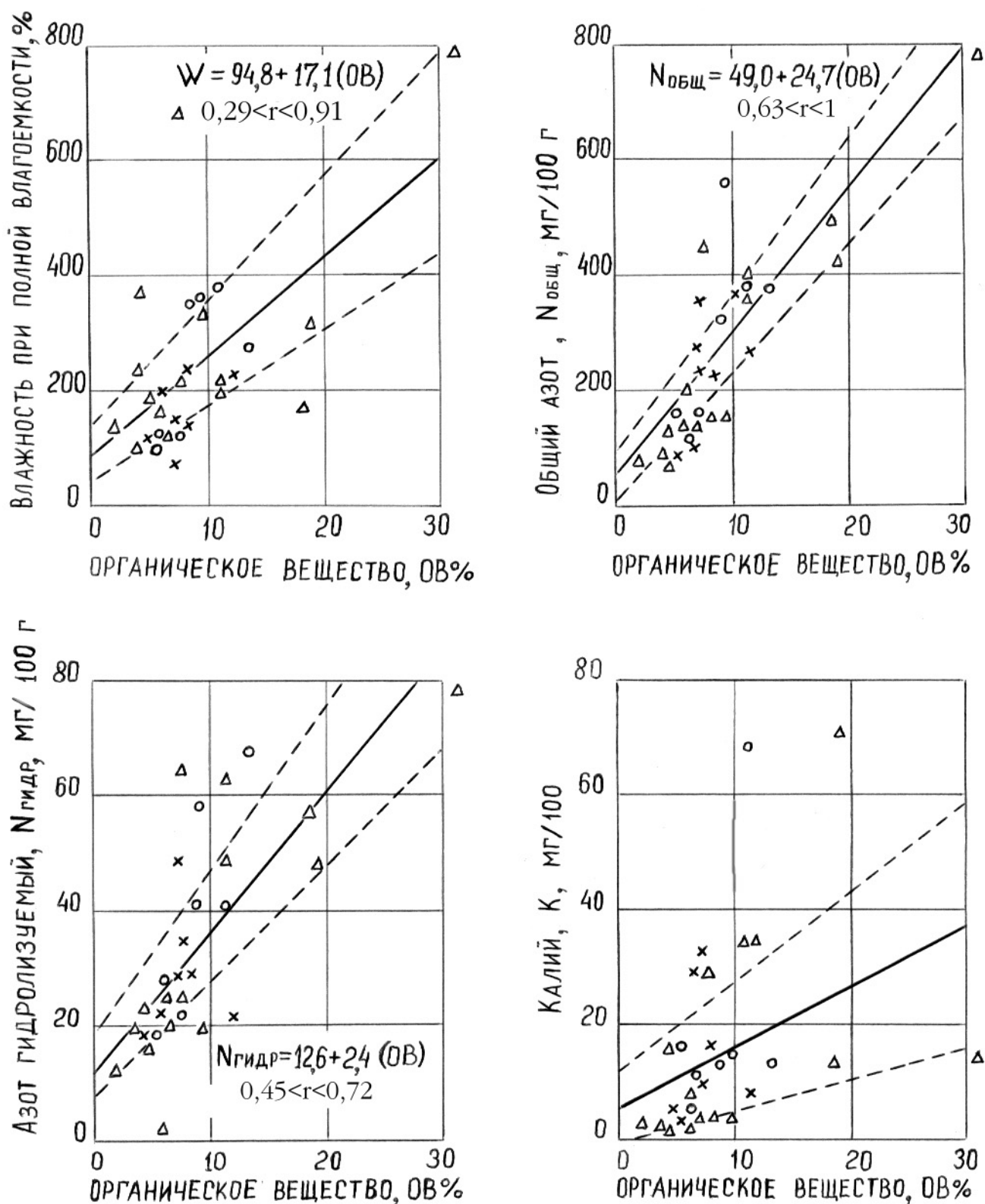
Формирование микроэлементного состава твердой фазы иловых отложений

Объект	Содержание ТМ, мг/кг сухого вещества					
	Cu	Zn	Pb	Ni	Co	Mn
Иловые отложения: сред. / наим.-наиб.	<u>28</u> 15-84	<u>66</u> 25-207	<u>23</u> 9-36	<u>37</u> 19-50	<u>20</u> 10-33	<u>500</u> 210-1850
Почвы Сев.-запада: сред./ наим.-наиб.	<u>20</u> 2-100	<u>50</u> 10-300	<u>10</u> 2-200	<u>40</u> 10-1000	<u>8</u> 1-40	<u>850</u> 100-4000
ВВР: надземная/ корневая часть	<u>9,1</u> 15	<u>4,6</u> 13	<u>4,6</u> 11	<u>0,19</u> 0,18	<u>5,3</u> 11	<u>6500</u> 730
ПДК для минеральных почв	Фон + + 35	Фон + + 50	32	Фон + + 45	-	1500
Директивы ЕЭС	3000	10000	1000	50-100	-	-
I группа ГОСТ АКХ	100- 300	300- 1000	100- 200	100-200	-	-

В среднем, ИО из ИГС содержат ТМ в количествах не превышающих ПДК для почв с.-х. угодий, с большим запасом отвечает критериям пригодности к утилизации на с.-х. угодьях по нормативам ЕЭС, дифференцируются в I группу ГОСТа "Осадки сточных вод. Требования к утилизации", разработанного АКХ им Памфилова, т.е. пригодны к использованию на с.-х. угодьях без каких либо ограничений.

При пористости 0,72-0,95 от объема, ИО в большей степени состоят из внутрисорбированного раствора (ВВР), чем из твердой фазы. Загрязняющие вещества в составе ВВР (табл.7), потенциально обладают большей подвижностью и могут быть источником вторичного загрязнения при размыве ИО, при газоотделении из илов, при поступлении с фильтрационными и диффузионными

Зависимость водно-физических и агрохимических свойств иловых отложений от содержания органического вещества



- БИОКАНАЛЫ;    △ НЕЗАРОСШИЕ УЧАСТКИ ОТКРЫТОЙ СЕТИ;
- × ОТСТОЙНИКИ И ПРУДЫ

Рис.2

потоками. Воды ВПР отличаются исключительно высоким содержанием,  $\text{NH}_4^+$ , что свидетельствует о процессах распада органического вещества в твердой фазе ИО. Наличие значительного количества ионов  $\text{NO}_2^-$  свидетельствует о проявлении процессов нитрификации. Параллельно протекает и обратный процесс – денитрификация, о чем свидетельствует наличие азота в составе выделяющихся из ИО газов. В целом, по удобрительной ценности и содержанию биогенов воды ВПР близки к хозяйственным сточным водам.

Таблица 7

Основные гидрохимические показатели внутрипорового раствора ИО

Показатель	Значение показателя, мг/л	
	Среднее	Пределы изменения
$\text{NH}_4^+$	62,9	13,6 – 240
$\text{NO}_2^-$	0,53	0,02 – 2,50
$\text{NO}_3^-$	5,27	1,40 – 27,6
$\text{N}_{\text{ОБЩ}}$	76,3	15,3 – 264
$\text{P}_{\text{МИН}}$	0,96	0,06 – 6,20
$\text{P}_{\text{ВАЛ}}$	1,35	0,12 – 6,80
$\text{K}^+$	13,2	1,5 – 60
$\text{Fe}^{2+}$	7,1	0,75 – 26
$\text{Fe}^{3+}$	25,2	1,25 – 225
$\text{БПК}_5$	10,6	1,5 – 64
$\text{ХПК}$	283	92 – 764
Окисляемость	168	40,0 – 488

Установлены соотношения между содержанием загрязняющих веществ в составе ВПР и протекающих водах:

$$\text{БПК}_5^{\text{ВПР}} = (4,05 \pm 1,77) \text{БПК}_5^{\text{В}}; \quad (1)$$

$$\text{ХПК}_{\text{ВПР}} = (10,4 \pm 2,9) \text{ХПК}_{\text{В}}; \quad (2)$$

$$\text{K}^+_{\text{ВПР}} = (5,34 \pm 1,92) \text{K}^+_{\text{В}}; \quad (3)$$

$$\text{P}_{\text{МИН}}^{\text{ВПР}} = (9,01 \pm 5,58) \text{P}_{\text{МИН}}^{\text{В}}; \quad (4)$$

$$\text{NH}_4^+_{\text{ВПР}} = (269 \pm 129) \text{NH}_4^+_{\text{В}}; \quad (5)$$

$$\text{NO}_3^-_{\text{ВПР}} = (9,09 \pm 5,3) \text{NO}_3^-_{\text{В}}; \quad (6)$$

где индекс "впр" относится к внутрипоровому раствору, а "в"- протекающим водам. Соотношения (1) – (6) показывают, что во всех случаях концентрации загрязняющих веществ в водах ВПР больше, чем в протекающих водах, однако наиболее опасным компонентом является  $\text{NH}_4^+$ .

При оценке диффузионных потоков биогенных веществ из ИО предполагалось, что формирование химического состава ВПР происходит непрерывно, состав ВПР сохраняется примерно постоянным, а процесс диффузии носит квазиустановившийся характер и описывается соответствующим уравнением с функцией источника. При ежегодных объемах накопления ИО  $5600 \text{ м}^3 / (1000 \text{ га} \cdot \text{год})$ , средней мощности слоя ИО отлагающихся за год – 0,066 м и периодичности проведения очистных работ 1 раз в 3 года, поступление азота, фосфора,

калия из ИО составляет, соответственно: 53, 0,84 и 7,6 мг/(м<sup>2</sup>\*сут).

Проведенные исследования позволили дать количественную оценку основных потоков биогенных веществ в экосистеме ИГС (табл.8). Реализация механизма самоочищения осуществляется при удалении ИО и ВВР при проведении очистных работ. В соответствии со сложившейся технологией работ по очистке ИГС, удаленные ИО и ВВР запахиваются в приканальных полосах, а аккумулярованные в них биогенные вещества вновь возвращаются в процессы биологического круговорота на с.-х. угодьях.

Таблица 8

Количественная оценка основных потоков биогенных веществ в экосистеме ИГС (т / 1000 га\*год)

Составляющая годовых потоков	Азот	Фосфор	Калий
Годовой вынос с дренажным и поверхностным стоком в открытую сеть	18,0	2,2	6,6
Ежегодная аккумуляция в ВВР:			
Надземная часть	0,48	0,12	0,66
Корневая часть	0,43	0,20	0,85
Растения в целом	0,91	0,32	1,5
Ежегодная аккумуляция в ИО	6,7	0,21	0,31
Поступление в протекающие воды из ИО	1,04	0,016	0,23
Ежегодное изъятие с ИО и ВВР при проведении очистных работ 1 раз в 3 года	7,1	0,41	1,2
Вынос в водоприемники	12,0	1,8	5,6
Самоочищение сбросных вод в ИГС, %	37	19	18

**В четвертой главе** приведены результаты исследований эффективности и технологии организации водоохраных сооружений в русле ИГС – отстойников-биопрудов, биоканалов, аквасистем, рассеивающих выпусков, водоаэрационных сооружений.

Отстойники на ИГС образуются путем расширения и углубления участка магистрального канала или транспортирующего собирателя, подъема уровня воды подпорными сооружениями. Отлагающиеся в отстойниках ИО, являются благоприятным субстратом для развития ВВР, в результате чего, отстойники постепенно трансформируются в биопруды.

Фракционный состав ИО на 30 различных по условиям осаждения взвешенных веществ участках ИГС приведен в табл.9. Можно считать, что пруды и водохранилища, где продолжительность отстоя воды составляет десятки суток, задерживают все мелкие частицы. На участках ИГС свободных от ВВР оседает мелких частиц на 21% меньше, чем в прудах. Значительную роль в задержании мелких частиц играет ВВР- на заросших участках задерживается мелких частиц на 10% меньше, чем на незаросших. Осаждение песчаных частиц происходит непосредственно в местах их поступления в ИГС.

При уклонах проводящей сети менее 0,001 целесообразно устройство отстойников-биопрудов из двух частей – отстойной, где происходит осаждение

Таблица 9

Среднее содержание частиц разных фракций в иловых отложениях ИГС, %

Элемент ИГС	Глинистая, < 0,005 мм	Пылеватая мелкая, 0,005-0,01 мм	Пылеватая крупная, 0,01-0,05 мм	Песчаная, > 0,05 мм
Незаросшие Участки ИГС	16,1	7,9	36,2	39,8
Заросшие участки ИГС	22,8	11,7	42,3	23,2
Пруды и Водохранилища	31,0	14,2	40,9	13,9

взвешенных веществ и ассимиляционной, где культивируется ВВР, обеспечивающая очистку протекающих вод от биогенных веществ. Основные размеры отстойной части определяются по кинетике выпадения взвешенных веществ гидравлической крупностью 0,2-0,4 мм/с (крупность частиц 0,015-0,025 мм), при средней скорости течения  $5 \cdot 10^{-3}$  м/с. Поскольку в условиях Северо-Запада РФ максимум весеннего половодья проходит по промерзшей почве и руслу покрытому снегом и льдом, в качестве расчетного принимается среднесуточный расход дождевых паводков 5-10 % обеспеченности. Выбранные размеры отстойной части должны обеспечивать возможность ее механизированной очистки. Ассимиляционная часть должна обеспечивать оптимальные условия вегетации ВВР и при малых уклонах образуется путем заглубления ее дна на 0,2-0,3 м относительно дна принимающего канала. Площадь ассимиляционной части рассчитывается по выносу биогенных веществ с биомассой надземной и корневой частей ВВР.

Биоканалами являются участки ИГС, где создаются оптимальные условия для вегетации ВВР – скорости течения менее 0,3 м/с и глубина в межень период не менее 0,1-0,2 м. При уклонах проводящей сети менее 0,001 биоканалы образуются путем заглубления их дна на 0,2-0,3 м относительно дна принимающего канала или порога водопропускного сооружения. При уклонах проводящей сети 0,003 и более биоканалы создаются путем устройства в русле подпорных сооружений высотой 0,3-0,5 м. Образующиеся при этом постоянно обводненные участки открытой сети – линзы подпора, в течение 2-3 лет зарастают ВВР и превращаются в отстойники-биоканалы, эффективно задерживающие взвешенные частицы и биогенные вещества.

В качестве подпорных сооружений наиболее надежными и долговечными оказались фильтрующие плотины из камня, грунтовые плотинки с креплением водосливной грани каменной отмошкой. Разработана методика гидравлического расчета подпорных сооружений. При этом, максимальный расход весеннего половодья должен пропускаться в бровках канала и не должно быть подтопления устьев закрытой сети при пропуске максимальных расчетных расходов регулирующей сети. Наблюдения на опытных объектах и расчеты показали, что подпорные сооружения практически не препятствуют прохождению высоких

паводковых расходов и обеспечивают обводнение дна канала в период межени.

Результаты наблюдений на одном из опытных объектов, отстойнике-биоканале в ОПХ СевНИИГиМ приведены на рис.3. Сооружение расположено в устьевой части транспортирующего собирателя и имеет площадь водосбора 48 га. В период весеннего половодья глубина в устьевой части составляет 1,1 м, объем – 500 м<sup>3</sup>, продолжительность обмена воды 0,15-1,5 сут. В период летне-осенней межени глубина в устье уменьшается до 0,7-0,5 м, объем составляет 230-130 м<sup>3</sup>, течение отсутствует.

Отстойник- биоканал эффективно задерживает взвешенные вещества, их концентрация на выходе из отстойника не превышает 15-50 мг/л. Мощность слоя ИО составляет 0,3-0,4 м, удельный объем – 0,4-0,65 м<sup>3</sup>. Содержание органического вещества в ИО составляет 8-11%, азота 0,22-0,32%, фосфора 0,009-0,01% по массе. Внутрипоровый раствор ИО содержит 0,26-0,32 мг/л Р<sub>ОБЩ</sub>, 67-86 мг/л N<sub>ОБЩ</sub>, в т.ч. до 60 мг/л NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, 2,1-2,8 мг/л NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, что свидетельствует о процессах распада органического вещества в толще ИО и возможности вторичного загрязнения протекающих вод.

В течение периода наблюдений происходило резкое снижение с.-х. нагрузки на аквасистему отстойника-биоканала: средние концентрации N<sub>ОБЩ</sub> в период половодья уменьшились от 35-55 мг/л в 1991-93 гг., до 1,8-2,2 мг/л в 1995-96 гг.; Р<sub>ОБЩ</sub>, соответственно, от 0,62-0,77 мг/л до 0,21-0,37 мг/л.

В вегетационный период биоканал интенсивно зарастает ВВР, преобладающим видом является рогоз узколистный, удельная биомасса которого изменялась от 7,5-9 кг/м<sup>2</sup> в 1991-93 гг., до 4,5-5 кг/м<sup>2</sup> в 1994-96 гг.

Степень минерализации N<sub>ОБЩ</sub> изменяется от 20 до 80 %, Р<sub>ОБЩ</sub> от 15 до 90%. После прохождения через отстойник-биоканал доля органического азота и фосфора увеличивается на 15-20%, а минерального снижается, что объясняется потреблением биоценозом биоканала минеральных форм и выделением в процессе метаболизма органических форм.

На формирование качества воды при прохождении через отстойник-биоканал влияют: биогенная нагрузка; скорость водообмена, глубина, объем воды; баланс между потреблением биогенов и их выделением биокомпонентами экосистемы; баланс между седиментацией биогенов в ИО и их выделением из внутрипорового раствора ИО. В целом, концентрация биогенов в сбросных водах уменьшается после прохождения через отстойник-биоканал, являющийся аккумулялирующим звеном ландшафта (рис.3).

В условиях моренно-холмистых ландшафтов экологическое разнообразие ИГС может быть повышено путем включения в ее состав обводненных заболоченных котловин, в условиях равнинных ландшафтов – пойменных озер. Обобщенно эти элементы можно назвать термином «аквасистема», поскольку в процессах формирования качества воды в таких объектах принимают участие как водные, так и береговые экосистемы – почвы, влаголюбивая растительность, кустарники.

Исследования водоохранной эффективности подобных объектов проводились в верховьях ручья Каргинский. Аквасистема представляет собой



Соотношение между концентрациями биогенных веществ  
на входе и выходе из отстойника-биоканала

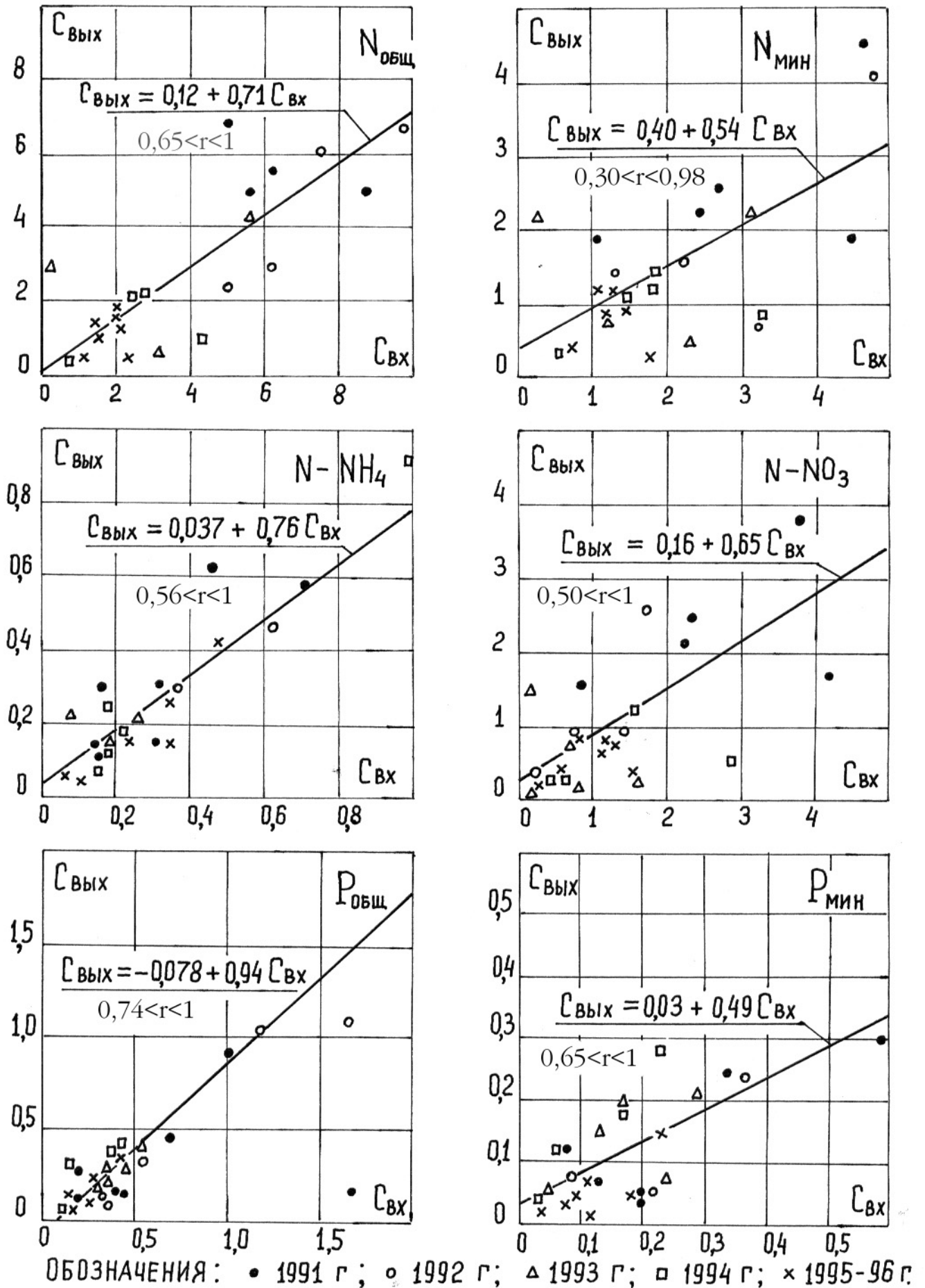


Рис.3

плоскую вытянутую котловину длиной 280 м, шириной 80-120 м, ограниченную крутыми берегами. Площадь сплошного затопления в период весеннего половодья составляет 2,2-2,5 га, в меженный период уменьшается до 0,7-0,6 га.

Источником загрязнения являются ливневые и талые воды с территории фермы КРС и склада навоза (10 га), автодорог и селитебных территорий; дренажный и поверхностный сток с осушаемых пахотных (188 га) и лугопастбищных (30 га) угодий.

Установлено, что аквасистема обеспечивает эффективное задержание взвешенных веществ, их содержание в сбрасываемых водах не превышало 50 мг/л, при содержании в поступающих водах 500-1200 мг/л.

В период проведения исследований происходило резкое снижение с.-х. нагрузки: К 1993 г. закрылась ферма КРС, были вывезены склады навоза на ее территории, 188 га пашни были переведены в лугопастбищные угодья. В результате за 5 лет с 1991 по 1995 г. вынос общего азота уменьшился в 12 раз, аммонийного азота в 5,2 раза, нитратного азота в 8,3 раза, общего и минерального фосфора в 4,1-4,3 раза, органических веществ в 2,8 раза. Соответственно, к 1995 г. концентрации биогенных веществ в сбрасываемых водах приблизились фоновым показателям природных поверхностных вод из первичной гидрографической сети (табл.10).

Эффективность очистки от биогенных веществ в значительной степени зависит от степени загрязненности поступающих вод., Так, например, если в 1991 г. при средней концентрации  $N_{\text{ОБЩ}}$ -10,9 мг/л,  $P_{\text{ОБЩ}}$ -1,8 мг/л аквасистема задерживала 33-38% от поступающих биогенов, то в 1994-95 гг. , когда концентрации биогенных веществ приблизились к фоновым значениям природных поверхностных вод, аквасистема практически не влияла на формирование качества воды (табл.10)

Таблица 10

Средние концентрации биогенных веществ в поступающих  
(числитель) и вытекающих (знаменатель) из аквасистемах водах

Год, место отбора	Показатели, мг/л						
	$N_{\text{ОБЩ}}$	$N-NH_4$	$N-NO_3$	$N_{\text{МИН}}$	$P_{\text{ОБЩ}}$	$P_{\text{МИН}}$	$БПК_5$
1991	<u>10,9</u>	<u>1,21</u>	<u>3,69</u>	<u>5,36</u>	<u>1,81</u>	<u>1,38</u>	<u>5,6</u>
	6,28	0,476	2,66	3,25	1,10	0,914	3,9
1992	<u>3,98</u>	<u>0,811</u>	<u>0,455</u>	<u>1,42</u>	<u>1,15</u>	<u>0,743</u>	<u>2,5</u>
	2,81	0,657	0,387	1,13	0,859	0,638	3,2
1993	<u>2,72</u>	<u>0,556</u>	<u>1,29</u>	<u>2,10</u>	<u>0,468</u>	<u>0,357</u>	<u>6,3</u>
	2,56	0,520	1,16	1,76	0,446	0,378	5,8
1994	<u>1,71</u>	<u>0,0869</u>	<u>1,06</u>	<u>1,18</u>	<u>0,262</u>	<u>0,125</u>	<u>0,91</u>
	1,65	0,103	0,692	0,893	0,372	0,136	0,78
1995	<u>1,08</u>	<u>0,278</u>	<u>0,521</u>	<u>0,827</u>	<u>0,507</u>	<u>0,363</u>	<u>2,4</u>
	0,956	0,228	0,399	0,656	0,221	0,157	1,2
Лесной ручей	0,956	0,146	0,501	0,700	0,142	0,086	1,0

При расположении объектов осушения на средних и нижних частях склонов, надпойменных террасах, отметки которых на 10-15 м выше горизон-

тов воды в водоприемниках, магистральные сбросные каналы имеют особенно большие уклоны в местах пересечения коренных берегов речных долин, уступов надпойменных террас. Обследование подобных объектов показало, что несмотря на крепление дна каналов железобетонными лотками и устройство перепадов, разрушения носят массовый характер с образованием промоин объемом несколько сотен м<sup>3</sup> и полным занесением нижележащих участков русла. Причина – концентрация ранее рассредоточенного грунтового и поверхностного стока в русле сбросных каналов. Ландшафтные особенности осушаемых микроводосборов (например южная ориентация склонов и т.п.) могут быть причиной формирования расходов значительно превышающих расходы 5-10% обеспеченности, рекомендуемые СНиП в качестве расчетных.

В этих условиях эффективным решением по предупреждению размывов и очистке сбросных вод может быть устройство рассеивающих выпусков. При этом, выпуск сбросных вод осуществляется на естественный залесенный, закустаренный или задернованный склон, длиной не менее 100 м с уклоном 0,02-0,1. Наиболее предпочтительными являются склоны выпуклой в поперечном сечении формы, располагающиеся между стоковыми ложбинами, обеспечивающие распыление сосредоточенного стока. В процессе стекания часть воды расходуется на испарение и транспирацию, а часть просачивается до грунтовых вод.

Исследования эффективности подобных сооружений проводились на мелиоративных объектах Карельского перешейка. Выпуск сбросных вод с осушаемых участков осуществлялся на естественный рельеф склонов речной долины, заросших мелколесьем и кустарником. Водосборная площадь подвешенная к одному выпуску изменялась от 18 до 35 га, длина склонов от 130 до 180 м, уклон от 0,04 до 0,06.

Наблюдения показали, что сток паводковых вод происходит по мерзлой почве, под снегом, поскольку с полевой части склона снег сходит на 8-10 дней раньше, чем с облесенных прирусловых склонов. На спаде паводка, когда расходы уменьшались до 10-15 л/с, конусы выноса, образовавшиеся в местах выхода дна каналов на рельеф, обеспечивали распыление сосредоточенного потока на ряд отдельных струй, которые на расстоянии 80-100 м от устья канала трансформируются во внутриводосборный сток и инфильтруются до грунтовых вод с интенсивностью впитывания 0,35-0,45 м/сут. Содержание биогенных элементов в составе внутриводосборного стока весной снижалось на 30-50%.

В период летне-осенней межени, когда расходы уменьшались до 1-2 л/с, поверхностный сток переходил в грунтовый на расстоянии 30-40 м от устьев каналов. В период активной вегетации лесокустарниковой растительности на склонах концентрация нитратов уменьшалась от 2,8 мг/л в устьях сбросных каналов, до 0,65 мг/л в составе внутриводосборного стока; аммония от 0,72 до 0,17 мг/л; фосфатов 0,06 до 0,01 мг/л, что даже меньше, чем в фоновых природных водах лесного ручья.

При обследовании прибрежной полосы реки-водоприемника было выявлено, что днища стоковых ложбин занимают в общей сложности 7-10% длины прибрежной полосы и не имеют следов размывов и плоскостной эрозии. Т.о.,

при соответствующем гидрологическом обосновании, рассеивающие выпуски обеспечивают рассеивание сосредоточенного в устьях сбросных каналов потока и перевода его во внутриводный сток с одновременной очисткой от биогенных элементов.

На основе анализа результатов наблюдений за эффективностью водоохранных зон и опыта эксплуатации систем очистки сточных вод методом полива по склонам, которые являются, соответственно, природными и инженерными аналогами рассеивающих выпусков были сформулированы основные технологические принципы их устройства.

В лабораторных условиях исследовалась аэрационная способность устьевых труб различных конструкций, в полевых условиях, на участках с выходом грунтовых вод с высоким содержанием закисного железа проводились наблюдения за аэрационной способностью различных конструкций подпорных сооружений. Установлено, что при небольших перепадах уровней, характерных для объектов мелиорации, наибольшая эффективность аэрации достигается на подпорно-аэрационных сооружениях в виде фильтрующей плотины, устьевых трубах со струерассекателем в виде объемного пористого блока (по А.с. №1427031), т.е. в конструкциях где имеет место не свободное падение струй воды, а их многократное дробление и слияние на пористой загрузке.

**В пятой главе** изложены результаты исследований эффективности и технологии использования биоинженерных сооружений (БИС) для очистки ливневых и талых вод от объектов инфраструктуры с.-х. производства.

Специфические особенности этой категории сточных вод заключаются в множественности источников выхода загрязненных вод и необходимости очистки их в местах образования; неравномерном выходе и резких изменениях состава стоков; возможности попадания в систему ливневой канализации небольших объемов сточных вод вспомогательных производств - моек, кормокухонь, убойных цехов в результате чего, отношение БПК:N:P меняется в самых широких пределах, в т.ч. неблагоприятных для биологической очистки стоков.

С учетом специфических особенностей ливневых и талых вод БИС для их очистки должны отвечать следующим требованиям:

1. Последовательное сочетание разнообразных методов очистки, в водной толще, иловых отложениях, при фильтрации через почвогрунты и искусственные субстраты из песка, торфа, известковых щебней, что позволяет очищать стоки с избыточным содержанием фосфора по отношению к азоту.

2. Разнообразие биоценозов, наличие в составе БИС растений разных экологических групп позволяет очищать стоки в которых отношение N:P меняется в широких пределах.

3. Чередование в сооружении зон с контрастными условиями: аэробных и анаэробных; окислительных и восстановительных; нитрификации и денитрификации, что достигается устройством дренажа, аэрацией на водосливах, культивацией ВВР, обеспечивающих фотосинтетическую аэрацию или обладающих корневой системой с развитыми воздухоносными порами. Контрастность окислительно-восстановительных условий обеспечивает геохимические барьеры

для многих микроэлементов, газообразные потери азота в зонах денитрификации позволяют очищать стоки с избытком азота, по отношению к фосфору.

4. Устройство БИС с максимально возможной длиной экотона по урезу воды. Граница между водой и сушей отличается наибольшим биологическим разнообразием, высокой степенью замкнутости локальных биологических микрокруговоротов.

5. Возможность и технологичность проведения эксплуатационных работ по изъятию избыточной биомассы ВВР и иловых отложений, наличие необходимых средств механизации. При функционировании БИС изъятие из очищаемых вод 1 кг азота и 0,24 кг фосфора сопровождается образованием 180-200 кг биомассы растительности и по этой причине обеспеченность эксплуатационных работ средствами механизации играет решающее значение для эффективного функционирования БИС.

6. Организация территории объекта-источника выхода загрязненных вод, устройство системы их сбора, отвода и накопления.

Разработана конструкция БИС в виде каскада интенсивно дренируемых наклонных площадок засеянных многолетними влаголюбивыми травами (рис.4). Очистка происходит при стекании тонким слоем по поверхности площадок и при фильтрации через грунтовый биофильтр в дренажную систему.

В ходе экспериментальных исследований на трех опытных объектах определены основные технологические параметры БИС данного типа. Емкость прудов-накопителей на опытных объектах была недостаточна, в результате чего, состав подаваемых на очистку стоков отличался нестабильностью (табл.11).

Таблица 11

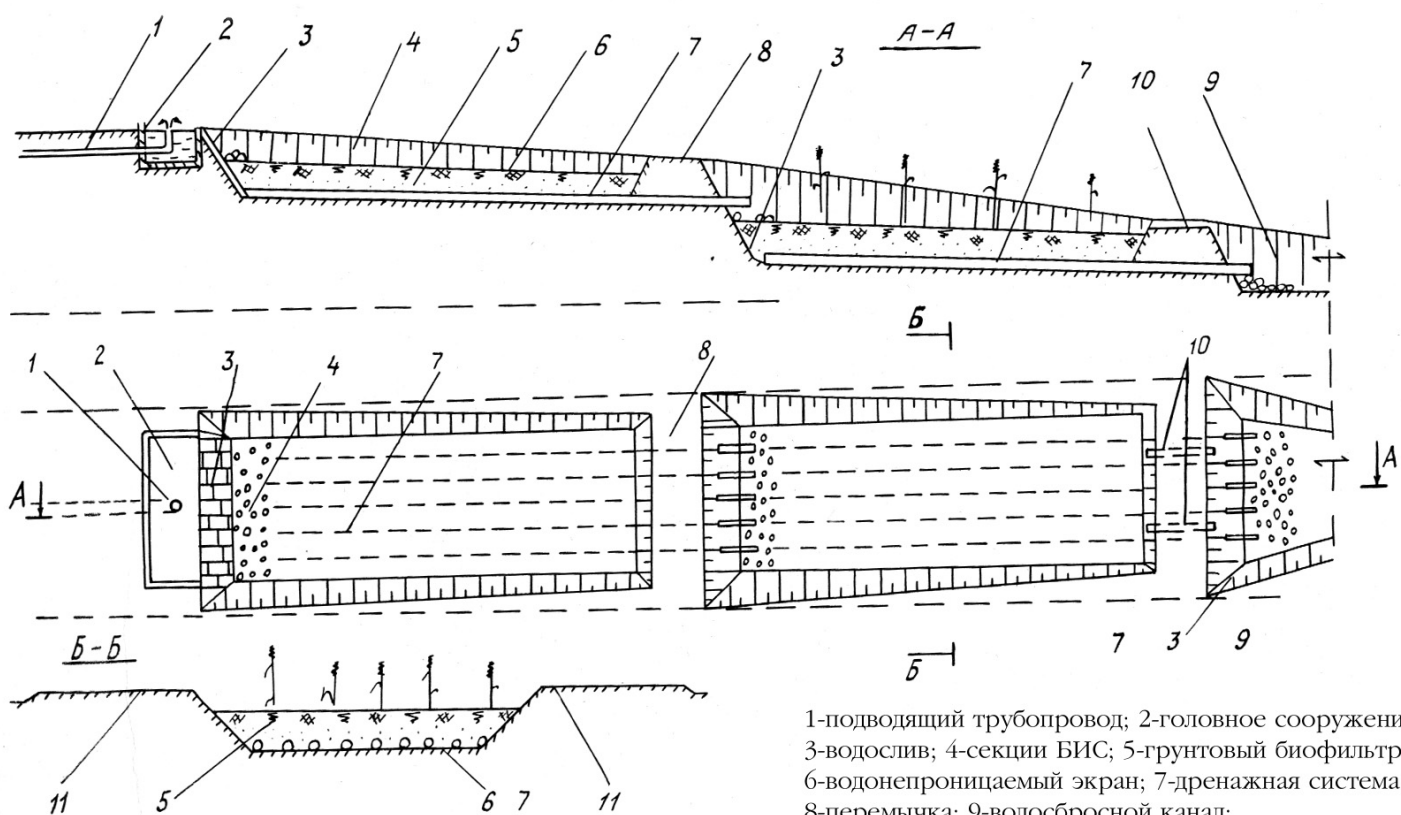
Показатели подаваемых на очистку стоков, наибольшее/наименьшее, мг/л

Вид очищаемых вод	БПК <sub>5</sub>	ХПК	NH <sub>4</sub>	PO <sub>4</sub>	K <sub>2</sub> O
Ливневые и талые воды с территории свинофермы и навозохранилища	<u>846</u> 10,8	<u>2720</u> 107	<u>300</u> 2,2	<u>88</u> 2,9	<u>470</u> 166
Сточные воды от кормокухни зверосовхоза	<u>124</u> 5,16	<u>224</u> 22	<u>30</u> 22	<u>3,7</u> 0,7	<u>8,0</u> 4,4
Хозбытовые сточные воды поселка Оржицы	<u>829</u> 77	<u>3020</u> 75	<u>360</u> 32	<u>217</u> 0,01	<u>220</u> 13

Анализ закономерностей изменения значений БПК<sub>5</sub>, концентраций NH<sub>4</sub>, PO<sub>4</sub> по ступеням каскада показал, что для каждой ступени каскада отношение концентрации i-го биогенного вещества в вытекающих водах, к концентрации этого вещества в поступающих водах, которое можно назвать коэффициентом степени очистки, сохраняет постоянное значение по сезонам года. В ходе экспериментальных исследований определены значения этого коэффициента, что позволяет рассчитывать количество ступеней в каскаде, при котором обеспечивается необходимая степень очистки.

В ходе экспериментальных исследований установлено, что эффективная работа сооружений данного типа возможна при температурах более 5-7 °С. Для условий Северо-Запада РФ этому условию отвечает период 180 дней, с начала

БИС в виде каскада прямоугольных интенсивно дренируемых наклонных площадок с посадками влаголюбивой растительности



- 1-подводящий трубопровод; 2-головное сооружение;
- 3-водослив; 4-секции БИС; 5-грунтовый биофильтр;
- 6-водонепроницаемый экран; 7-дренажная система;
- 8-перегородка; 9-водосборный канал;
- 10-аварийная водосборная труба;
- 11-эксплуатационная дорога

Рис.4

мая по конец октября.

Обоснован режим подачи сточных вод - полив в течение 2-7 суток и равный ему по продолжительности межполивной интервал, в течение которого происходит восстановление фильтрационных свойств грунтового биофильтра.

Область эффективной работы сооружений данного типа ограничена значениями концентраций  $N_{\text{Общ}} < 50$  мг/л,  $P_{\text{Общ}} < 10$  мг/л, что соответствует сточным водам средней и низкой удобрительной ценности.

Для условий Северо-Запада РФ определены предельные значения сезонных нагрузок на сооружение, при которых обеспечивается необходимая эффективность очистки: Гидравлическая – до 60000 м<sup>3</sup>/га; по общему азоту – до 1400 кг/га; по общему фосфору – до 310 кг/га; органическая по БПК<sub>5</sub> – до 1900 кг/га.

Для устройства сооружений данного типа наиболее пригодны участки с уклонами поверхности 0,04-0,08 на почвах тяжелого, а также среднего и легкого механического состава при близком залегании водоупора. В других гидрогеологических условиях необходимо осуществление мероприятий по предотвращению загрязнения грунтовых вод.

Разработаны рекомендации по определению конструктивных параметров сооружений, дренажей, конструкции грунтового биофильтра, фильтрационным расчетам, технологии пуско-наладочных работ и эксплуатации сооружений.

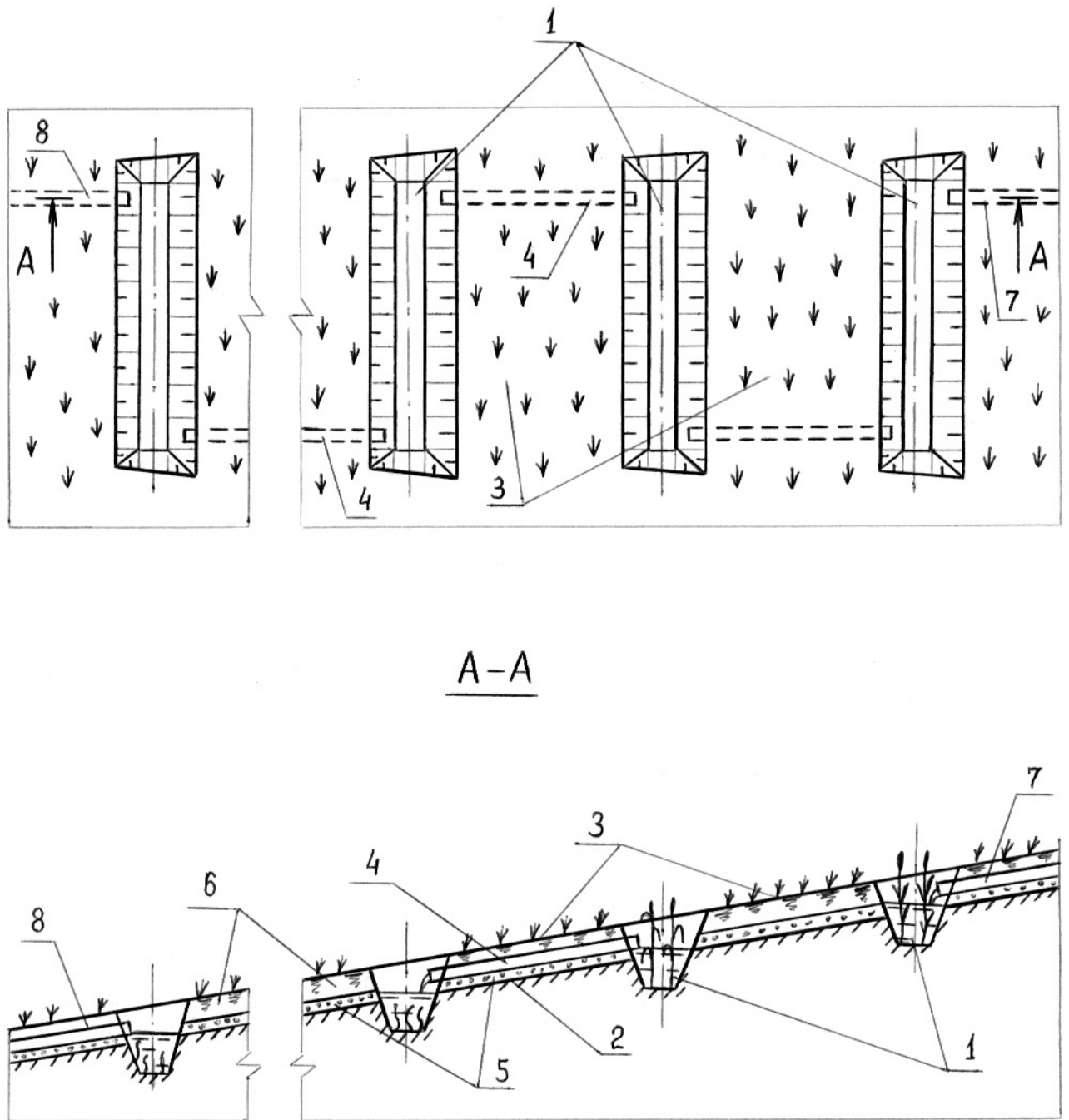
Существенным недостатком биопрудов с посадками ВВР, ботанических площадок, биоплато, длина которых сопоставима с шириной, является неравномерность скоростей течения, возможность проскока грязных вод в результате ветровых течений. Кроме того, эксплуатационные работы на таких сооружениях – выкашивание водной растительности и удаление иловых отложений не обеспечены средствами механизации.

Разработана конструкция БИС в виде каскада каналов-биопрудов лишенная отмеченных выше недостатков (патент РФ 2160234), схема которого показана на рис.5.

Отличительной особенностью является зональная культивация ВВР различных экологических групп, гидравлическая фильтрационная связь секций каналов через фильтрующий слой, перекрытый слоем растительного субстрата, на котором культивируются влаголюбивые травы.

Протекающие по каскаду сточные воды последовательно проходят через заросли ВВР четырех видов, относящихся к различным экологическим группам (воздушно-водные, погруженные, с плавающими листьями), подвергаются воздействию ассоциированного с ВВР фито-зоо-бактериопланктона; осаждаются взвешенные частицы; загрязняющие и биогенные вещества выносятся в результате биопоглощения и аккумулируются в надземной и корневой частях ВВР. Очищаемые воды аэрируются диффузионным путем, через зеркало воды в каналах, при падении воды из водопропускных труб на зеркало воды, а также в результате фотосинтетического выделения кислорода в секциях занятых погруженными видами ВВР. На большой площади межканальных промежутков, происходит фильтрация воды через почвенный, пронизанный корнями многолетних трав фильтрующий слой и вынос биогенов в результате биопоглощения

Схема БИС в виде каскада каналов-биопрудов



1 - секции каналов-биопрудов; 2 - подстилающие слабопроницаемые грунты; 3 - межканальные промежутки; 4 - водопропускные трубы; 5 - фильтрующий слой; 6 - растительный субстрат; 7 - подводящий трубопровод; 8 - отводящий трубопровод

Рис.5



Сооружение такого типа использовалось для очистки ливневых и талых вод с территории свинофермы. Топографические особенности отведенной площадки – узкий склон длиной 300 м, с перепадом высот 8 м обусловили компоновку сооружения в виде каскада из 34 каналов биопрудов длиной от 19 до 38 м, глубиной 1,0 м, шириной по дну 0,5 м и заложением откосов 1:1,25 м.

Грунты по трассе сооружения – плотные моренные суглинки обеспечивают надежную защиту грунтовых вод от загрязнения. Каналы проходят в полувыемке – полунасыпи, что в целом по сооружению обеспечивает баланс объемов земляных работ. При средней глубине наполнения 0,5 м объем воды в канале составляет 560 м<sup>3</sup>, площадь зеркала воды 1750 м<sup>2</sup>, суммарная длина 960 м.

Секции №1-14 были засажены корневищами рогоза, секции №15-16 корневищами тростника с плотностью посадки 1-2 корня на метр канала. В секции №17-25 высаживали побеги элодеи канадской, в секциях №26-34 ряску с плотностью посадки 0,5 и 0,25 кг/м<sup>2</sup>. В секции №26-34 подсаживали, в качестве растений индикаторов, единичные экземпляры кубышки желтой, произрастание которой возможно только в достаточно чистой воде. Хорошие результаты были получены при осенней посадке рогоза и тростника семенами. Через год экосистема была полностью сформирована - плотность молодых побегов на откосах каналов составляла 250-300 экз./м<sup>2</sup>, все растения хорошо укоренились, заросли межканальные промежутки, что позволило поставить сооружение под нагрузку. Эффективность работы БИС характеризуется данными приведенными в табл.12, свидетельствующими об устойчивой и надежной работе.

Таблица 12

Средние концентрации загрязняющих веществ в поступающих на очистку (числитель) и очищенных (знаменатель) водах, мг/л

Год	БПК <sub>5</sub>	NO <sub>3</sub>	NH <sub>4</sub>	N <sub>МИН</sub>	N <sub>ОБЩ</sub>	P <sub>МИН</sub>	P <sub>ОБЩ</sub>	K
1991	<u>1420</u>	<u>0,71</u>	<u>171</u>	<u>134</u>	-	<u>32,8</u>	-	<u>141</u>
	5,7	0,23	6,3	5,2		0,63		32,2
1992	<u>80,2</u>	<u>2,70</u>	<u>64,7</u>	<u>51,3</u>	<u>87,4</u>	<u>10,3</u>	<u>14,4</u>	<u>86,4</u>
	21,2	2,47	2,89	2,80	7,33	0,66	0,97	44,9
1993	<u>11,5</u>	<u>1,39</u>	<u>10,6</u>	<u>8,70</u>	<u>16,1</u>	<u>2,41</u>	<u>3,57</u>	<u>58,7</u>
	8,6	1,10	1,02	1,08	1,63	0,42	0,64	19,3

Анализ закономерностей изменения значений БПК<sub>5</sub>, концентраций P<sub>МИН</sub>, NH<sub>4</sub>, показал, что снижение концентраций описывается уравнением первого порядка, где значения коэффициентов скорости самоочищения зависят от температуры (табл. 13).

Таблица 13

Значения коэффициентов скорости самоочищения в каналах-биопрудах

Загрязняющее вещество	Значения коэффициентов, сут <sup>-1</sup> при температуре воды °С			
	1-5	5-10	10-15	> 15
Орг. в-ва по БПК <sub>5</sub>	0,06	0,11	0,12	0,12
NH <sub>4</sub>	0,05	0,12	0,16	0,18
P <sub>МИН</sub>	0,03	0,07	0,09	0,10

На основе результатов исследований разработаны рекомендации по проектированию основных конструктивных и технологических параметров сооружений, технологии эксплуатации и пуско-наладочных работ.

Исследования эффективности работы БИС проводились также в производственных условиях.

БИС комплекса КРС «Бронка» предназначены для очистки талых и ливневых вод с территории комплекса площадью 4 га, включая производственные помещения, силосные траншеи, сенные сараи, площадки для хранения и компостирования навоза. Объем подлежащих очистке вод в год 10% обеспеченности составляет 22,0 тыс./м<sup>3</sup>. Отличительной их особенностью является содержание общего фосфора в 1,1-2,1 раза превышающее содержание общего азота.

Подлежащие очистке воды поступают в трехсекционный пруд-накопитель, в первой секции которого происходит осаждение взвешенных веществ, вторая и третья заросли рогозом узколистным с биомассой до 3-3,6 кг/м<sup>2</sup> и работают в режиме проточных биологических прудов. Поскольку в процессах биопоглощения ВВР азота усваивается в 4-6 раз больше, чем фосфора, на выходе из прудов содержание общего фосфора превышает содержание общего азота в 1,6-10,7 раза.

Следующим звеном являются двухкаскадные постоянно затопленные дренированные биоканалы с загрузкой из песка и торфа, являющегося эффективным сорбентом по отношению к фосфору. В результате фосфор задерживается на биоканалах в количествах больших, чем азот. В целом, средние показатели эффективности очистки составляют: По общему азоту – 98,2%, фосфору - 98,2%, органическим веществам – 91,8%. Предотвращенный ущерб на уровень 2000 г. составляет 46,8 тыс. руб./год и зафиксирован в актах внедрения.

БИС комплекса КРС «Первомайское» предназначены для очистки 18,3 тыс./м<sup>3</sup> год талых и ливневых вод, включая стоки от мойки корнеплодов, силосные и навозосодержащие стоки. Ферма расположена на вершине пологого холма сложенного комплексом ледниковых четвертичных отложений суглинистого состава. Особенностью подлежащих очистке вод является высокое отношение БПК<sub>5</sub>/ХПК = 9,4-48 и преобладание фосфора над азотом.

Отличительной особенностью сооружений является удачное использование естественных водоохраных свойств прилегающих ландшафтов. Основная очистка осуществляется методом полива по естественному склону длиной около 300 м, заросшему травами и кустарником, поперек которого сформирована система пологих валов-ложбин. Наблюдения показали, что при расходах до 2-3 л/с уже на протяжении первых 30-50 м поверхностный сток полностью трансформируется во внутрпочвенный. В нижней части склона профильтровавшиеся воды попадают в каскад из двух биопрудов.

Основная очистка стоков происходит в процессе стекания по склону. При этом азот и фосфор поглощаются примерно в одинаковых количествах, что свидетельствует не только о развитии процессов биопоглощения, но сорбции фосфора при фильтрации через корнеобитаемый слой.

В целом, эффективность БИС достаточно высока, средние показатели

очистки составляют: По общему азоту 97%, фосфору 98%, органическим веществам 92-97%. Предотвращенный ущерб на уровень 2000 г. составляет 133 тыс. руб/год и зафиксирован в актах внедрения.

Таким образом, примененные технические решения – сочетание очистки в водной толще с фильтрацией через почвогрунты и искусственные субстраты обеспечили изъятие из очищаемых вод азота и фосфора примерно в одинаковых количествах.

**В шестой главе** приведены результаты исследований водоохранной эффективности прудов и малых водохранилищ на с.-х. водосборах, обоснован перечень показателей характеризующих их экологическое состояние, разработана методика оценки водоохранного потенциала водоемов, принципы и методы управления качеством воды.

В РФ насчитывается 2400 водохранилищ объемом менее 10 млн. м<sup>3</sup> и 42 тыс. прудов, т.е. основная часть искусственных водоемов относится к категории малых и имеет ряд качественных принципиальных отличий от крупных и средних водоемов..

До 70% этих сооружений создавались хозяйственным способом и не имеют проектной документации, около 10 % являются бесхозными, 25% сооружений напорного фронта находятся в аварийном состоянии, 40% водоемов эксплуатируются более 30 лет и в значительной степени заилены. Большая часть этих водоемов создавались для целей орошения, которое в настоящее время в лесной и лесостепной зоне практически прекратилось и таким образом, их целевое назначение остается неопределенным.

Исследования проводились на 6 объектах в Ленинградской и Тверской областях. Характеристики исследуемых водоемов изменялись в следующих пределах: Площадь зеркала 4,4-52 га; полный объем 85-670 тыс.м<sup>3</sup>; средняя глубина 1,1-4,2 м; с.-х. освоенность водосборов 18-96 %; продолжительность эксплуатации 20-150 лет.

Исследуемые водоемы были предназначены для аккумуляции вод весеннего половодья для орошения, однако в настоящее время в этом качестве не используются. В зависимости от водности года, соотношения между объемом стока весеннего половодья и полезной емкости продолжительность условного водообмена составляла от 12 до 300 сут., в среднем 25-60 сут.

Анализ результатов исследований показал следующее:

1. Малые водохранилища и пруды не оказывают заметного влияния на баланс консервативных веществ, находящихся в протекающих водах в больших количествах и принимающих слабое участие в биологических круговоротах экосистемы водоемов – хлориды, сульфаты, гидрокарбонаты, кальций, магний.

2. При отметках близких к НПУ концентрация взвешенных веществ не превышает 10-15 мг/л. При сработке уровня ниже НПУ и обнажении илов на мелководьях в периоды выпадения осадков концентрация взвешенных веществ увеличивается до 30-100 мг/л.

Таблица 14

Удельное поступление (числитель) и аккумуляция (знаменатель)  
биогенных веществ в исследуемых водоемах кг/(га·сут).

Год	N <sub>общ</sub>	N-NH <sub>4</sub>	N-NO <sub>3</sub>	P <sub>общ</sub>	P <sub>мин</sub>	К	Орг. в-ва по БПК <sub>5</sub>
Пруд-копань АО «СевНИИГиМ							
1991	<u>8,02</u>	<u>0,956</u>	<u>3,03</u>	<u>2,46</u>	<u>0,746</u>	<u>9,00</u>	<u>4,13</u>
	3,00	0,300	0,762	2,02	0,477	0,503	0,482
1992	<u>8,86</u>	<u>0,936</u>	<u>4,61</u>	<u>1,63</u>	<u>0,332</u>	<u>22,7</u>	<u>4,00</u>
	3,39	0,0115	0,963	0,890	0,115	3,60	0,2052
1994	<u>1,07</u>	<u>0,0754</u>	<u>0,683</u>	<u>0,135</u>	<u>0,0585</u>	<u>689</u>	<u>0,530</u>
	0,0573	0,0212	0,311	0,0516	0,0211	1,24	0,001
Водохранилище на руч. Каргинский							
1991	<u>2,87</u>	<u>0,148</u>	<u>1,62</u>	<u>0,364</u>	<u>0,251</u>	<u>4,02</u>	<u>1,36</u>
	1,15	0,0798	0,554	0,240	0,0411	-3,44	-2,52
1992	<u>1,56</u>	<u>0,116</u>	<u>0,232</u>	<u>0,251</u>	<u>0,172</u>	<u>4,28</u>	<u>0,826</u>
	0,843	0,102	0,158	0,0943	0,0975	0,128	-0,687
1993	<u>1,38</u>	<u>0,390</u>	<u>0,516</u>	<u>0,348</u>	<u>0,331</u>	<u>5,22</u>	<u>5,01</u>
	0,384	-0,009	0,308	0,133	0,131	0,599	0,401
1994	<u>0,240</u>	<u>0,0704</u>	<u>0,0600</u>	<u>0,235</u>	<u>0,153</u>	<u>1,41</u>	<u>2,48</u>
	-0,313	-0,209	0,0354	-0,0786	-0,0299	-0,402	-1,27
Пруд АО «Победа»							
1991	<u>2,54</u>	<u>0,0983</u>	<u>1,42</u>	<u>0,270</u>	<u>0,153</u>	<u>4,41</u>	<u>3,30</u>
	-0,124	-0,0239	-0,185	0,0621	-0,012	-0,354	-1,94
1992	<u>1,08</u>	<u>0,694</u>	<u>0,197</u>	<u>0,260</u>	<u>0,164</u>	<u>3,03</u>	<u>0,889</u>
	0,313	0,646	0,0457	0,0572	0,0674	-1,42	-0,284
1993	<u>0,234</u>	<u>0,182</u>	<u>3,608</u>	<u>0,579</u>	<u>0,524</u>	<u>8,16</u>	<u>1,76</u>
	-0,774	-0,600	-0,0531	0,323	0,296	-3,56	-2,10
1994	<u>0,440</u>	<u>0,0626</u>	<u>0,237</u>	<u>0,152</u>	<u>0,0792</u>	<u>5,79</u>	<u>0,821</u>
	0,124	-0,0068	0,127	0,114	0,0728	-25,2	-2,12

3. В период проведения исследований (1991-95 г.) с.-х. нагрузка на водосборы исследуемых водоемов значительно уменьшилась. Соответственно нагрузка по общему азоту и фосфору на исследуемые водоемы уменьшилась в 7-10 раз, качество воды улучшилось на 1 класс (табл.14). На фоне уменьшения нагрузки в исследуемых водоемах происходила в основном аккумуляция азота и фосфора, однако в некоторых случаях, в 1993-94 г. сброс соединений азота и фосфора превышал их поступление с водами питающих водотоков, что может объяснено внутренней нагрузкой со стороны ИО.

4. Установлены корреляционные связи между удельной нагрузкой ( $H_{P_{\text{общ}}}$ ,  $H_{N_{\text{общ}}}$ ) и аккумуляцией ( $A_{P_{\text{общ}}}$ ,  $A_{N_{\text{общ}}}$ ) общего азота и фосфора, кг/(га\*сут), в виде:

$$A_{P_{\text{общ}}} = (0,60 \pm 0,09) \cdot H_{P_{\text{общ}}} - 0,076, \quad 0,83 < r < 1; \quad (7)$$

$$A_{N_{\text{общ}}} = (0,41 \pm 0,07) \cdot H_{N_{\text{общ}}} - 0,19, \quad 0,58 < r < 1; \quad (8)$$

5. Установлены корреляционные связи между средними концентрациями биогенных веществ, мг/л, в водах водоемов ( $C^{\text{ВОД}}$ ) и питающих их рек и ручьев ( $C^{\text{Р}}$ ) в виде:

$$C_{N_{\text{общ}}}^{\text{ВОД}} = 0,53C_{N_{\text{общ}}}^{\text{Р}} + 0,56, \quad 0,76 < r < 1; \quad (9)$$

$$C_{N-NH_4}^{\text{ВОД}} = 0,81C_{N-NH_4}^{\text{Р}} - 0,019, \quad 0,40 < r < 1; \quad (10)$$

$$C_{N-NO_3}^{\text{ВОД}} = 0,68C_{N-NO_3}^{\text{Р}} - 0,069, \quad 0,77 < r < 1; \quad (11)$$

$$C_{P_{\text{общ}}}^{\text{ВОД}} = 0,61C_{P_{\text{общ}}}^{\text{Р}} - 0,016, \quad 0,59 < r < 1; \quad (12)$$

$$C_{P_{\text{мин}}}^{\text{ВОД}} = 0,46C_{P_{\text{мин}}}^{\text{Р}} - 0,024, \quad 0,42 < r < 1. \quad (13)$$

Биокомпоненты экосистемы водоемов включают фито-зоо-бактериопланктон, бентосные организмы, перифитон и ВВР, являющуюся экологическим ядром экосистемы.

В первые годы после заполнения видовой состав ВВР отличается большим разнообразием, в дальнейшем, по мере старения водоемов, доминирующими становятся 3-4 вида занимающих свои экологические ниши и наиболее приспособленных к режиму уровней, качественному составу ИО и воды. Наблюдения показали, что удельная биомасса ВВР в исследуемых водоемах составляла 0,40-0,56 кг/м<sup>2</sup> зеркала или 0,23-0,31 кг/м<sup>3</sup> объема, что почти на 2 порядка больше, чем других биокомпонентов.

Результаты наблюдений за накоплением ИО показывают, что их распределение характеризуется неравномерностью и обусловлено рельефом дна и гидродинамическими особенностями отдельных частей водоема. Граница распространения ИО определяется глубиной размывающего действия волнения и на малых водоемах ограничена изобатой 0,3 м, а наиболее интенсивно накопление ИО происходит на участках с большими глубинами.

Обобщение данных наблюдений по исследуемым водоемам показывает, что при с.-х. освоенности водосборов 50-80%, интенсивность седиментации составляет 1000-1100 кг/год на 1 га водосбора.

Экологическое состояние прудов и малых водохранилищ выражается совокупностью количественных и качественных показателей, основными из которых являются: Проточность; режим уровней; качество воды по физическим, гидрохимическим и санитарно-бактериологическим показателям; состояние

ложа водоема и ИО; совокупность показателей состояния биокomпонентов экосистемы водоема. Разработаны требования к показателям экологического состояния водоемов, в зависимости от их целевого назначения (с.-х. водоснабжение, орошение, рыборазведение, рекреация, регулирование стока и качества воды).

Рассматривая экологическое состояние малых водоемов на с.-х. водосборах, необходимо оценить их защищенность, потенциальные возможности к самоочищению, т.е. водоохраный потенциал, как совокупность их показателей и свойств, обеспечивающих разрушение, удаление, снижение концентраций ЗВ в протекающих водах. Разработана методика балльной оценки водоохранного потенциала по показателям, которые можно объединить в следующие основные группы:

- морфометрические характеристики водоема (средняя глубина, отношение длины к ширине, коэффициент формы водоема, отношение площади зеркала при НПУ и УМО);

- показатели состояния ложа водоема и ИО (интенсивность седиментации, содержание органического вещества в ИО, средняя мощность ИО);

- показатели состояния биокomпонентов экосистемы (удельная биомасса ВВР, доля воздушно-водных видов ВВР, относительная доля зарастания акватории ВВР, биомасса фитопланктона);

- показатели условий формирования и использования водных ресурсов водоема (отношение объема водохранилища к объему стока весеннего половодья, отношение объема водозабора к объему годового стока, сезонная сработка уровней, нагрузки по общему азоту и фосфору на зеркало водоема);

- показатели, характеризующие техническое оборудование водоема (наличие донного водовыпуска, выполнение мероприятий по строительной подготовке ложа водоема, наличие обводного канала с шлюзом-регулятором, обустройство прибрежной полосы).

Значения показателей ранжированы по 5 балльной шкале от оценки «очень благоприятное» до «крайне неблагоприятное». При этом, пределы изменения показателей определены на основании обследования опытных объектов, анализа проектной документации.

Оценка водоохранного потенциала по предлагаемой методике позволяет решить вопрос о целесообразности использования водоема в водоохраных целях, для регулирования качества воды. При этом, водоемы имеющие низкий водоохраный потенциал оказывают неблагоприятное воздействие на водные ресурсы и в их отношении может быть поставлен вопрос о реконструкции, проведении эксплуатационных мероприятий или ликвидации.

Реальное изъятие биогенных веществ из экосистемы водоема происходит при выкашивании и удалении биомассы ВВР, очистке ложа от ИО, газообразных потерях азота при денитрификации. Накопление биогенов в ИО без их изъятия из водоема, можно рассматривать только, как промежуточный этап, поскольку имеются многочисленные примеры, когда внутренняя нагрузка – поступление ЗВ из ИО превышает внешнюю, с водами питающего водотока.

Управление качеством воды прудов и малых водохранилищ – целенаправленное воздействие на факторы, влияющие на их экологическое состояние. Водоохраный потенциал водоемов может быть повышен при соблюдении следующих требований к их техническим характеристикам:

Перепад отметок между НПУ и УМО, а также площадь дна водоемов в зоне переменного горизонта воды должны быть возможно меньше, что достигается соответствующим выбором створа водоема, профилированием его дна в направлении увеличения крутизны подводных склонов в зоне переменного горизонта воды.

Для обеспечения равномерного водообмена, полноты контакта с водными биоценозами и реализации процессов самоочищения, водоемы должны иметь максимально возможное по топографическим условиям отношение длины к ширине, а конструкция и взаимное расположение водопропускных сооружений и устья питающего водотока должны исключать образование застойных зон.

Для оперативного управления качеством воды при эксплуатации водоемов, необходимо устройство донных водовыпусков, позволяющих осуществлять полноценный водообмен в придонной области и опорожнение водоемов для проведения очистных работ по удалению ИО и ВВР.

Устьевые биоплато предназначены для очистки биоинженерными методами вод впадающего водотока, береговые – для защиты от загрязнения поверхностным стоком с собственного водосбора водоема и его подводных откосов при снижении уровня воды. Формируются, как правило, в результате естественного зарастания прибрежной мелководной зоны ВВР.

Для уменьшения темпов заиления водоемов необходимо осуществление комплекса противоэрозионных агротехнических мероприятий на территории водосбора. Задержание основной массы продуктов водной эрозии должно осуществляться на временных водотоках, ливневой канализации, придорожных кюветах, мелиоративной сети. В устьевой части впадающего водотока необходимо осуществление мероприятий по уменьшению транспортирующей способности потока: искусственное уширение русла; посадку в уширенной части влаголюбивых кустарников; расчленение потока на несколько отдельных рукавов.

Водосбросные сооружения должны проектироваться таким образом, чтобы обеспечить аэрацию сбрасываемых из водоема вод. Предпочтение следует отдавать конструкциям со свободно падающей струей, сопряжением бьефов посредством гидравлического прыжка, а трубчатые сооружения необходимо рассчитывать на переходные, напорно-безнапорные режимы работы.

Комплекс мероприятий по подготовке ложа водоемов к затоплению включает срезку гумусового горизонта почв; выработку торфяников; устройство зимовальных ям на мелководных водоемах. Выполнение этих мероприятий позволяет уменьшить внутреннюю нагрузку в первые годы эксплуатации водоемов по  $N_{\text{Общ}}$  на 150-200 кг/(га\*год),  $P_{\text{Общ}}$  на 20-30 кг/(га\*год), органическим веществам (по БПК<sub>5</sub>) на 800-1200 кг/(га\*год).

При эксплуатации водоемов необходимо избегать холостых сбросов, не обоснованного хозяйственной необходимостью снижения уровней воды. На-

полнение водоемов необходимо производить на спаде половодья, чтобы обеспечить пропуск транзитом основной массы влекомых наносов, взвешенных и биогенных веществ на подъеме половодья.

Критериями необходимости проведения работ по очистке ложа водоемов от ИО являются: полное заиливание мертвого объема водоема; средняя мощность слоя ИО более 0,5 м при содержании органического вещества более 30%, интенсивное газоотделение из ИО, возникновение заморных явлений зимой; вторичное загрязнение, выражающееся в стабильном превышении содержания азота и фосфора в водах водоема, по сравнению с водами питающего водотока.

Сохранение и культивация ВВР должны сочетаться с регулированием ее воспроизводства и своевременным удалением избыточной надземной и корневой биомассы. Критерием необходимости осуществления этих работ является биомасса надземной части более 5 кг/м<sup>2</sup> при преобладании погруженных и плавающих видов и площади зарастания более 60% акватории.

Очистку малых водоемов объемом менее 1 млн. м<sup>3</sup> целесообразно выполнять путем предварительного опорожнения в предзимний период, промораживания ИО и разработки их бульдозерами-погрузчиками.

Регулирование продуктивности и видового состава ВВР можно производить путем их периодического опорожнения 2 раз в 3-4 года. В этом случае происходит искусственное омоложение экосистемы водоемов, гибель наименее ценных видов с плавающими листьями и погруженных. При последующем заполнении преимущественное развитие получают наиболее ценные в водоохранном плане воздушно-водные виды ВВР.

**В седьмой главе** изложена методика обоснования нагрузки с.-х. производства на мелиорируемые водосборы, обеспечивающей охрану и воспроизводство водных ресурсов.

Рациональная организация территории, установление оптимальных соотношений между природными и антропогенными фрагментами водосборов, территориальное сопряжение объектов-источников выхода загрязненных вод с водоохранными компонентами водосборов, регулирование и ограничение нагрузки на водосбор, может быть альтернативой инженерным водоохраным мероприятиям. Кроме того, коэффициенты индексации платы за загрязнение окружающей среды, выросли в 20-30 раз меньше, чем соответствующие коэффициенты, индексирующие стоимость проектных и строительных работ. Такая ситуация требует реализации наиболее экономичных решений в области охраны вод, в частности, учета самоочищающей способности естественных ландшафтно-геохимических барьеров, регулирования и ограничения нагрузки на водосбор.

Алгоритм методики обоснования нагрузок с.-х. производства на мелиорируемые водосборы представлен на рис.6.

По характеру влияния на качество природных вод территория мелиорируемого водосбора, в рамках соответствующих бассейновых территориальных структур, расчленяется на:



Блок-схема алгоритма нормирования нагрузки на мелиорируемые с.-х. водосборы



Рис.6

1. Территории занятые объектами источниками поступления загрязненных вод, в т.ч.: Площадными- мелиорируемыми и богарными с.-х. угодьями, садоводческими массивами, населенными пунктами с усадебной застройкой; точечными – населенными пунктами городского типа, фермами, гаражами, складами

удобрений и другими объектами инфраструктуры с.-х. производства; линейными – дорогами и коммуникациями.

2. Территории занятые водоохранными элементами водосборов, в т.ч.: Водоохранными зонами; специализированными водоохранными биоинженерными сооружениями; искусственной гидрографической сетью и входящими в ее состав аквасистемами.

3. Территории, занятые компенсирующими природными биоценозами, не испытывающими непосредственного воздействия с.-х. производства в т.ч.: Лесами, пустошами, кустарником; болотными массивами; естественными водоемами.

Основное требование к планированию территориальной структуры мелиорируемых водосборов заключается в том, что объекты-источники поступления загрязненных вод территориально должны сопрягаться с водоохранными компонентами водосборов.

Для выделенных объектов-источников поступления загрязненных вод рассчитывается:

- динамика поступления ЗВ;
- динамика аккумуляции ЗВ в сопряженных водоохранных компонентах водосборов в соответствии с рекомендациями изложенными в главах 3,4,5,6;
- динамика остаточной нагрузки, как разность между поступлением и аккумуляцией ЗВ.

Если остаточная нагрузка превышает нормативную по критериям ПДК, ПДС то производится изменение территориальной структуры водосборов и внедрение водоохранных мероприятий путем:

- перераспределения интенсивности с.-х. производства; на участках прилегающих к водоприемникам она уменьшается, на участках удаленных от водоприемника увеличивается;
- изменения трассировки ИГС, включения в ее состав заболоченностей, прудов и других аквасистем;
- отведения загрязненных вод на буферные территории;
- аккумуляции загрязненных вод в прудах и водохранилищах;
- регулирования качества вод попусками из водохранилищ;
- переноса точечных источников загрязнения в направлении удаления их от водоприемников;
- организации водоохранных зон, защитных лесных полос;
- внедрения биоинженерных водоохранных сооружений.

Если остаточная нагрузка меньше нормативной, то в рамках анализируемой ландшафтной структуры имеются возможности увеличения объемов и интенсивности с.-х. производства.

В качестве расчетного периода принят календарный месяц, расчеты динамики стока осуществляются для лет с обеспеченностью стока 25, 50,75% по 12 загрязняющим веществам – N-NH<sub>4</sub>; N-NO<sub>3</sub>; N<sub>мин</sub>; N<sub>общ</sub>; P<sub>мин</sub>; P<sub>общ</sub>; K; Cl; SO<sub>4</sub>; Fe<sub>общ</sub>, органические вещества по БПК<sub>5</sub>.

### Динамика выноса, остаточной нагрузки и среднемесячных концентраций $N_{\text{общ}}$ в закрывающем створе реки Кикенка

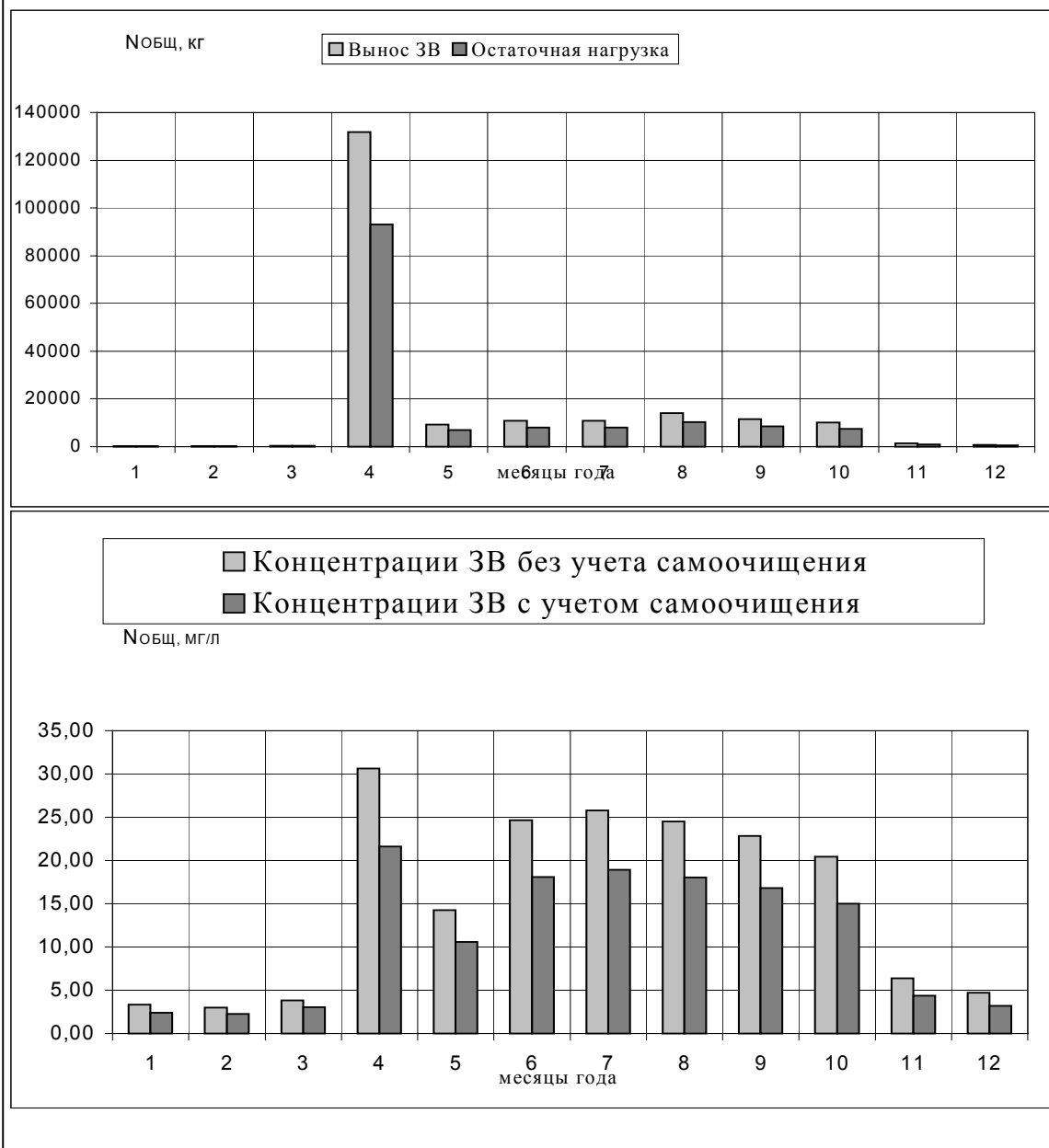


Рис. 7

Для реализации предлагаемой методики разработана программа, включающая все необходимые для проведения расчетов модели и методики для определения стоковых характеристик, качества сбросных вод с мелиорируемых и богарных с.-х. угодий, объектов инфраструктуры с.-х. производства, компенсирующих природных биоценозов; базы данных метеорологической, гидрологической и гидрохимической информации для условий Северо-Запада РФ. Результаты расчетов выводятся как в табличной форме, так и в виде диаграмм.

На рис.7 приведен пример расчета нагрузки с.-х. производства на водосбор р. Кикенка в пригородной зоне г. Санкт-Петербурга. Структура использования водосбора в расчетном створе (38,9 км<sup>2</sup>) характеризуется следующими данными: Осушаемые пахотные угодья – 49,1 %; осушаемые лугопастбищные угодья – 6,4 %; селитебные территории – 21,8 %; объекты инфраструктуры с.-х. производства(фермы, гаражи, дороги) – 1,4 %; леса, естественные луга – 21,3 %. Результаты расчета показывают, что нагрузка с.-х. производства значительно превышает допустимую, а р. Кикенка не имеет водохозяйственного значения, как источник воспроизводства экологически полноценных водных ресурсов и выполняет функцию канализационного коллектора.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1.Разработана концепция, методы и технологии охраны и воспроизводства водных ресурсов на мелиорируемых с.-х. водосборах, учитывающие специфику формирования их количественных и качественных характеристик, направление водохозяйственной деятельности, особенности с.-х. производства в условиях Северо-Запада РФ.

2.Реализация концепции - гармоничное сочетание экологических, социальных и экономических приоритетов достигается путем нормирования нагрузки на водные объекты; сопряжения объектов-источников выхода загрязненных вод с естественными и искусственными водоохранными ландшафтно-геохимическими барьерами; перехвата и локализации потоков загрязненных вод с последующей их очисткой на биоинженерных сооружениях; использования самоочищающей способности искусственной гидрографической сети; организации стока загрязненных вод через водоохранные зоны.

3.Проведенные комплексные гидрологические, гидрохимические наблюдения; исследования водно-физических свойств, качественного состава иловых отложений и их внутриводных растворов; наблюдения за видовым и химическим составом, распространенностью, биомассой надземной и корневой частей водной растительности; кислородным режимом сбросных вод позволили установить основные закономерности миграции биогенных и загрязняющих веществ на мелиорируемых с.-х. водосборах.

4.Установлено, что особенностью мелиорируемых с.-х. водосборов является формирование разветвленной искусственной гидрографической сети (ИГС), включающей различные по типоразмерам и функциональному назначению каналы открытой мелиоративной сети, канализованные водоприемники, пруды и водохранилища, системы ливневой канализации населенных пунктов, дорог, объектов инфраструктуры с.-х. производства. В результате канализованность территории увеличивается в 20-30 раз, а хозяйственная деятельность в таких условиях оказывает на водные объекты такое же влияние, как и в пределах водоохранных зон, где она строго ограничена.

5.Разработана классификация различных по степени антропогенного воздействия и условиям формирования типов воды на мелиорируемых с.-х. водо-

сборах, дифференциация которых обоснована закономерным изменением показателей их загрязненности; соотношений между главными ионами, органическими и минеральными формами биогенных элементов; статистических характеристик распределений концентраций загрязняющих веществ.

6. На основе экспериментальных исследований дана количественная оценка основных потоков биогенов в экосистемах ИГС. Установлено, что своевременное проведение очистных работ позволяет вернуть в процессы биологического круговорота на с.-х. угодьях до 39 % азота и 18 % фосфора от их поступления с дренажным и поверхностным стоком. При этом происходит реальное изъятие биогенных веществ из экосистемы ИГС возврат их в процессы круговорота на с.-х. угодьях и реализация механизма самоочищения сбросных вод.

7. Проведены экспериментальные исследования, установлены показатели водоохранной эффективности отстойников-биопрудов, биоканалов, рассеивающих выпусков, аквасистем, водоаэрационных сооружений в составе ИГС в условиях изменяющихся гидравлических и биогенных нагрузок, разработаны технологические принципы их организации.

8. Разработаны общие методические принципы, конструкции и методы расчета основных параметров биоинженерных сооружений для очистки ливневых и талых вод от объектов инфраструктуры с.-х. производства. В результате экспериментальных исследований на опытно-производственных объектах определены их основные эксплуатационные технологические характеристики и показатели водоохранной эффективности.

9. Проведены исследования водоохранной эффективности прудов и малых водохранилищ на с.-х. водосборах. Установлены корреляционные связи между удельной нагрузкой и аккумуляцией общего азота и фосфора в водоемах; соотношения между средними концентрациями биогенных веществ в водах питающих водотоков и водоемах. Обоснованы критерии оценки экологического состояния и водоохранного потенциала малых прудов и водохранилищ, позволяющие решить вопрос о целесообразности их использования для регулирования качества воды. Разработаны методы управления качеством воды, учитывающие специфику малых водоемов на с.-х. водосборах.

10. Разработана методика обоснования нагрузки с.-х. производства на мелиорируемые водосборы и пакет прикладных программ для ее реализации, учитывающая поступление загрязняющих веществ от всех компонентов производственной сферы; взаимное положение объектов-источников образования загрязненных вод, водоохранных компонентов водосборов и компенсирующих природных биоценозов; формирование разветвленной ИГС и ее самоочищающую способность.

11. Результаты работы вошли в нормативно-методическую литературу и использовались проектными организациями при разработке водоохранных мероприятий для проектов мелиорации земель и экологического обустройства с.-х. предприятий. Методика нормирования нагрузки с.-х. производства и пакет прикладных программ для ее реализации используются в организациях МПР РФ, в частности Невско-Ладужском БВУ.

**Основное содержание диссертации изложено в публикациях:**

1. А.с. № 682187 СССР, МКИ А 01 G 25/00. Мелиоративная система. Б.И. № 32, 1979. 2 с. (Соавт. В.И.Штыков).
2. А.с. № 870579 СССР, МКИ Е 02 В 11/00. Устройство для подачи воздуха. Б.И. № 37, 1981. 3 с. (Соавт. Э.А.Бишоф, В.И.Штыков).
3. А.с. № 996653, СССР, МКИ Е 03 F 5/12. Устройство для выпуска сточных вод. Б.И. № 6, 1983. 2 с. (Соавт. В.И. Штыков).
4. А.с. № 1134683, СССР, МКИ Е 03 F 5/12. Устройство для выпуска сточных вод. Б.И. № 2, 1985. 3 с. (Соавт. В.И.Штыков).
5. А.с. № 1158671, СССР, МКИ Е 02 В 11/00. Осушительная система. Б.И. № 20, 1985. 4 с. (Соавт. В.И. Штыков, В.И.Панова).
6. А.с. № 1161643, СССР, МКИ Е 02 В 11/00. Гидроуправляемое устройство для промывки дренажного трубопровода. Б.И. № 22, 1985. 3 с. (Соавт. Т.И.Даишев).
7. А.с. № 1213124, СССР, МКИ Е 02 В 11/00. Водопоглощающее устройство мелиоративной системы. Б.И. № 7, 1986. 2 с. (Соавт. Т.И.Даишев, Г. А. Морозов).
8. А.с. № 1216280, СССР, МКИ Е 02 В 7/40. Затвор-автомат гидротехнического сооружения. Б.И. № 9, 1986. 3 с. (Соавт. Т.И.Даишев).
9. А.с. № 1276743, СССР, МКИ Е 02 В 11/00. Способ эксплуатации осушительных каналов мелиоративных систем. Б.И. № 46, 1986. 2 с. (Соавт. Я.З.Шевелев, В.И.Штыков, В.И.Панова).
10. А.с. № 1286540, СССР, МКИ С 02 F 7/00. Устройство для перемешивания и аэрации воды в накопителях сточных и дренажных вод. Б.И. № 4, 1987. 3 с. (Соавт. В.И.Штыков, В.И.Панова).
11. А.с. № 1344853, СССР, МКИ Е 02 В 11/00. Горизонтальный отстойник. Б.И. № 38, 1987. 3 с.
12. А.с. № 1355667, СССР, МКИ Е 02 В 11/00. Дренажный колодец. Б.И. № 44, 1987. 2 с.
13. А.с. № 1427032, СССР, МКИ Е 02 В 11/00. Дренажный коллектор. Б.И. № 36, 1988. 3 с.
14. А.с. № 1469015, СССР, МКИ Е 02 В 11/00. Устье дренажного коллектора. Б.И. № 12, 1989. 3 с.
15. А.с. № 1427031, СССР, МКИ Е 02 В 11/00. Устье дренажного коллектора. Б.И. № 36, 1988. 2 с.
16. А.с. № 1427033, СССР, МКИ Е 02 В 11/00. Устье дренажного коллектора. Б.И. № 36, 1988. 3 с.
17. Патент № 2146659, РФ, МКИ С 02 F 3/02. Устройство для аэрации и перемешивания сточных вод. Б.И. № 8, 2000. 4 с. (Соавт. В.И.Штыков, В.И.Панова).
18. Патент № 2160234, РФ, МКИ С 02 F 3/32. Устройство для биологической очистки сточных вод. Б.И. № 34, 2000. 6 с. (Соавт. В.И.Штыков, В.И.Панова).

19. О влиянии на качество дренажного стока конструкций дрен и и устьев // Регулирование водного режима дренированных минеральных почв / Сб. науч. тр. ЛитСХА.- Каунас-Академия, 1987. С.90-92. (Соавт. В.И.Штыков, С.Г.Гордиенко).

20. Эффективный способ очистки животноводческих стоков и загрязненных поверхностных вод малых и средних ферм // Сельскохозяйственное использование животноводческих стоков-эффективный способ охраны водных источников от загрязнения / Сб.науч. тр. ВНИИССВ.- М., 1991. 11 с. (Соавт. В.В.Колупаев, А.А.Жонсон).

21. Количественная оценка самоочищения сбросных вод в открытой сети мелиоративных систем // Экосистемный подход к управлению качеством поверхностных вод мероприятиями на водосборах / Тез. докл. Всероссийской конф. УралНИИВХ.- Свердловск, 1991. С.39-40. (Соавт. А.А.Жонсон).

22. Опыт очистки поверхностных вод на каскадных фитофильтрационных сооружениях // Экосистемный подход к управлению качеством поверхностных вод мероприятиями на водосборах / Тез. докл. Всероссийской конф. УралНИИВХ.- Свердловск, 1991. С.20-21. (Соавт. А.А.Жонсон).

23. Объемы и очередность осуществления водоохраных мероприятий при мелиорации земель в бассейне Ладожского озера // Мелиорация и водное хозяйство.-1993.- № 3.- 3 с. (Соавт. А.А.Жонсон, В.И.Штыков).

24. Пособие по проектированию водоохраных инженерно-биологических сооружений // Министерство сельского хозяйства и продовольствия Российской Федерации. СПб, 1994. 88 с.(Соавт. В.И.Штыков, В.И.Панова, А.А.Жонсон).

25. Рациональная организация потоков биогенных и загрязняющих веществ на сельскохозяйственных водосборах // Актуальные экологические проблемы республики Татарстан / Тез. докл. II республ. конф.- Казань, 1995. С. 134. (Соавт. В.И.Штыков).

26. Биоинженерные водоохраные сооружения в виде каскада каналов-биопрудов // Мелиорация и водное хозяйство.-1995.- № 5.- С.23-25. (Соавт. В.И.Штыков)

27. Балансовая количественная оценка процессов самоочищения дренажных и поверхностных вод в открытой сети осушаемых агроландшафтов // Доклады РАСХН.-1996.- № 4.-С.55-56.

28. Статистические характеристики загрязненности различных типов вод на осушаемых с.-х. водосборах // Бассейн реки: Эколого-водохозяйственные проблемы рационального водопользования / Материалы Всероссийской конф.- Екатеринбург, 1996. С.113-114. (Соавт. В.И.Штыков).

29. Гидравлические исследования узлов сопряжения дрен верхнего и нижнего ярусов двухъярусных осушительных систем // Доклады РАСХН.-1997.- № 2.- С.45-47. (Соавт. В.И.Штыков, С.Г.Гордиенко).

30. Водоохранная роль малых водоемов в условиях сельскохозяйственного использования водосборов в Ленинградской области // Водные ресурсы.- 1997.-Т.24.- № 5.-С.577-580. (Соавт. В.И.Штыков).

31. Водоохранная эффективность малых водохранилищ на сельскохозяйственных водосборах и комплекс мероприятий по ее повышению // Состояние водоемов и способы их улучшения / Сб. докл. международной конф. Каунас-1997.- С.83-85. (Соавт. В.И.Штыков).

32. Опыт эксплуатации биоинженерных сооружений для очистки загрязненных при с.-х. производстве вод // Экологически безопасное использование сточных вод и животноводческих стоков в сельском хозяйстве / Сб. науч. тр. НПО "Прогресс".- Барнаул, 1995.-С.364-377. (Соавт. В.И.Штыков, А.А.Жонсон).

33. Водоохранное значение ландшафтов в зоне избыточного увлажнения // Вестник Российской Академии сельскохозяйственных наук.- 1998.- № 3.- С.54-57. (Соавт. В.И.Штыков).

34. Методика обоснования нагрузки сельскохозяйственного производства на мелиорируемые водосборы // Водное хозяйство России.-1999.- Т.1.-№ 4.- С.401-415. (Соавт. М.П.Дальков, В.И.Штыков).

35. Водоохранная роль макрофитов в искусственной гидрографической сети антропогенных ландшафтов // Современные проблемы водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов / Материалы науч. техн. конф. посвященной 190 летию ПГУПС.- СПб, 1999.-С.104-108. (Соавт. В.И.Штыков).

36. Осушительно-аэрационные и осушительно-вентилируемые системы и их влияние на качество дренажного стока. // Современные проблемы водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов / Материалы науч. техн. конф. посвященной 190 летию ПГУПС.- СПб, 1999.-С.108-111. (Соавт. В.И.Штыков).

37. Водоохранная роль малых водохранилищ // Тез. докл. I Международной конф. "Акватерра".- СПб, 1998. 1 с. (Соавт. В.И.Штыков).

38. Методика оценки водоохранного потенциала малых рек при сельскохозяйственном использовании их водосборов // Тез. докл. II Международной конф. "Акватерра".- СПб, 1999.- С.169-170. (Соавт. В.И. Штыков).

39. Методические основы защиты природных вод от загрязнения при эксплуатации транспортных магистралей // Новое в экологии и безопасности жизнедеятельности / Сб. тр. Международного экологического конгресса.- СПб, 2000.- Т.2.-С.54-57. (Соавт. В.И. Штыков).

40. Мелиорация земель в бассейне Ладожского озера // Вода России.-2000.- № 101.- Екатеринбург.-С.3. (Соавт. В.И. Штыков).

41. Водоохранные мероприятия на объектах мелиорации в бассейне Ладожского озера и р. Невы. // Тезисы докл. IV международного конгресса Вода: Экология и технология "ЭКВАТЕК –2000".- М., 2000.-С.137-138. (Соавт. В.И. Штыков).

42. Методика оценки экологического состояния малых водохранилищ и прудов // Тез. докл. III Международной конф. "Акватерра".- СПб, 2000.-С.55-56. (Соавт. В.И.Штыков, А.Н.Попов).