

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА

БИОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

На правах рукописи

ГОРЮНОВА Светлана Васильевна

**ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПРОЦЕССА АНТРОПОГЕННОЙ
ДЕГРАДАЦИИ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ**

03.00.16 - Экология

05.26.02 - Безопасность в чрезвычайных ситуациях
(для биологических систем)

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
доктора биологических наук

Москва - 2006

Работа выполнена в Российском университете дружбы народов и в ООО «Альфамед 2000»

Научный консультант: доктор биологических наук
В.Н. Безносков

Официальные оппоненты: доктор биологических наук
В.А. Абакумов

доктор биологических наук
В.М. Хромов

доктор биологических наук
В.Д. Ильичев

Ведущая организация: Московский государственный университет
технологий и управления

Защита состоится 12 октября 2006 г. в 15 часов 30 минут на заседании Специализированного диссертационного совета Д501.001.55 в Московском государственном университете им. М.В. Ломоносова по адресу: 119892 Москва, Ленинские горы, МГУ, Биологический факультет, 389 ауд.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Биологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова

Автореферат разослан 11 сентября 2006 г.

Ученый секретарь
Специализированного
диссертационного совета Д 501.001.55

Н.В. Карташева

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность проблемы. Последние десятилетия характеризуются резким усилением антропогенной нагрузки на водоемы и водотоки. Происходит прогрессирующее ухудшение качества водной среды, что составляет угрозу экологической, продовольственной и национальной безопасности страны. Широкий размах деградационных процессов, происходящих в гидросфере, приводит к различным по своей природе событиям и явлениям. К ним можно отнести разрушение структурно-функциональной организации водных экосистем, снижение водохозяйственного, рыбохозяйственного и рекреационного потенциалов водных объектов, снижение их видеоэкологических свойств, определяющих социальную привлекательность территории проживания людей (Виноградов, 1987; Сиренко, 1988; Израэль, Цыбань, 1989; Реймерс, 1994; Брагинский, 1998; Абакумов, Семин, 2001; Hall, 1984; Pitt, 2000).

Весьма разнородны и причины, обуславливающие антропогенную деградацию водных объектов: загрязнение, засорение и эвтрофирование водной среды, изменение гидрологического режима водных систем, строительство и эксплуатация гидротехнических сооружений, нерациональное использование водных ресурсов.

На современном этапе количество водных объектов, находящихся в неудовлетворительном состоянии, неуклонно увеличивается, возрастает и степень их деградации. В соответствии с этим растет и потребность в осуществлении мер, способных воспрепятствовать дальнейшему развитию негативных явлений (Абакумов, 1977; Максимов, 1991; Абакумов, Калабеков, 2002; Семин, 2005; Hale, 1987; Nicholls, 1998; Norrstrom, Bergstedt, 2001). Однако, несмотря на большое число работ, посвященных исследованию отдельных аспектов антропогенной деградации водных объектов (главным образом, связанных с различными формами их загрязнения), закономерности, характеризующие развитие этого процесса в целом, изучены недостаточно. Вместе с тем, их познание является необходимым условием разработки научно-обоснованной методологии борьбы с этими негативными явлениями, которые уже в настоящее время представляют собой реальную угрозу для устойчивого развития человеческого общества.

Цель и задачи работы. Основной целью работы является исследование общих закономерностей развития процесса антропогенной деградации водных объектов и научное обоснование путей их экологической реабилитации. В соответствии с намеченной целью были поставлены следующие задачи:

- определить основные факторы, вызывающие деградацию водных объектов;
- исследовать процессы антропогенной деградации в различных типах водных объектов;

- на основе сравнительного анализа полученных материалов выявить общие закономерности развития процессов антропогенной деградации, свойственные всем типам водных объектов;
- обосновать целесообразность мероприятий по экологической реабилитации водных объектов на каждой из фаз их антропогенной деградации;
- определить комплекс критериев, позволяющих судить о развитии в водных объектах процесса антропогенной деградации;
- разработать научно-обоснованную методологию исследования деградации водных объектов;
- на основании обобщения полученных результатов создать научную концепцию антропогенной деградации водных объектов.

Основные защищаемые положения. Предметом защиты являются следующие положения:

1. Процесс антропогенной деградации водных объектов, вне зависимости от их вида, генезиса, масштабов и местоположения, носит общий и закономерный характер, представляя собой ряд последовательных фаз. Разработка методов улучшения экологического состояния водных объектов должна основываться на учете фазы их антропогенной деградации.

2. Природоохранные меры могут привести к устойчивому улучшению состояния водных объектов только на ранних стадиях их антропогенной деградации. На финальных стадиях деградации реальное улучшение их состояния возможно только в результате проведения специальных инженерно-технических мероприятий.

3. Антропогенная деградация обуславливает постепенное увеличение сходства (конвергенцию) между водными объектами естественного и искусственного происхождения.

4. Область воздействия техногенных факторов постепенно охватывает всю гидросферу, в связи с чем уже в ближайшем будущем большинство водных объектов можно будет рассматривать как природно-техногенные системы, различающиеся лишь степенью воздействия техногенных факторов в данный период времени и уровнем их инженерно-экологического обустройства.

Теоретическая значимость и научная новизна работы.

Впервые проведено целенаправленное изучение общих закономерностей процесса антропогенной деградации водных объектов.

На основании анализа и обобщения результатов, полученных в ходе исследований

различных водных объектов, выявлены и описаны основные фазы процесса антропогенной деградации. Предложены мероприятия по предотвращению развития процесса антропогенной деградации на каждой из обозначенных фаз.

Для обозначения наблюдающихся явлений разработан новый понятийный аппарат, включающий научно-обоснованное определение термина «антропогенная деградация водного объекта».

Разработаны концептуальные основы методологии исследования процесса антропогенной деградации. Впервые применены новые экспресс-методы определения функционального состояния водорослей и погруженных макрофитов по фотоиндуцированному изменению pH среды и скорости движения цитоплазмы.

Описано явление конвергенции природных и искусственных водоемов в ходе их антропогенной деградации.

На основе комплексного изучения различных водоемов и водотоков, расположенных на урбанизированных территориях, разработана общая схема исторического развития малых городских водных объектов.

Разработана система балльной оценки состояния водного объекта по совокупности различных показателей (экологических, инженерно-технических, социальных и др.).

Практическое значение. Результаты работы могут быть использованы в следующих областях практической деятельности:

- для разработки природоохранных нормативов;
- для оценки экологического состояния водных объектов различного типа и разработки мер, направленных на предотвращение их деградации;
- при планировании мероприятий по обеспечению безопасности работы систем технического водоснабжения АЭС и других крупных производственных объектов;
- при проектировании гидротехнических сооружений и водохозяйственных систем;
- при разработке экологической проектной документации градостроительных объектов.

Результаты работы использовались при разработке проектов инженерно-экологического обустройства ряда водных объектов г.Москвы: «Капитальный ремонт Нижнего Мещерского пруда (Очаково)»; «Строительство водяной мельницы на территории государственного музея-заповедника «Коломенское»; «Восстановление и экологическая реабилитация пруда по ул. Феодосийская, д.11а (микрорайон Бутово)».

Материалы диссертации включены в программу учебных курсов экологического факультета Российского университета дружбы народов.

Апробация работы. Результаты работы докладывались на: III Всесоюзной межуниверситетской конференции по физико-химической биологии (Тбилиси, 1982); Всесоюзном симпозиуме «Обобщенные показатели качества вод – 83. Практические вопросы биотестирования и биоиндикации» (Черноголовка, 1983); конференции «Проблемы охраны вод и рыбных ресурсов Поволжья» (Казань, 1983); Всесоюзной конференции «Учение В.И.Вернадского о ноосфере и глобальные проблемы современности» (Москва, 1988); Всесоюзной конференции по токсикологии (Рига, 1988); III конференции Научно-исследовательского центра РУДН «Применение физико-химических методов в науке и технике» (Москва, 1990); конференции «Актуальные проблемы комплексного изучения природы и хозяйств южных районов Узбекистана» (Карши, 1991); первой межвузовской конференции «Актуальные проблемы экологии» (Москва, 1995); научно-технической конференции «Природоохранное обустройство территорий» (Москва, 2002); научных конференциях Аграрного факультета РУДН (Москва, 1991; 1997; 2002, 2003); международной конференции «Новые технологии в защите биоразнообразия в водных экосистемах» » (Москва, 2002); 4-ой, 5-ой, 6-ой международной научной конференции «Водные экосистемы и организмы» (Москва, 20002-2004); 2-ой международной конференции МГУ «Биотехнология – охране окружающей среды» (Москва, 2004); Всероссийском симпозиуме «Автотрофные микроорганизмы» (Москва, 2005); II Всероссийской конференции «Научные аспекты экологических проблем России» (Москва, 2006); заседании кафедры системной экологии РУДН (Москва, 2006); собрании сотрудников лаборатории экологических исследований ООО «Альфамед 2000» (Москва, 2006); заседании кафедры гидробиологии МГУ (Москва, 2006).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 72 работы.

Структура и объем работы. Диссертация изложена на 384 страницах машинописного текста и состоит из введения, 7 глав, выводов и списка литературы. Диссертация включает 63 таблицы, 41 рисунок и 30 фотографий. Список литературы содержит 390 наименований работ, из них 284 - отечественные и 106 - на иностранных языках.

ГЛАВА I. АНТРОПОГЕННАЯ ДЕГРАДАЦИЯ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ, ЕЕ ПРИЧИНЫ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ

Несмотря на то, что термин «деградация водных объектов» в научных публикациях встречается весьма часто, его общепринятого определения в настоящее время нет. Обычно в словарях по экологии приводится только определение понятия «деградация среды», под

которым, как правило, подразумевается совместное ухудшение природной и социальной среды жизни человека (Реймерс, 1990; Данилов-Данильян и др., 2002). Однако непосредственно в водной среде человек не обитает. Поэтому под деградацией водных объектов в научных публикациях обычно подразумевается утеря водными объектами самых различных свойств, потенциально используемых человеком, то есть водохозяйственного, рыбохозяйственного, рекреационного потенциалов, социальной привлекательности и культурно-исторического значения. В целом, антропогенную деградацию водных объектов можно определить как процесс, обусловленный комплексом факторов, связанных с различными видами человеческой деятельности, сопровождающийся изменением не только экологического состояния водоемов и водотоков, но и их ресурсно-эксплуатационных параметров.

В методологическом аспекте процесс деградации элементов окружающей среды связан с развитием чрезвычайной экологической ситуации (ЧЭС) или экологического бедствия. Более того, в большинстве случаев процессы деградации начинают серьезно исследоваться только при возникновении подобных условий. Показано, что любые явления, приводящие к значительному ухудшению состояния среды (то есть ее деградации), должны рассматриваться как процесс развития чрезвычайной ситуации, а любые меры, направленные против деградации водных объектов, можно, с точки зрения закона, рассматривать и как действия, направленные на предупреждение ЧЭС (Статья 1 Федерального закона «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера». 2002). Вместе с тем, официальной трактовки понятия «чрезвычайная экологическая ситуация на водном объекте» в настоящее время еще не существует. Не разработана и система критериев, позволяющих диагностировать возникновение ЧЭС (Михеев и др., 2001). Выработка таких критериев должна основываться на изучении динамики процесса деградации водного объекта, что позволит прогнозировать наступление ситуации, при которой «происходят изменения, угрожающие здоровью людей, животному и растительному миру, состоянию окружающей природной среды» (Водный кодекс РФ, 2006. Статья 116 «Зоны чрезвычайной экологической ситуации и экологического бедствия на водных объектах»).

Важным и в настоящее время малоизученным аспектом проблемы является установление взаимосвязей между развитием ЧЭС и чрезвычайных ситуаций (ЧС) других типов. Как свидетельствуют результаты комплексного анализа собственных и литературных материалов, антропогенная деградация водных объектов может вызвать возникновение экологических, биологических и техногенных ЧС. Причем эти события

часто обуславливают друг друга и могут рассматриваться как синергетические явления (Горюнова и др., 2002; Безносков и др., 2002).

ГЛАВА II. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Основным материалом для работы послужили результаты, полученные в 1987-2005 гг. при изучении экологического состояния различных водных объектов, подверженных интенсивному антропогенному воздействию и находящихся на той или иной стадии антропогенной деградации. Каждая из категорий этих объектов обладает рядом особенностей (в частности, они весьма сильно отличаются по своим масштабам, происхождению и характеру водопользования), однако проводившиеся на них исследования объединяла общая цель – познание закономерностей процесса развития антропогенной деградации водных объектов. Исследовались:

- 1) прибрежные воды курортной зоны г.Анапа (1987-1990 гг.);
- 2) водоем-охладитель Курской АЭС (1999-2006 гг.);
- 3) малые водные объекты г.Москвы и Московской области (2001-2006 гг.).

Сбор материала на всех исследованных объектах осуществлялся круглогодично. Для определения показателей, характеризующих качество водной среды, применялись стандартные гидрохимические (Алекин, 1970; Новиков и др., 1990; Охрана природы ..., 2000) и гидробиологические методы (Винберг и др., 1960; Киселев, 1969; Хромов, Семин, 1975; Федоров, 1979; Сорокин, 1983; Федоров, Капков, 1999; 2000; Кудряшов, Садчиков, 2002; Безносков, Суздалева, 2005).

Статистическая обработка материалов проводилась с помощью пакета программ «STADIA» (Кулаичев, 1998). В кластерном анализе использовался метод Ворда (Word's metod) (Эзау, 1995). Для картографической визуализации данных применялась система ARC View GIS (Матросов, 1999).

ГЛАВА III. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА АНТРОПОГЕННОЙ ДЕГРАДАЦИИ ПРИБРЕЖНОЙ АКВАТОРИИ КУРОРТНОЙ ЗОНЫ г. АНАПА

Основными целями работы являлись: установление причин ухудшения качества водной среды в прибрежной зоне моря, прогноз дальнейшего развития экологической ситуации и разработка предложений по ее улучшению.

В последние десятилетия XX века на некоторых участках курортной зоны г.Анапа сложилась катастрофическая ситуация. Избыточная антропогенная нагрузка (численность отдыхающих в 1985–1986 г.г. достигала 4 млн. человек в курортный сезон) и отсутствие

надлежащего обустройства пляжных территорий обусловили периодическое снижение качества прибрежных вод до уровня, не позволяющего использовать данные участки в рекреационных целях. Отдельные бессистемные попытки улучшить ситуацию (например, временное закрытие пляжей) результатов не давали. В результате интенсивного загрязнения, дампинга грунтов при отсыпке пляжей и периодических заморов водных организмов, также обусловленных избыточной антропогенной нагрузкой (эвтрофированием и вторичным загрязнением), большинство биоценозов в прибрежной зоне было полностью или частично уничтожено, процессы самоочищения - нарушены. Сложившуюся ситуацию можно рассматривать как деградацию водного объекта.

Как показали результаты комплексных исследований, в пределах 50-километрового участка Кавказского побережья Черного моря, занятого курортными учреждениями, в период проведения работ подчиненными Территориальному совету г.Анапа, можно было выделить ряд зон (экоучастков), каждая из которых характеризуется определенным уровнем антропогенного воздействия (Горюнова, Безносков, 2004):

1. Фоновая зона - участок прибрежной зоны, в котором антропогенная нагрузка сохраняется на уровне, незначительно превышающем использование этого участка местным населением традиционными видами деятельности. Морские курорты возникают в местах с благоприятными для жизни условиями и чаще всего там, где уже проживают люди, а совсем нетронутые территории отсутствуют. Поэтому в качестве «эталона» (объекта для сравнения) в курортных зонах целесообразно выбирать участки, где в той или иной мере сохранились условия, существовавшие до организации курорта. Среднее количество отдыхающих в фоновой зоне в дневное время на берегу моря во время курортного сезона не должно превышать 10 человек на 100 м береговой линии. В качестве «фоновой» зоны можно рассматривать район мыса Утриш.

2. Зона умеренной рекреационной нагрузки: изменение гидрохимических и гидробиологических параметров, свидетельствующее об ухудшении качества водной среды, наблюдается лишь эпизодически. Среднее количество отдыхающих в разгар курортного сезона - от 10 до 100 человек на 100 м береговой линии. В период сбора фактического материала таким участком можно было считать район пос. Витязево.

3. Зона сильной рекреационной нагрузки: среднее количество отдыхающих - от 100 до 500 человек на 100 м береговой линии. В разгар курортного сезона значения показателей качества вод свидетельствуют о более или менее постоянном их загрязнении. Но резкого ухудшения экологического состояния, сопровождающегося заметным падением рекреационной ценности, еще не наблюдается. Примером является район пос. Джемете.

4. Зона запредельной рекреационной нагрузки: среднее количество отдыхающих - более 500 человек на 100 м береговой линии, отсутствует организация специальных сооружений (проточных бассейнов с системой очистки вод и др.). Через определенный период после начала курортного сезона на подобных участках наблюдается заметное ухудшение качества вод, существенно снижающее рекреационно-оздоровительный потенциал и комфортность отдыха. В качестве такого участка мы рассматриваем район городского пляжа г. Анапа (гор.пляж).

5. Импактная зона: на этих участках антропогенное воздействие привело к полной потере их рекреационной ценности. Массового купания и отдыха людей не наблюдается. Сюда же можно отнести участки побережья, специально предназначенные для каких-либо технических целей и в соответствии с этими целями видоизмененные (например, портовые акватории). Накапливающиеся в импактных зонах загрязнители впоследствии могут распространяться на соседние участки акватории, используемые в рекреационных целях. В пределах Анапского курорта к импактной зоне можно отнести прибрежную полосу в районе спасательная станция – морской вокзал.

Гидрохимические и гидробиологические показатели, характеризующие экологическое состояние выделенных экоучастков, колебались в широких пределах, что было обусловлено не только различием в уровне рекреационной нагрузки, но и сезонной динамикой. Содержание растворенного кислорода в поверхностных водах прибрежной зоны в большинстве случаев было близко к насыщению. Однако в районе спасательной станции из-за накопления органических загрязнителей содержание кислорода падало до 2,0 мг/л и ниже. В летний период здесь периодически отмечались заморные явления, сопровождающиеся массовой гибелью организмов зообентоса. Ухудшение кислородного режима в период наибольшей рекреационной нагрузки (июнь–август) неоднократно отмечалось и в районе городского пляжа.

Динамика содержания неорганических форм азота в воде на большинстве участков носила хорошо выраженный сезонный характер (рис. 1). Однако максимум содержания нитратов и аммонийного азота наблюдался не в зимний период, а отмечался в разгар вегетационного сезона, который совпадал с периодом максимальной рекреационной нагрузки на прибрежную акваторию.

Аналогичные закономерности обнаружены и в динамике содержания фосфатов. В летний период концентрация фосфатов на фоновых участках падала до аналитического нуля. Однако на участках, испытывающих значительную рекреационную нагрузку, в это же время отмечалось периодическое повышение их содержания (рис.2).

Рис.1 Среднемесячные значения содержания нитратов (А) и аммонийного азота (Б) (в мкг-ат. N/л) в поверхностном слое воды (глубина 1 м) в 1988 г

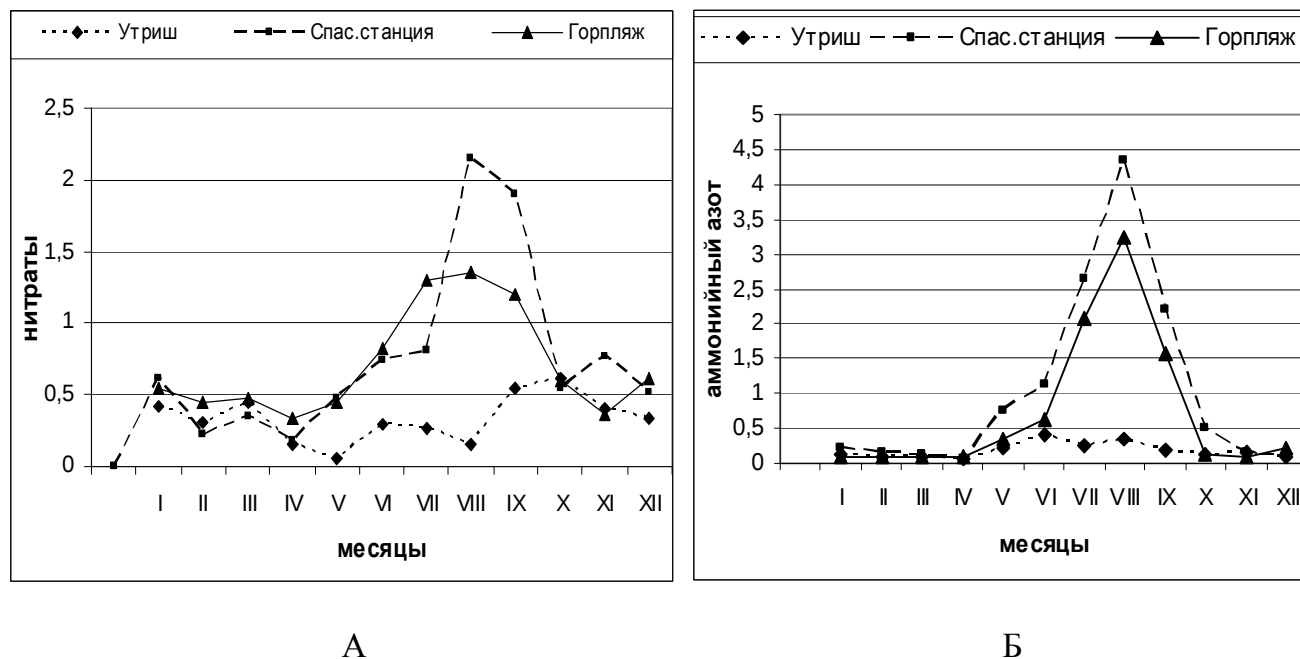
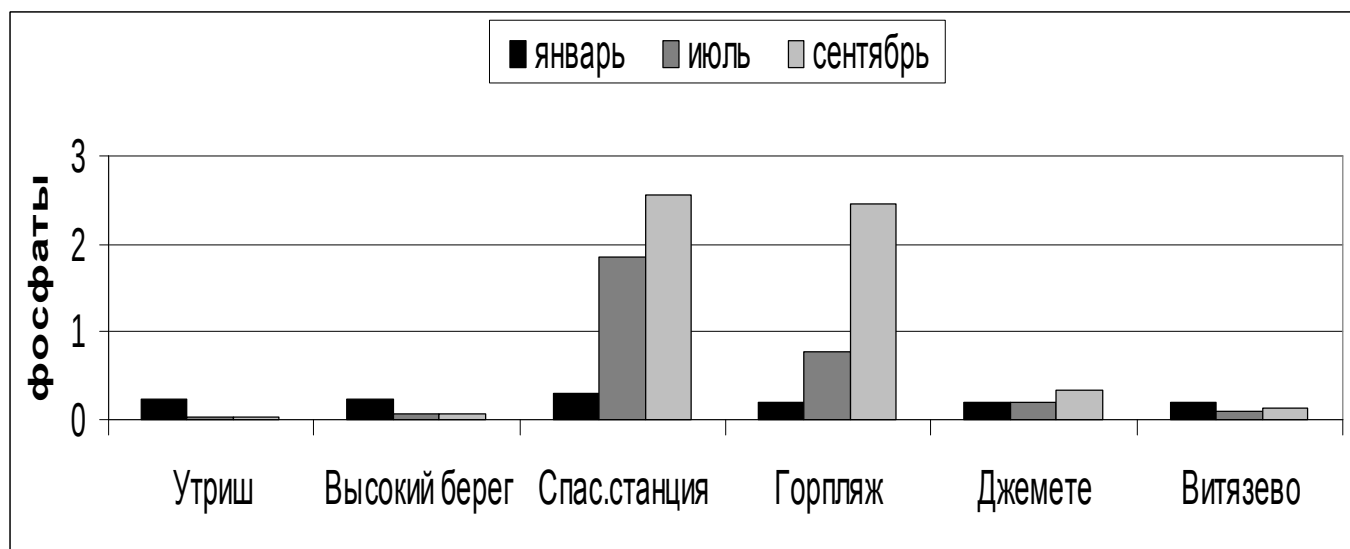


Рис.2 Распределение фосфатов ($\text{мгPO}_4^{3-}/\text{л}$) в прибрежных водах Анапского курорта в сентябре 1988 г.



Эвтрофирование прибрежной зоны обусловило массовое развитие макрофитов и последующее вторичное загрязнение, периодически возникающее во второй половине лета в результате разложения вдольбереговых скоплений отмерших водорослей. Поэтому высокие значения показателей перманганатной окисляемости, ХПК и БПК были обусловлены не только непосредственным загрязнением вод органическими веществами, но и их эвтрофированием: максимальные значения данных показателей отмечены как на участках, в наибольшей степени подверженных поступлению загрязненных вод с берега

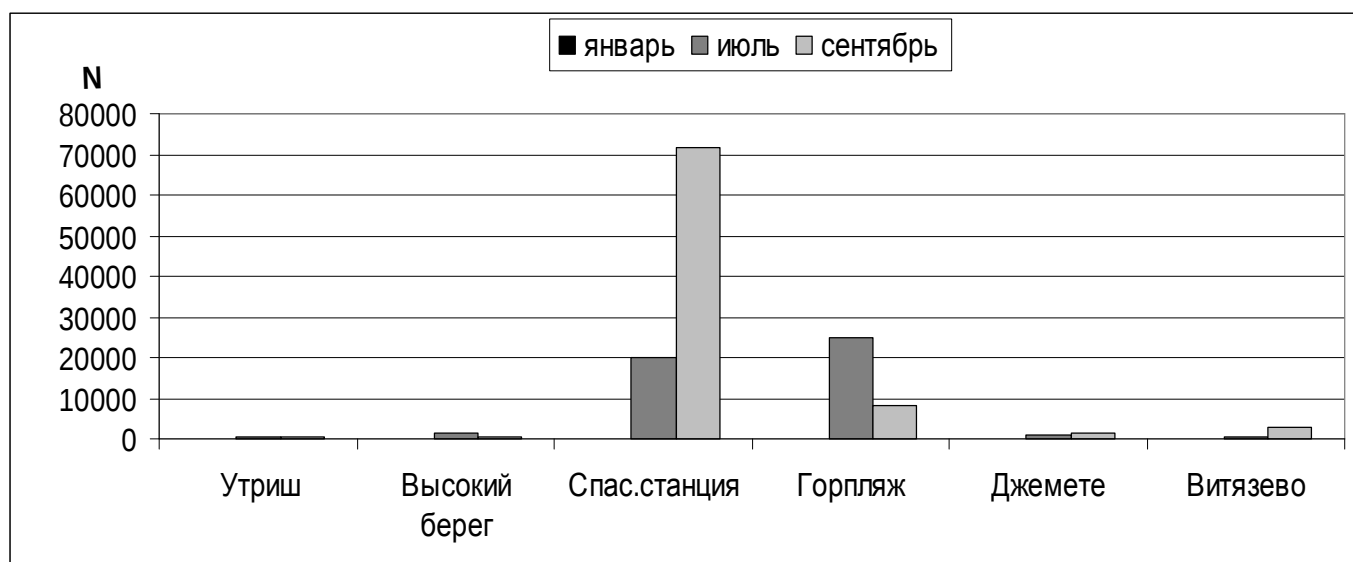
(район спас.станции), так и испытывающих наибольшую рекреационную нагрузку (городской пляж, район поселка Джемете) (табл. 1).

Таблица 1. Среднемесячные значения БПК_{полн.} (мгО₂/л) в поверхностном слое воды (глубина 1 м) в 1988 г.

Месяц	Утриш	Высокий берег	Спас. станция	Гор.пляж	Джемете	Витязево
I	1,90	1,32	2,39	1,18	1,62	1,39
II	0,88	1,34	2,12	0,78	1,12	1,14
III	1,40	1,65	2,32	3,67	2,09	1,68
IV	2,55	2,12	4,44	3,86	2,15	2,56
V	2,21	2,76	6,98	4,43	3,12	2,87
VI	2,25	3,18	10,5	6,55	3,88	3,25
VII	1,84	2,89	12,6	7,00	4,23	3,14
VIII	1,75	4,10	15,6	11,8	5,73	3,68
IX	2,19	1,67	5,64	3,18	3,25	2,67
X	2,42	2,10	3,62	2,12	2,10	2,41
XI	1,13	0,89	2,60	1,54	2,09	1,29
XII	2,44	2,67	2,46	1,45	1,56	1,72

Уровень первичного и вторичного загрязнения прибрежной акватории хорошо отражался и в значениях микробиологических показателей. В летний период общая численность бактериопланктона в районах гор.пляжа и спас.станции достигала величин 10^7 – 10^8 клеток/мл (при этом доля гетеротрофных бактерий составляла 36,0 – 45,5%), а в зимний – снижалась до величин порядка 10^3 – 10^4 клеток/мл на всех участках (рис.3).

Рис.3 Общая численность бактериопланктона (10^3 кл/мл) в прибрежных водах Анапского курорта в 1988 г.



Существенных отличий в составе фитопланктона исследуемых участков, надежно отражающих качество водной среды, установить не удалось. Даже в наиболее загрязненных районах не отмечено форм, характерных для вод с высокой степенью сапробности, что может быть объяснено довольно активным водообменом между различными участками побережья. Зимой доминировали диатомовые *Nitzschia seriata* Cl., *N. closterium* (Ehr.) W.Sm., *N. longissima* (Breb.) Ralfs, *Grammatophora marina* (Lyngb.) Kutz., летом - мелкие жгутиковые (динофлагелляты *Exuviaella pusilla* Schill., *E. cordata* Ostf., *E. compressa* Ostf. и др.). Состав зоопланктона прибрежной зоны был весьма беден и представлен главным образом пелагическими личинками донных беспозвоночных (ларватоном). Использование организмов зообентоса в качестве биоиндикаторов не представлялось возможным, так как в прибрежной зоне курорта проводились модификации рельефа дна, что вызывало значительное уменьшение видового разнообразия независимо от качества воды. Крупные организмы зообентоса на многих участках почти полностью исчезали вследствие сбора их отдыхающими. В период исследования в районе мор.вокзал - спас.станция сообщества макрозообентоса были полностью уничтожены из-за периодических заморов. Из макрофитов наиболее надежным показателем уровня загрязнения водной среды являлась зеленая водоросль *Ulva rigida* Ag.

Полученные данные достаточно хорошо отражают состояние различных участков курортной зоны, однако прогнозировать развитие негативных тенденций, ведущих к возникновению ЧЭС и полной потере рекреационного потенциала, на их основании нельзя. Поэтому появилась необходимость разработки методологии оценки антропогенной деградации. В основу предложенной схемы мы положили суждение о том, что первоначально все участки курортной зоны имели приблизительно одинаковое экологическое состояние (Сапожников, 1992). Следовательно, все выделенные экоучастки можно рассматривать как последовательные этапы развития одного и того же процесса.

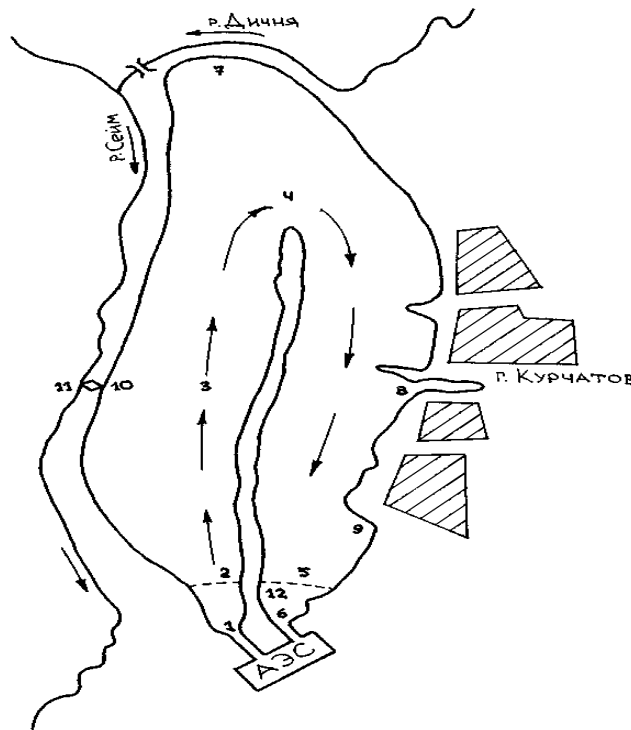
Сравнивая экологическое состояние отдельных экоучастков и анализируя причины, его обусловившие, можно выявить общий механизм развития антропогенной деградации, закономерным финалом которой является возникновение чрезвычайной экологической ситуации. В общем виде выделенные нами фазы антропогенной деградации представлены в таблице 2.

Для прибрежной зоны г. Анапа предложены мероприятия по предотвращению данного процесса на каждой из обозначенных фаз.

ГЛАВА IV. ИССЛЕДОВАНИЕ МНОГОЛЕТНЕЙ ДИНАМИКИ ПРОЦЕССА ЭВТРОФИРОВАНИЯ ВОДОЕМА-ОХЛАДИТЕЛЯ КУРСКОЙ АЭС

Изучение закономерностей развития процесса антропогенной деградации было продолжено в 1999-2006 гг. на Курчатовском водохранилище, специально созданном для водоснабжения Курской АЭС.

Рис. 4 Схема водоема-охладителя Курской АЭС (цифрами обозначены номера постоянных станций; стрелками - направление течения).



Наполнение водоема-охладителя Курской АЭС начало осуществляться в 1976 году. В настоящий момент его площадь составляет 22 км², объем более 30 млн. м³. Средняя глубина - приблизительно 4 метра. Водоем имеет форму вытянутого кольца (рис. 4). Подавляющая часть объема его вод постоянно вовлечена в циркуляционное течение и периодически проходит через систему охлаждения АЭС. Температура сбросных вод в теплое время года может достигать 40°C, а в отдельные периоды даже превышать этот уровень. Образование ледового покрова на участках циркуляционного течения происходит только в сильные морозы.

Водоем-охладитель Курской АЭС является водоемом многоцелевого пользования. Подогретые воды, сбрасываемые из системы охлаждения, используются для садкового разведения рыбы и в тепличном хозяйстве. Непосредственно на берегу водоема-

охладителя расположен относительно крупный город Курчатов, поверхностный сток с которого через систему ливневой канализации попадает в водоем. В летнее время берега водоема-охладителя интенсивно используются местным населением в рекреационных целях.

Первоначально исследования проводились нами в рамках программы экологического мониторинга Курчатовского водохранилища. Однако, начиная с 2000 г., в водоеме стало наблюдаться бурное зарастание ряда прибрежных участков. В работе системы технического водоснабжения АЭС возникли серьезные трудности, связанные с образованием биологических помех. Поэтому цели наших работ были скорректированы.

Вспышка развития водной растительности не только обусловила серьезные биопомехи в работе АЭС, но и вызвала интенсивное вторичное загрязнение ряда участков акватории, сопровождающееся массовой гибелью гидробионтов и почти полной потерей рекреационного потенциала. Наблюдающиеся явления (в соответствии с данным ранее определением) также относятся к процессу антропогенной деградации. Однако, в отличие от Анапской курортной зоны, в пределах которой отдельные участки в одно и то же время находились на различных фазах, в водоеме-охладителе наблюдалась последовательная смена этапов данного процесса. Чтобы рассмотреть основные фазы деградации водоема, необходимо охарактеризовать развитие ситуации в течение длительного периода времени.

Известно, что типичными признаками интенсивного эвтрофирования водоема являются увеличение концентраций соединений биогенных элементов и постепенное повышение содержания растворенного органического вещества в воде (Сиренко, 1981). Однако устойчивых трендов в многолетней динамике этих показателей не наблюдалось (рис. 5). Вместе с тем, средняя фитомасса в ряде прибрежных участков в период с 2000 по 2005 гг. возросла в 2-3 раза (рис. 6).

На берегах Курчатовского водохранилища во многих местах образовались мощные, высотой до 1 м, скопления остатков отмершей растительности. Их разложение обусловило вторичное загрязнение вод. Результаты биотестирования свидетельствовали о высоком уровне токсичности водной среды вблизи подобных скоплений. Однако зоны вторичного загрязнения носили локальный характер и уже в 50 метрах от берега повышения содержания азота и фосфора не отмечалось.

Особенностью периода 1999–2003 г.г. было быстрое изменение в составе растительных сообществ (после длительного периода их стабильного состояния). Отмечена заметная интенсификация зарастания видами, характерными для эвтрофируемых

Рис.5. Многолетняя динамика показателя перманганатной окисляемости (мгО/л) в различных частях акватории водоема-охладителя Курской АЭС

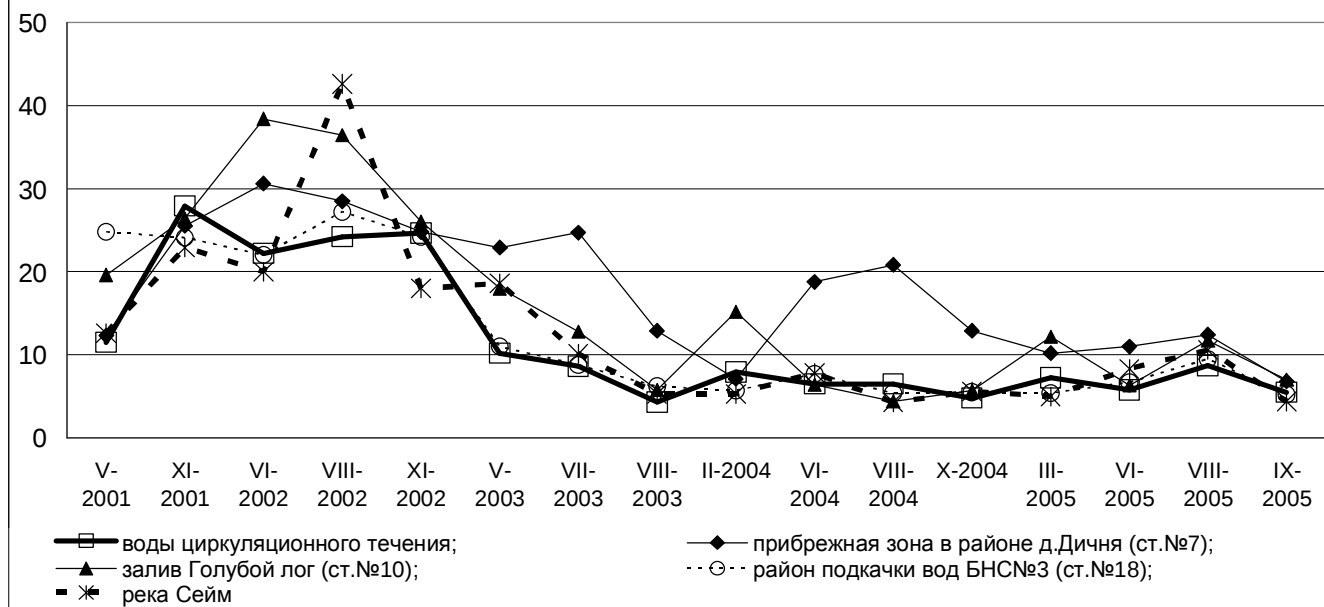
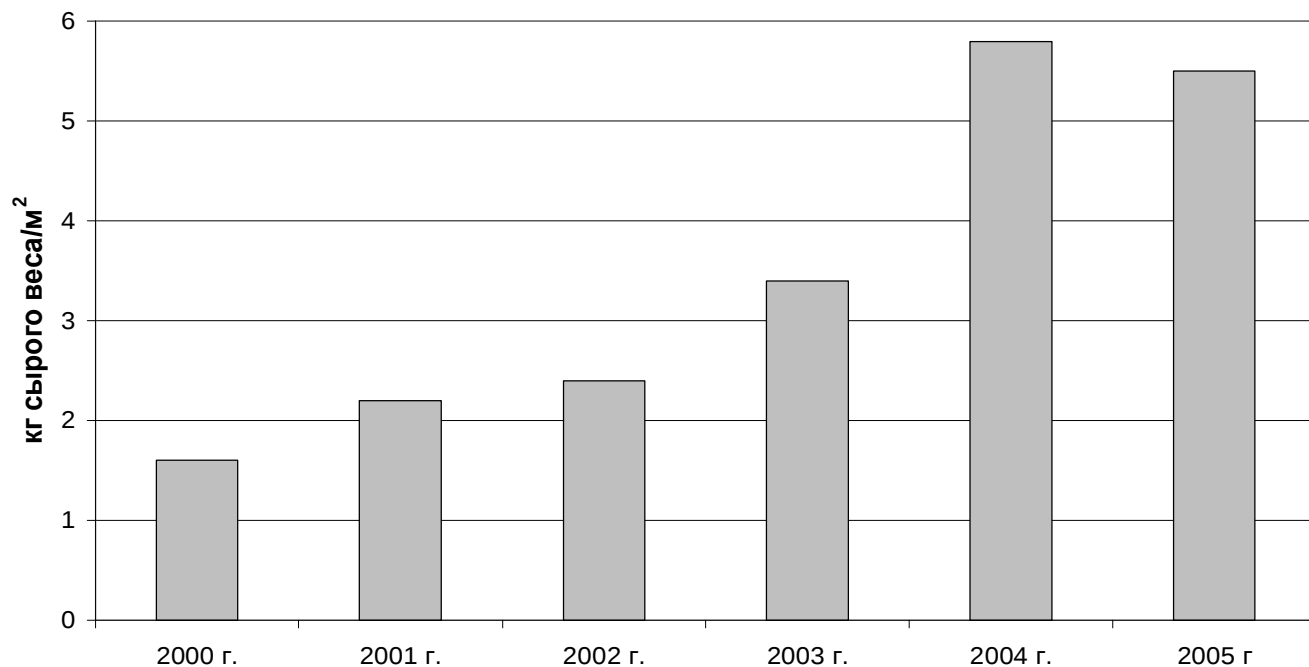


Рис. 6. Многолетняя динамика значения средней фитомассы на ст. №7



водоемов: роголистником погруженным (*Ceratophyllum demersum* L.), зелеными нитчатыми водорослями (пор. *Zygnematales*, *Cladophora*, *Oedogoniales* и *Ulotrichales*). Именно эти растения и являются основным источником биологических помех в системе технического водоснабжения АЭС. Площади других формаций водной растительности

сократились. Заращение водоема-охладителя сопровождается снижением разнообразия фитоценозов.

Возникновение перечисленного комплекса негативных явлений явилось полной неожиданностью как для дирекции АЭС, так и для других водопользователей. Острота проблем усугублялась тем, что на этом водоеме в течение всего периода его существования проводился экологический мониторинг. На основании полученных материалов последние 15-20 лет делался вывод о стабильном состоянии водохранилища.

Отсутствие достоверных прогнозов может быть объяснено недоучетом закономерностей развития процесса антропогенной деградации данного водоема.

Для описания процесса антропогенной деградации водоема-охладителя можно выделить те же самые этапы, что и в рассмотренном ранее примере деградации прибрежных участков курортной зоны. Наблюдалась следующая цепь событий (табл. 3):

Состояние водоема-охладителя КАЭС в течение многих лет необоснованно рассматривалось как стабильное (т.е. как «равновесная фаза» – по нашей классификации). Однако при существующем уровне антропогенного воздействия это состояние нужно было рассматривать как антропогенно-напряженную фазу: на берегу водоема расположен крупный производственный объект (АЭС) и 50-тысячный город. Без принятия мер по снижению антропогенной нагрузки процесс деградации Курчатовского водохранилища неминуемо должен был продолжаться, что и происходило в действительности. Затянутость антропогенно-напряженной фазы была обусловлена особенностями гидрологии водоема-охладителя: поступающие в него загрязнители и эвтрофиканты в результате интенсивных процессов внутреннего водообмена быстро распределяются по всему водному объему, поэтому до определенного момента установить факт увеличения их концентрации достаточно трудно.

Приблизительно в 2000г. наступила кризисная фаза, на которой происходило разрушение структурно-функциональной организации водной экосистемы. Началось бурное развитие макрорастительности, что создало биологические помехи в работе АЭС.

В настоящее время водоем вступает в катастрофическую фазу, на которой наблюдается стремительное ухудшение качества вод. Для предотвращения дальнейшего развития процесса антропогенной деградации одних природоохранных мер (например, сокращения стоков) уже недостаточно. Требуется проведение специальных инженерно-технических мероприятий, прежде всего – уборки береговых скоплений отмершей растительности. Вероятно, ее можно применять в качестве органического удобрения, а в ряде стран биомасса уже используется для энергетических целей и составляет более 50% от общего энергопотребления (Козлов, Лукашевич, 2006). В противном случае можно

прогнозировать наступление следующего этапа деградации – фазы развития чрезвычайной экологической ситуации. Его началом можно будет считать первое событие массовой гибели гидробионтов по всей акватории водохранилища в результате замора или отравления, вызванных дальнейшей интенсификацией вторичного загрязнения.

Особенностью процесса деградации в водоеме-охладителе является то, что на определенном этапе он может обусловить возникновение чрезвычайной техногенной ситуации, когда биологические помехи и ухудшение качества вод достигнут уровня, при котором нормальная работа системы технического водоснабжения АЭС станет невозможна.

ГЛАВА V. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА АНТРОПОГЕННОЙ ДЕГРАДАЦИИ МАЛЫХ ГОРОДСКИХ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

Общепринятого определения «малые водные объекты» в настоящее время еще не существует. Однако именно эта категория водных объектов, включающая небольшие водоемы и водотоки, представляет собой один из основных компонентов окружающей среды, от состояния которого во многом зависит комфортность условий проживания подавляющей части населения Российской Федерации. К сожалению, к концу XX века реки и пруды во многих промышленных районах страны стали рассматриваться в качестве коллекторов, принимающих сточные воды и жидкие отходы производства (Пальгунов и др., 1997). Малые водные объекты, подверженные неконтролируемому загрязнению, стали важнейшим фактором ухудшения санитарно-эпидемиологической обстановки в городах. Поэтому восстановление малых водоемов и водотоков постепенно становится одной из первоочередных задач обустройства городской территории. Так, Правительством Москвы была разработана специальная концепция по данной проблеме («О концепции...», 2005).

В настоящее время малые городские водотоки и водоемы используются главным образом в двух направлениях: для отвода городских стоков и как рекреационные объекты; важность последнего неуклонно возрастает. Поэтому основным критерием при оценке состояния городских водных объектов является их рекреационная значимость (это и степень соответствия состояния водного объекта санитарно-гигиеническим нормам, допускающим пребывание на нем людей, и способность данного объекта удовлетворять эстетическим, видеоэкологическим и социально-психологическим потребностям городского населения).

При определении фазы антропогенной деградации городских малых объектов мы исходили из тех же критериев, что при изучении экологического состояния курортной

зоны г.Анапа. Однако учитывались и особенности данной категории водных объектов: небольшие водоемы, расположенные на урбанизированных территориях, не могут находиться в «равновесной фазе», а критерий «биоразнообразие» при оценке состояния искусственных водных объектов может найти только ограниченное применение. Выделялись следующие фазы антропогенной деградации:

Антропогенно-напряженная фаза – свойственна главным образом городским водоемам и водотокам, имеющим естественное происхождение. Качество воды в подобных объектах в целом удовлетворяет водохозяйственным нормативам. Однако наиболее чувствительные к загрязнению виды гидробионтов, в массовом количестве встречающиеся в природных водоемах данного региона, значительно снижают свою численность или полностью исчезают. Водные объекты могут обладать относительно высоким видеоэкологическим потенциалом без создания специальных систем их инженерно-экологического обустройства (осуществления специальных технических мероприятий, направленных на поддержание экологически приемлемого состояния водной среды). Примером таких водных объектов может служить р.Сетунь. Сопоставляя результаты гидрохимических анализов (в таблице 4 приведены данные одной из съемок) с составом обнаруженных водных растений и животных, можно прийти к достаточно обоснованному заключению о том, что уровень загрязнения вод р.Сетунь (по сравнению с другими городскими малыми реками) можно считать относительно умеренным.

Кризисная фаза, при которой процессы самоочищения и самовосстановления периодически уже не справляются с антропогенной нагрузкой, наиболее характерна для

Таблица 4. Результаты гидрохимических анализов проб воды, отобранных на различных участках р.Сетунь 14 июля 2005 г.

Гидрохимический показатель	Точки отбора проб		
	1	2	3
Температура воды, °С	22,0	22,0	22,2
рН	7,5	7,5	7,5
Содержание растворенного кислорода, мг/л	6,29±0,14	6,70±0,10	5,28±0,14
Относительное содержание кислорода, %.	72,5	77,3	60,9
Сухой остаток, мг/л	940,0±22,0	1072,0±24,0	1371,0±55,0
Перманганатная окисляемость (ПО), мг О/л	7,18±0,20	6,28±0,15	10,5±0,23
Бихроматная окисляемость (ХПК), мг О/л	48,0	48,0	64,0
БПК ₅ , мгО ₂ /л	2,18±0,32	2,19±0,30	4,04±0,25
Фосфаты, мгРО ₄ ³⁻ /л	0,80±0,01	0,84±0,01	1,53±0,01

городских водоемов, находящихся на благоустроенных территориях. Если природный водоем находится в кризисной фазе – это, несомненно, тревожный признак, однако для небольших искусственных водных объектов такое состояние можно считать относительно благополучным: при создании многих городских водоемов подразумевается, что их приемлемое состояние будет поддерживаться периодическими чистками дна, промывками и другими техническими мероприятиями. Первоначальное состояние такого объекта может рассматриваться как кризисная фаза антропогенной деградации. Примером может служить пруд в усадьбе Трубецких: водоем периодически расчищается и подпитывается из водопроводной сети. При существующем уровне антропогенной нагрузки без проведения этих мер пруд в течение короткого времени может превратиться в коллапсирующий водоем, основным источником наполнения которого будет служить поверхностный сток с городской территории. Данные гидрохимических анализов проб воды представлены в табл. 5. Содержание органического вещества в пруду, судя по значениям перманганатной окисляемости, ХПК и БПК, находится на достаточно высоком уровне. Большая концентрация фосфатов указывает на интенсивное эвтрофирование пруда. Об этом же свидетельствует и тот факт, что в летний период при отсутствии расчисток погруженная водная растительность на многих участках акватории заполняет

Таблица 5. Результаты гидрохимических анализов проб воды, отобранных в пруду усадьбы Трубецких 21 февраля 2005 г.

Гидрохимический показатель	Точки отбора проб		
	1	2	3
Температура воды, °С	0,0	0,0	0,0
рН	7,0	7,0	7,0
Содержание растворенного кислорода, мг/л	3,50±0,10	2,95±0,08	2,71±0,08
Относительное содержание кислорода, %	23,9	20,1	18,5
Сухой остаток, мг/л	605,0±12,0	470,0±18,0	613,0±17,0
Перманганатная окисляемость (ПО), мг О/л	9,00±0,10	9,27±0,10	12,1±0,10
Бихроматная окисляемость (ХПК), мг О/л	72,0	72,0	72,0
БПК ₅ , мгО ₂ /л	3,35±0,18	3,69±0,22	2,99±0,22
Фосфаты, мг PO ₄ ³⁻ /л	2,56±0,01	1,60±0,01	1,53±0,01

всю водную толщу от дна до поверхности. В зимний период подо льдом вследствие интенсивного вторичного загрязнения водоема развивается гипоксия.

Катастрофическая фаза и фаза развития чрезвычайной экологической ситуации также весьма распространены. Однако они свойственны водным объектам,

расположенным на плохо обустроенных городских территориях. Основным признаком является постоянно неудовлетворительное качество вод. Социальная привлекательность и рекреационный потенциал объектов в значительной мере утрачиваются. Улучшение экологической ситуации может быть достигнуто только путем экологической реабилитации водоема. Отличием фазы развития чрезвычайной экологической ситуации является то, что состояние водного объекта ухудшает санитарно-эпидемиологическую обстановку на городской территории и представляет собой опасность для здоровья населения.

Примером может служить пруд на Феодосийской улице в районе Бутово. Первоначально водоем представлял собой деревенский пруд, использовавшийся в различных хозяйственно-бытовых целях. Впоследствии он оказался в пределах городской застройки, однако работ по его благоустройству практически не проводилось. Акватория пруда и прибрежная территория сильно засорены. Общая масса мусора в прибрежной зоне пруда в летне-осенний период достигает 4 кг/м^2 , при плотности засорения 75%. Флора и фауна пруда отличаются крайней бедностью.

В летне-осенний период значения содержания кислорода в пробах воды из несанкционированного водовыпуска опускались до $2,01 \text{ мг/л}$. Количество O_2 подо льдом было низким ($1,92 - 2,27 \text{ мг/л}$), и можно с достаточной долей уверенности предположить о наличии гипоксии в зимний период. Качество вод несанкционированного водовыпуска соответствует неочищенным сточным водам (значения ХПК составляли $106,0 \text{ мгО/л}$; БПК₅ - $10,5 \text{ мгО}_2/\text{л}$; количество фосфатов достигало величины $2,20 \text{ мг/л}$ в зимний период), а по результатам биотестирования, проведенного с лабораторной культурой дафний, воду можно классифицировать как высокотоксичную ($\text{ЛВ}_{50} < 24$ часов). Сравнивая результаты гидрохимических анализов с действующими нормативами, можно прийти к выводу, что в настоящее время пруд является сильно загрязненным водоемом (альфа-мезосапробный – полисапробный водоем).

В ходе исследования оценка степени антропогенной деградации была дополнена еще одной фазой - «экологический коллапс», главный критерий которой – необратимость: водный объект, находящийся в состоянии коллапса, не подлежит восстановлению.

В качестве примера можно привести р.Жужа. При постройке жилого массива Нагатино большая часть реки была заключена в железобетонный коллектор. В настоящее время этот водоток выходит на поверхность только в районе своих истоков и в районе устья, вблизи от места ее впадения в р.Москву на территории музея-заповедника «Коломенское». Береговые склоны и русло Жужи сильно загрязнены мусором, а сам водоток формируется, главным образом, за счет стоков с городской территории. Особенно

велико в водах р.Жужи содержание фосфатов. Уровень их концентрации (до 3,36 мг/л) скорее характерен для сточных вод, а не для речных, поэтому поступление вод из р.Жужи - это один из важных источников эвтрофирования р.Москвы. Как свидетельствуют результаты биотестирования, воду, сбрасываемую из закрытого участка р.Жужи, в отдельные периоды можно рассматривать как гипертоксичную ($LB_{50} < 1ч.$). Каких-либо видов водной растительности или макрофауны в русле р.Жужи нами не обнаружено.

Исследование р.Жужи проводилось в рамках проекта строительства на ней мельничной плотины, как элемента планируемого здесь этнографического музея. Однако очевидно, что запруживание этого водотока привело бы к возникновению на территории музея-заповедника сильно загрязненного водоема, который ничем не отличался бы от простейшего приемника-накопителя сточных вод. Поэтому при разработке программы экологической реабилитации нами было предложено решение, которое включало следующие мероприятия:

- изоляцию реконструируемого водоема от городских стоков и отвод загрязненных вод в систему городской ливневой канализации;
- расчистку и заполнение образовавшегося изолированного фрагмента русла чистой водой; подключение циркуляционной системы;
- экологический дизайн нового водоема и формирование биотического комплекса (создание зарослей прибрежной растительности на открытых участках контура, зарыбление, организация водопадов-аэраторов и др.).

Несомненно, что водоем, возникающий в результате реализации этой программы, не является восстановленным водотоком, а представляет собой воссозданный природно-техногенный водный объект, существование которого поддерживается благодаря постоянной или периодической работе циркуляционно-восстановительной системы. Для обозначения подобных проектов нами предложен специальный термин – «имитационные водоемы» (Суздалева, Горюнова, 2004).

Особый случай экологического коллапса представляют собой водные объекты, возникшие как побочное и нежелательное последствие урбанизации территории (например, открытые участки потоков, формирующихся из сточных вод, или скопления загрязненных вод в искусственных впадинах). Улучшение состояния таких водных объектов принципиально невозможно. Мы рассматриваем их как изначально возникшие в состоянии экологического коллапса, что позволяет включить подобные объекты в общую схему процесса антропогенной деградации и унифицированные программы по ее предотвращению. Важность исследований связана с тем, что количество таких водных

объектов в ходе урбанизации территории возрастает, а их ликвидация представляет собой достаточно сложную инженерно-экологическую проблему.

Примером может служить водоем, образовавшийся в 14-ом микрорайоне г.Зеленограда у железнодорожной насыпи. Источниками наполнения служат не только ливневые и талые воды - в него осуществляется и несанкционированный сброс сточных вод с территорий хозяйственных объектов, расположенных поблизости. Гидрохимические показатели указывают на высокий уровень загрязненности воды (табл. 6), а результаты биотестирования свидетельствуют о ее выраженной токсичности. Однако обнаруженные различные водные организмы указывают на то, что водоем является постоянным и существует достаточно продолжительное время.

Таблица 6. Результаты гидрохимических анализов проб воды, отобранных 18 октября 2004 г. в техногенном водоеме, расположенном в 14 микрорайоне г.Зеленограда.

Гидрохимический показатель	Точки отбора проб		
	1	2	3
Температура воды, °С	6,0	6,2	6,2
рН	8,5	8,0	7,0
Содержание растворенного кислорода, мг/л	11,6±0,25	11,7±0,23	11,6±0,34
Относительное содержание кислорода, %.	92,9	94,6	93,2
Сухой остаток, мг/л	3980,0±22,0	4230,0±25,0	3270,0±22,0
Перманганатная окисляемость (ПО), мг О/л	14,5±0,14	12,8±0,12	13,1±0,16
Бихроматная окисляемость (ХПК), мг О/л	128,0	128,0	96,0
БПК ₅ , мг О ₂ /л	6,7±1,2	6,3±1,5	6,9±1,5
Фосфаты, мг PO ₄ ³⁻ /л	0,55±0,01	0,59±0,01	0,35±0,01

Как показывает анализ имеющихся материалов, практически все исследованные нами городские водные объекты за время своего существования проходили несколько этапов антропогенной деградации (табл. 7), на протяжении которых их экологическое состояние и социально-экономическое значение принципиально отличались. Несмотря на то, что городские водоемы и водотоки имеют различное происхождение, в их историческом развитии (эволюции) существуют определенные закономерности, обусловленные общим характером изменения экологической и социальной обстановки в процессе урбанизации территории. На основе изучения этих закономерностей нами разработана схема эволюции городских малых водных объектов (рис. 7). Данная схема отражает лишь наиболее типичные пути их развития, когда процесс урбанизации идет поэтапно и происходит в

течение длительного исторического периода, как, например, в центральной части московского мегаполиса (Забелин, 1990; Малиновский, 1992; Кондратьев, 1997). Если строительство современного города осуществляется на неосвоенной территории, переходный этап эволюции выпадает: природные водные объекты сразу оказываются в зоне урбанизации, а период хозяйственно-бытового водопользования - отсутствует.

Несмотря на все разнообразие городских водных объектов, по своему происхождению и первоначальному предназначению их можно разделить на четыре основных типа:

- I - природные водоемы и водотоки;
- II - искусственные водоемы хозяйственно-бытового назначения;
- III - водные объекты рекреационного назначения;
- IV - техногенные водные объекты.

Водные объекты, относящиеся к одному типу, появляются на определенном этапе исторического развития города. Их дальнейшая эволюция также носит, как правило, сходный характер.

Рассмотрим особенности эволюции каждого из типов малых городских водных объектов.

I. Наиболее древними по происхождению являются водные объекты, образовавшиеся из природных водоемов и водотоков, существовавших на данной территории еще в доселитебный период (этап 0). На первых этапах освоения данной территории, оказавшись в пределах поселений сельского типа или вблизи них, они начинают интенсивно использоваться в хозяйственных целях (этап 1). С этого момента происходят изменения в структуре водных экосистем, постепенно снижается качество вод в результате их бытового загрязнения и эвтрофирования. Эти явления мы обозначили как «слабая и умеренная антропогенная деградация природных водоемов». Под слабой антропогенной деградацией подразумевается переход водных объектов из равновесного состояния, свойственного естественным экосистемам, в «антропогенно-напряженное состояние», характеризующееся снижением численности хозяйственно ценных видов и ухудшением санитарно-гигиенических показателей (Горюнова, Безносков, 2004). Умеренная антропогенная деградация соответствует переходу водного объекта в так называемое «кризисное состояние», при котором процессы самоочищения и самовосстановления периодически уже не справляются с антропогенной нагрузкой и время от времени происходит значительное ухудшение качества вод (цветение, появление у воды гнилостного запаха и др.). Однако коренного изменения хозяйственного использования водоема еще не происходит, поскольку через некоторое время его экологическое состояние вновь улучшается. Иногда это связано с проведением простейших

водоохранных и реабилитационных мероприятий (например, расчистки дна от наносов или прекращения сброса в водоемы нечистот). Вода из таких водных объектов используется населением в питьевых целях. В современных условиях в подобном состоянии находятся небольшие озера и речки, протекающие или расположенные поблизости от достаточно крупных поселений сельского типа.

В переходный период (этап 2), когда территория постепенно урбанизируется, наблюдается, как правило, сильная антропогенная деградация водных объектов, при которой они переходят в «катастрофическое состояние», характеризующееся резким ухудшением качества вод - они уже не могут быть использованы в питьевых целях. Социальная привлекательность и рекреационный потенциал прибрежных территорий в значительной мере утрачиваются. Вызвано это несколькими причинами. В период интенсивного градостроительства и промышленного освоения территории антропогенное воздействие на малые водные объекты многократно усиливается и заключается не только в загрязнении, засорении и эвтрофировании, как на предшествующем этапе. Практически всегда происходит принципиальное изменение характера водосборного бассейна, а русла рек часто полностью или фрагментарно заключаются в трубы. Потеря хозяйственного значения водного объекта ведет к ослаблению государственного и общественного контроля за качеством вод, в то время как инфраструктура города в полной мере еще не развита. Именно на этом этапе эволюции бывшие когда-то природными река или озеро превращаются в «необустроенный городской водный объект». В некоторых случаях водный объект переходит в состояние «экологического коллапса». Наконец, как показывает опыт, в период застройки территории многие водотоки и водоемы утрачиваются полностью (так, в г.Москве лишь за последние 100 лет исчезло более 100 рек и 700 озер и прудов).

На следующем этапе (этап 3) водный объект оказывается в пределах окончательно сформировавшейся городской территории: он становится элементом городского пейзажа, улучшающего или ухудшающего видеоэкологию данного района. Принципиально изменяется характер использования водного объекта: если раньше он удовлетворял, главным образом, хозяйственно-бытовые потребности населения, то теперь его основное назначение – рекреационное.

II. Искусственные водоемы хозяйственно-бытового назначения - обычно создаются на этапе развития поселений сельского типа (этап 1). В переходный период они так же, как и другие водные объекты, подвергаются сильной антропогенной деградации, и, в большинстве своем, переходят в «катастрофическую фазу». Примером может служить исследованный нами пруд на Феодосийской улице.

III. Городские водные объекты, изначально создававшиеся в рекреационных целях, возникают либо в переходный период как водоемы, украшающие пригородные усадьбы и парки, либо на территории городских парковых комплексов, окруженных полностью урбанизированной территорией. Отличительной чертой является то, что их состояние поддерживается искусственно. Оставленные без ухода, такие водоемы постепенно деградируют или исчезают полностью.

Таким образом, вне зависимости от своего происхождения, водные объекты всех трех рассмотренных выше видов в процессе урбанизации территории неизбежно деградируют вследствие резкого повышения уровня антропогенной нагрузки и необратимого изменения водосборных бассейнов. Как правило, без принятия специальных мер малые городские водоемы и водотоки находятся на катастрофической фазе деградации или в состоянии экологического коллапса. В первом случае улучшение состояния водного объекта возможно путем его экологической реабилитации или реконструкции. Если водоем или участок водотока имеет культурно-историческую ценность, необходима разработка проектов реставрации или, в случае невозможности их осуществления в настоящее время, – проектов консервации. Редким исключением являются малые водные объекты, основная часть водосборного бассейна которых расположена на территории парковых зон - тогда можно ограничиться мерами экологической защиты и охраны.

IV. Возникновение техногенных водных объектов, как правило, приурочено к переходному периоду (постепенной урбанизации – этап 2). На полностью освоенной городской территории в современных условиях такие водоемы и водотоки возникают значительно реже вследствие усиления контроля за использованием земель и сбросами предприятий.

ГЛАВА VI. ОЦЕНКА ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ВОДНЫХ РАСТЕНИЙ ПРИ ХИМИЧЕСКОМ ЗАГРЯЗНЕНИИ СРЕДЫ.

Как показали наши исследования, на первых фазах процесса антропогенной деградации изменения, происходящие в водных объектах, малозаметны. Обычно диагностирование этих явлений проводится на основе достаточно длительных комплексных исследований, поводом для начала которых служит значительное ухудшение качества водной среды, затрудняющее или делающее невозможным использование водных объектов в тех или иных целях. Вместе с тем, именно на начальных фазах затраты на мероприятия по экологической реабилитации минимальны. Поэтому, параллельно с изучением состояния водных объектов, нами проводились исследования по разработке новых экспресс-методов оценки качества водной среды. Наиболее перспективным для

выполнения данной задачи представляется использование методов биотестирования, основанных на определении функционального состояния тест-объектов ботанического плана – водорослей и макрофитов.

Для определения фотосинтеза существует ряд методов, таких, как кислородный, радиоуглеродный, хлорофильный, определение АТФ и т.п. Возможно определить фотосинтетическую активность водных растений и по изменению активной реакции среды (Blinks, Skow, 1938; Beyers, Odum 1959). Данный способ не практикуется в токсикологических опытах, хотя известно, что в определенных условиях изменение рН среды инкубации может служить показателем энергетических реакций дыхания и фотосинтеза (Скулачев, 1972).

В работе предложен и апробирован метод определения физиологического состояния протококковых водорослей *Scenedesmus quadricauda* Breb. и *Chlorella pyrenoidosa* ChickS-39 по фотоиндуцированному изменению активной реакции среды. Величина изменения рН («световая реакция») среды может служить показателем фотосинтетической активности клеток водорослей в условиях действия повреждающих факторов. Сравнение определения интенсивности фотосинтеза культуры *Sc. quadricauda* тремя методами (по изменению рН среды, по включению ^{14}C и кислородным методом Винклера) показало полную сходимость результатов. Метод также использован для определения физиологической активности погруженных макрофитов (*Elodea canadensis* Rich.) в токсикологических экспериментах. Хорошим показателем физиологического состояния как харовых водорослей *Nitella flexillis*, так и элодеи канадской при химическом загрязнении среды является также скорость движения цитоплазмы. К достоинствам предлагаемых методов следует отнести их экспрессность, надежность получаемых оценок, неповреждаемость объектов в процессе измерения, возможность применения в качестве тест-объектов многих видов широко распространенных водных растений, легкость их культивирования в лабораторных условиях, простоту самих измерений, что делает их использование необходимым при проведении экспресс-анализа загрязнения водной среды токсикантами различной природы и может быть рекомендовано для широкого практического использования.

Среди классов загрязняющих веществ антропогенного происхождения в изученных нами водных объектах одним из наиболее опасных и приоритетных являются тяжелые металлы. Кроме того, этот класс загрязнителей наиболее устойчив в водной среде и может служить хорошим маркером начальных фаз антропогенной деградации водных объектов. В работе исследовались процессы поглощения и выведения тяжелых металлов зелеными водорослями. Изучалась степень повреждения первого звена трофической цепи, которая может повлечь за собой изменения путей трансформации энергии в экосистемах, и

выяснялась роль зеленых водорослей в самоочищении водной среды от данных токсикантов. Изучение процессов поглощения и выведения металлов позволяет определить отдаленные последствия загрязнения водных объектов. Обнаружены специфические нарушения в характере роста водорослей, вызываемые разными металлами. С использованием рентгеновского флуоресцентного анализа показано, что интенсивность накопления металлов *Sc. quadricauda* возрастает в ряду Zn, Co, Cd, причем в первые 24 часа опыта клетки поглощают эти металлы с коэффициентами накопления 120, 200 и 620 соответственно. В течение 5-10 суток клетки водорослей способны удерживать до 60-70% от первоначально накопленного ими количества токсикантов, что может характеризовать их способность к самоочищению среды. Однако, начиная с 10-х суток, до 30-40% накопленных ранее металлов возвращается в среду, что может явиться причиной вторичного загрязнения водоемов.

ГЛАВА VII. ОБЩИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ АНТРОПОГЕННОЙ ДЕГРАДАЦИИ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

Концептуальные проблемы исследования процесса антропогенной деградации водных объектов.

Основные положения, учет которых необходим при исследовании процесса деградации водных объектов, можно сформулировать в виде ряда концептуальных принципов:

1. Человеческая деятельность должна рассматриваться не только в качестве одной из главных причин деградации водных объектов, но и как единственный фактор, воздействие которого может воспрепятствовать данному процессу. Мотивацией как первого, так второго являются потребности человека. Поэтому оценка изменений водных объектов в процессе их деградации должна осуществляться с позиций комплексного водопользования. Только на основе его анализа можно прогнозировать дальнейшее развитие экологической ситуации водоема или водотока и определять содержание и направленность мероприятий по улучшению их состояния.

2. В процессе антропогенной деградации все водные объекты, вне зависимости от своего происхождения, преобразуются в природно-техногенные системы. Как свидетельствуют материалы, полученные нами при исследовании различных водных объектов (см. главы III-V), в большинстве случаев уже на первых стадиях деградации (кризисной фазе) реальное улучшение экологической ситуации возможно только в результате проведения специальных инженерно-технических мероприятий, направленных

на поддержание экологически приемлемого состояния водной среды. Однако в результате инженерно-экологического обустройства водный объект неизбежно превращается в природно-техногенную систему (природно-техногенный водный объект), т.е. такой водный объект, состояние которого определяется как воздействием природных факторов, так и технической деятельностью человека.

3. Антропогенная деградация обуславливает постепенное увеличение сходства (конвергенцию) между водными объектами естественного и искусственного происхождения: при достижении определенного уровня антропогенной нагрузки, превышающей гомеостатические возможности водной экосистемы, приемлемое экологическое состояние водного объекта может поддерживаться только в результате работы системы его инженерно-экологического обустройства. Следовательно, возможна единая система оценки степени деградации водных объектов и разработка унифицированной методологии борьбы с развитием этих процессов.

Общая схема антропогенной деградации водных объектов

Обобщение материалов, полученных при изучении антропогенной деградации водных объектов, свидетельствует о том, что состояние любых водных объектов, вне зависимости от их генезиса, вида, масштабов и местоположения можно рассматривать как одну из фаз закономерно протекающего процесса (табл. 8):

1. Равновесная фаза. Интенсивность процессов самоочищения и самовосстановления полностью компенсирует антропогенное воздействие. Постоянные источники загрязнения и ухудшения качества вод не обнаружены. Трансформации характера берегов и дна водного объекта не происходит. По данным экологического мониторинга, никаких устойчивых трендов гидрохимических и гидробиологических показателей, указывающих на ухудшение экологического состояния, на протяжении ряда лет (5-10) не наблюдается.

2. Антропогенно-напряженная фаза. В результате увеличения антропогенной нагрузки спорадически (относительно редко и без определенной периодичности) наблюдаются изменения гидрохимических и микробиологических показателей, свидетельствующих об ухудшении качества водной среды. Отмечается достоверное снижение численности отдельных видов, однако каких-либо значимых изменений в структурно-функциональной организации водных экосистем не происходит.

Водные объекты, находящиеся в антропогенно-напряженной фазе, могут обладать высокими рекреационной значимостью и видеоэкологическим потенциалом без создания специальных систем их инженерно-экологического обустройства.

3. Кризисная фаза. Процессы самоочищения и самовосстановления в отдельные периоды не справляются с антропогенной нагрузкой, происходит периодическое ухудшение качества водной среды. Наблюдаются изменения в качественном и количественном составе водных биоценозов, но уменьшения видового разнообразия не происходит. При анализе данных экологического мониторинга обнаруживаются тренды ряда гидробиологических показателей, свидетельствующих о постепенной трансформации структуры водной экосистемы. Весьма характерно повышение уровня первичной продукции и численности альфа-мезосапробов. В отдельные периоды купание в таком водном объекте и забор воды в питьевых целях может представлять опасность для здоровья людей, однако серьезного изменения рекреационной значимости еще не происходит.

Улучшение экологического состояния может быть достигнуто путем осуществления простейших водоохраных и реабилитационных мероприятий (например, расчистки дна от наносов или прекращения сброса нечистот).

4. Катастрофическая фаза. Постоянно неудовлетворительное качество вод (в соответствии с нормативами и стандартами воды можно отнести к категории загрязненных). Происходит существенная перестройка водных сообществ, сопровождающаяся падением биоразнообразия. При этом отмечается резкое снижение численности или даже исчезновение видов, наиболее чувствительных к загрязнению (олигосапробов), в то же время весьма характерны вспышки развития отдельных оппортунистических видов (цветение фитопланктона, зарастание макрофитами). Часто наблюдается дисбаланс продукционно-деструкционных процессов и, как следствие, вторичное загрязнение вод. Социальная привлекательность и рекреационный потенциал водного объекта в значительной мере утрачиваются. Купание представляет опасность для здоровья. Забор воды для хозяйственно-бытовых целей нежелателен. В системах технического водоснабжения возникают серьезные биологические помехи (образование биопленки, забивка водоводов, интенсификация накипеобразования и др.).

Реальное улучшение экологической ситуации может быть достигнуто только путем целенаправленного инженерно-экологического обустройства водного объекта (экологической реабилитации). Иначе, даже при условии значительного ограничения антропогенной нагрузки, восстановление приемлемой экологической ситуации можно ожидать только через длительный период времени (не менее нескольких лет).

5. Фаза развития чрезвычайной экологической ситуации. Гидрохимические и санитарно-микробиологические показатели указывают на то, что данный водный объект создает опасность для здоровья людей, проживающих на окружающей территории.

В соответствии с действующим законодательством РФ органы Государственного санитарно-эпидемиологического надзора обязаны вынести предписание об ограничении доступа к водному объекту. Забор воды нежелателен даже для технических целей и может продолжаться только при угрозе возникновения техногенных аварий в случае его остановки. Водные сообщества состоят из форм, способных переносить высокий уровень загрязнения.

Без специальных мероприятий восстановление приемлемого экологического состояния невозможно даже при ограничении или полном прекращении загрязнения данного участка.

6. Экологический коллапс – водный объект не подлежит восстановлению как водоем или водоток, экологическое состояние которого можно было бы оценить как приемлемое. Возможно только создание на его месте так называемого «имитационного» водоема или полная ликвидация.

Изменение экологического состояния в различных частях водного объекта может происходить с разной скоростью. Поэтому в крупных водных объектах можно выделять локальные зоны, находящиеся на определенной фазе антропогенной деградации.

Оценка состояния водных объектов и определение степени необходимости разработки проектов их инженерно-экологического обустройства

Причины негативных явлений, приводящие к изменению экологических характеристик водных объектов и утрате ими свойств, используемых человеком, по своей природе могут быть весьма различны; еще более многочисленны признаки, на основании которых можно судить о степени деградации того или иного водного объекта. Однако большинство признаков может быть свойственно только определенной категории объектов. Иногда их использование для оценки деградации водных объектов невозможно или нецелесообразно (например, утрата небольшими водоемами водохозяйственного значения может не сопровождаться ухудшением качества их вод). Известны случаи, когда культурно-историческая ценность водных объектов или их частей снижалась в результате мероприятий по улучшению их санитарного состояния. Поэтому единых жестких критериев оценки столь широкой группы явлений, как антропогенная деградация, принципиально быть не может. Однако необходимость разработки системы оценки состояния водных объектов, позволяющей обосновать направления деятельности по их улучшению, очевидна. Перспективным путем решения данной проблемы является использование ГИС-технологий. Оценка, сделанная с применением данных методов, носит комплексный характер и может включать обширный набор весьма разнородных

показателей (экологических, инженерно-технических, социальных, культурно-исторических и др.). Нами была разработана система балльной оценки состояния водного объекта по совокупности различных показателей, отражающих как основные характеристики, так и возможные аспекты его пригодности для использования в тех или иных целях (табл. 9).

Таблица 9. Балльная оценка состояния малого городского водного объекта.

ОТДЕЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ СОСТОЯНИЯ ВОДНОГО ОБЪЕКТА	БАЛЛЫ
1. Гидрохимические показатели	
Ранги эколого-санитарной классификации (по Романенко и др., 1990)	1-9
2. Экотоксикологическая ситуация	
Полное отсутствие токсических эффектов	1
Единичный слабый токсический эффект (единичная проба ЛВ ₅₀ >96 ч)	2
Единичный токсический эффект (единичная проба ЛВ ₅₀ <96 ч)	3
Периодическое повышение токсичности (среднетоксичная проба ЛВ ₅₀ <96 ч)	4
Периодическое повышение токсичности (высокотоксичная проба ЛВ ₅₀ <24 ч)	5
Периодическое повышение токсичности (гипертоксичная проба ЛВ ₅₀ <1 ч)	6
Высокий уровень токсичности в течение длительного периода (ЛВ ₅₀ <24 ч)	7
3. Рекреационная значимость	
Рекреационно значимый объект, расположенный на территории парка	1
Рекреационно значимый объект с обустроенными зонами массового отдыха	2
Рекреационно значимый необустроенный объект	3
Рекреационно малозначимый объект	4
Рекреационно незначимый объект	5
4. Культурно-историческая ценность	
Статус особо охраняемого природного или культурно-исторического объекта	1
Обособленный водный объект, входящий в состав особо охраняемого природного или культурно-исторического комплекса	2
Водный объект, формирующий ландшафт городской территории, имеющий культурно-историческое значение	3
Водный объект, не имеющий культурно-исторического значения, но являющийся элементом исторического ландшафта городской территории	4
Водный объект, не имеющий культурно-исторического значения	5
5. Генезис водного объекта	
Городские водные объекты природного происхождения	1
Водоемы хозяйственно-бытового и рекреационного назначения, созданные в результате зарегулирования водотоков	2
Обособленные искусственные городские водоемы рекреационного назначения	3
Искусственные водотоки гидрографической сети города (каналы)	4
Обособленные водные объекты, возникшие как водоемы хозяйственно-бытового назначения	5
Техногенные водные объекты	6
6. Социальная привлекательность	
Водный объект, входящий в состав основных элементов пейзажности городской территории, являющийся одним из главных факторов, формирующих высокий видеоэкологический потенциал данного участка	1
Водный объект, обладающий социальной привлекательностью, формирующий позитивное эстетическое восприятие прибрежной территории	2
Водный объект, не обладающий социальной привлекательностью, но улучшающий видеоэкологическое восприятие территории в целом	3

Таблица 9. Продолжение.

Водный объект, снижающий социальную привлекательность территории	4
7. Степень урбанизированности водосборного бассейна	
Большая часть водосборного бассейна занята естественными экосистемами	1
Урбанизировано менее 50% территории водосборного бассейна	2
Урбанизировано более 50-75% территории водосборного бассейна	3
Урбанизировано более 75% территории водосборного бассейна	4
Техногенный водный объект	5
8. Современный уровень антропогенной трансформации водного объекта по сравнению с его историческим обликом в доиндустриальную эпоху	
Водный объект, сохранивший свой первоначальный облик (для водоемов хозяйственно-бытового назначения учитывается и сохранность гидротехнических сооружений, обеспечивающих их существование)	1
Конфигурация водоема подверглась частичной трансформации. Некоторые участки сохранили свой первоначальный облик	2
Конфигурация ложа и берегов водного объекта полностью изменена	3
Водный объект, участки которого необратимо утрачены (засыпаны, осушены)	4
Водный объект, большая часть которого заключена в подземные водоводы	5
Техногенный водный объект	6
9. Степень инженерно-экологического обустройства и его эффективность	
Инженерно-экологическое обустройство, обеспечивающее приемлемое экологическое состояние в течение длительного срока (с учетом возможного изменения уровня и характера антропогенной нагрузки)	1
Инженерное обустройство, способное обеспечить лишь кратковременное улучшение экологической ситуации	2
Инженерное обустройство, не приводящее к заметному ухудшению экологической ситуации	3
Инженерное обустройство, проводимое без учета экологических последствий, вызывающее ухудшение экологической ситуации	4
Полное отсутствие элементов инженерно-экологического обустройства	5
Техногенный водный объект	6

На рис.8 представлены результаты анализа некоторых данных, полученных при исследовании водных объектов г.Москвы. Диаметр круговой диаграммы характеризует степень необходимости инженерно-экологического обустройства конкретного объекта. Относительный размер секторов показывает, на какие именно негативные факторы следует обратить особое внимание при разработке проекта.

Балльная система может быть использована и для оценки общего состояния водных объектов региона. На рис.9 представлены результаты кластерного анализа тех же материалов. На дендрограмме отчетливо выделяются группы водных объектов, которые можно рассматривать как отдельные категории, вне зависимости от их происхождения и местных условий. Так, в единую группу входят столь внешне различные водные объекты как р.Жужа, техногенные водотоки г.Курчатова, пруд на Феодосийской улице и подмосковная р.Лопца - все находятся в плохом состоянии и нуждаются в срочной разработке проектов их инженерно-экологического обустройства.

ВЫВОДЫ

1. На основании исследований экологического состояния водных объектов различных типов выявлен общий механизм развития процесса антропогенной деградации, закономерным финалом которого может явиться возникновение чрезвычайной экологической ситуации. Процесс антропогенной деградации водных объектов, вне зависимости от их типа, генезиса, масштабов и местоположения, носит сходный характер и представляет собой ряд последовательных этапов, смена которых происходит вследствие закономерных изменений экологических и социально-экономических условий.

2. Выделены фазы процесса антропогенной деградации, каждая из которых характеризуется определенным уровнем состояния водного объекта: равновесная, антропогенно-напряженная, кризисная, катастрофическая, фаза развития чрезвычайной экологической ситуации и экологический коллапс. Определен комплекс основных критериев, на основании которых можно диагностировать наступление каждой из фаз и прогнозировать дальнейшее развитие негативных тенденций.

3. Каждая фаза антропогенной деградации характеризуется определенным уровнем использования водного объекта человеком и одновременно набором методов, позволяющих предотвратить дальнейшее развитие процесса деградации. Предложены мероприятия по предотвращению антропогенной деградации для каждой из фаз. Показано, что мероприятия, направленные на предотвращение возможной антропогенной деградации, должны осуществляться еще на равновесной фазе, когда их проведение требует минимальных затрат. При переходе водного объекта (или его части) в антропогенно-напряженную фазу без принятия специальных мер дальнейшее развитие процессов деградации становится неизбежным.

4. На кризисной и катастрофической фазах антропогенной деградации предотвратить дальнейшее ухудшение состояния водного объекта можно только путем проведения специальных мероприятий по его инженерно-экологическому обустройству. Финальной стадией процесса антропогенной деградации водного объекта является состояние экологического коллапса. На этой фазе водный объект не подлежит восстановлению, возможно только создание на его месте «имитационного» водоема.

5. Антропогенная деградация водных объектов может вызвать возникновение экологических, биологических и техногенных чрезвычайных ситуаций. Эти события обуславливают друг друга и при прогнозе экологической ситуации могут рассматриваться как синергетические явления. Забор воды в системы промышленного водоснабжения из водного объекта, находящегося на одной из заключительных фаз антропогенной

деградации, может стать причиной возникновения техногенной чрезвычайной ситуации вследствие интенсивного образования биологических помех.

6. В отличие от природных водоемов и водотоков, искусственные водные объекты возникают, находясь на определенной стадии антропогенной деградации.

7. Урбанизация территории приводит к деградации малых водных объектов и может сопровождаться возникновением техногенных водных объектов, состояние которых изначально следует рассматривать как «экологический коллапс».

Предложена схема эволюции (исторического развития) различных типов малых городских водных объектов. Разработана система балльной оценки состояния городского водного объекта.

8. Антропогенная деградация обуславливает постепенное увеличение сходства (конвергенцию) между водными объектами естественного и искусственного происхождения.

9. Дальнейшее распространение процессов антропогенной деградации неизбежно приведет к тому, что все большее количество водных объектов можно будет рассматривать как природно-техногенные системы, различающиеся лишь степенью воздействия техногенных факторов в данный период времени и уровнем их инженерно-экологического обустройства.

10. Оценка процесса антропогенной деградации требует дальнейшей разработки, должна носить комплексный характер и включать анализ параметров, характеризующих экологический, инженерно-технический и социальный статус водного объекта. Предложенная система оценки процесса антропогенной деградации водных объектов обладает достаточной универсальностью, позволяющей использовать ее при разработке мер, направленных на предотвращение развития чрезвычайной экологической ситуации в континентальных водоемах, морских акваториях или их частях.

Список работ, опубликованных по теме диссертации:

1. Горюнова С.В. Исследование культуры микроводорослей и среды их обитания как единой системы. // Материалы конференции «Человек, труд и охрана внешней среды» молодых ученых I ММИ им. И.М.Сеченова. М.: 1977. С. 126-135.
2. Воробьева И.А., Горюнова С.В. Зависимость между исходной величиной мембранного потенциала растительной клетки и ее реакцией на действие ядов. // Межвузовский сборник «Транспорт веществ у растений в связи с метаболизмом и биофизическими процессами»; выпуск 8. Горький: 1977. С.17-23.
3. Горюнова С.В. Оценка функционального состояния фотосинтезирующих водорослей в культуре по активной реакции среды под влиянием ионов кадмия и цинка. // Тез. докл. конференции молодых ученых-биологов «Биологические основы рационального использования животного и растительного мира». Рига: 1978. С.199-200.
4. Горюнова С.В. К методике определения функционального состояния микроводорослей. // Тез. докл. II Республиканской научно-технической конференции молодых ученых-микробиологов. Ташкент: 1978. С. 205-206.
5. Горюнова С.В., Бурдин К.С., Савельев И.Б. Накопление тяжелых металлов микроводорослями. // Биологические науки 1979, №1, С.25-31.
6. Горюнова С.В., Воробьева И.А. Применение метода рН-метрии для определения физиологического состояния культуры *Chlorella pyrenoidosa*. // Тез. докл. МОИП: зоология и ботаника (I полугодие 1977 г.). Изд. МГУ, 1979. С.33-34.
7. Горюнова С.В., Кузьмина Т.Г. Поглощение тяжелых металлов водорослью *Scenedesmus quadricauda*. // Материалы X конференции молодых ученых биологического факультета МГУ. М.: 1979. С.46-48.
8. Воробьева И.А., Горюнова С.В., Максимов В.Н. Интенсивность фотосинтеза культуры микроводорослей в норме и при воздействии кадмия и цинка. // Гидробиологический журнал, 1979. Т. 15. Вып.5. С. 64-70.
9. Горюнова С.В., Максимов В.Н. К разработке физиологических экспресс-методов для оценки токсического действия тяжелых металлов на погруженные макрофиты. // Тезисы докл. II конф. молодых ученых «Проблемы охраны вод и рыбных ресурсов Поволжья». Казань: 1980. С.166-167.
10. Воробьева И.А., Горюнова С.В. Сравнительная оценка фотосинтетической продуктивности радиоуглеродным и рН-методом. // Гидробиологический журнал, 1981. Т. XVII. №2. С.99-100.
11. Марташвили Г.Ш., Горюнова С.В. Исследование влияния освещенности на динамику фотосинтетических процессов некоторых видов зеленых водорослей. // Труды III Всесоюзной межуниверситетской конференции по физико-химической биологии. Тбилиси: 1982. Ч.2. С.318-319.

12.Горюнова С.В. Изучение комбинированного воздействия Zn, Co и Cd на рост водорослей *Scenedesmus quadricauda* и динамику накопления ими тяжелых металлов. // Тез. докл. Узбекская республ. научно-теоретич. конф. молодых ученых – микробиологов «Биология, культивирование и использование микроорганизмов (бактерий, грибов, водорослей) в народном хозяйстве». Ташкент: 1983. С.38-39.

13.Горюнова С.В. Использование *Elodea canadensis* как тест-объекта для индикации токсического действия загрязненных вод. // Тез. докл. Всесоюзного симпозиума «Обобщенные показатели качества вод – 83. Практические вопросы биотестирования и биоиндикации». Черноголовка: 1983. С.42-44.

14.Горюнова С.В. Влияние тяжелых металлов на рост и физиологическое состояние зеленых водорослей. // Материалы конф. «Проблемы охраны вод и рыбных ресурсов Поволжья». Казань: 1983. С.25-27.

15.Горюнова С.В., Плеханов С.Е. О механизме адсорбции тяжелых металлов микроводорослями. // Тез. докл. Узбекской республ. научно-теоретич. конф. молодых ученых - микробиологов «Биология, культивирование и использование микроорганизмов (бактерий, грибов, водорослей) в народном хозяйстве». Ташкент: 1983. С.79-80.

16.Бурдин К.С., Горюнова С.В., Савельев И.Б. Поглощение и выведение цинка водорослью *Chlorella pyrenoidosa*// Микробиология и научно-технический прогресс. Наукова думка, Киев, 1983. С.23-24.

17.Горюнова С.В., Шавырина О.Б. К необходимости подбора наиболее оптимальных методов биотестирования загрязненных вод. // В кн.: Молодые ученые и основные направления современной биологии. Труды XIV научной конф. молодых ученых биолог. ф-та МГУ. М., МГУ, 1983. Ч.2. С.115-118. Рукопись деп. в ВИНТИ 16 марта 1984 г., №1507-84 Деп.

18.Горюнова С.В., Максимов В.Н, Плеханов С.Е. Влияние физиологического состояния микроводорослей на поглощение и выведение тяжелых металлов. // «Биологические науки». М.: 1984. №2. С.67-72.

19.Горюнова С.В., Бурдин К.С., Плеханов С.Е. К вопросу о взаимодействии цинка с зелеными протококковыми водорослями. // «Вестник Московского Университета», серия 16. Биология, 1985. № 2. С.42-45.

20.Остроумов С.А., Горюнова С.В. Изучение воздействия анионного детергента на зеленую протококковую водоросль и проростки некоторых покрытосеменных растений. // «Биологические науки», 1986. №7. С. 84-86.

21.Горюнова С.В. К вопросу об активности метаболических процессов и динамике накопления тяжелых металлов микроводорослями.// Материалы Всесоюзной конф. по токсикологии. Рига: 1988. С.115-116.

22.Горюнова С.В., Горюнов В.И. Исследование динамики образования твердых отходов с использованием имитационного моделирования. // Тезисы докл. Всесоюз. конф. «Учение В.И.Вернадского о ноосфере и глобальные проблемы современности». М.: 1988, ч.II. С.252-254.

23.Артюхова В.И., Быкова Н.Т., Горюнова С.В., Левич А.С. Кинетика роста, потребления и потребности в азоте и фосфоре четырех видов зеленых микроводорослей. // «Вестник Московского Университета». Сер. 16. Биология, 1988. № 1. С.47-52.

24.Москаленко Э.М., Чистохвалов В.Н., Горюнова С.В., Дорофеев И.Г. Программа и методические рекомендации по курсу «Охрана окружающей среды» М.:Изд.УДН,1989.63 с.

25.Горюнова С.В., Носов В.Н., Плеханов С.Е. Применение функции Гомпертца для оценки действия тяжелых металлов на рост популяций микроводорослей. // «Научные доклады Высшей школы». Биологические науки. М.: 1989. Деп. в ВИНТИ 12.10.89 №6223-B89.

26.Горюнова С.В. Лабораторный практикум по курсу «Охрана окружающей среды». М.: Изд. УДН, 1990. 64 с.

27.Горюнова С.В. Исследование процессов выведения тяжелых металлов из клеток зеленых микроводорослей. // Тез. докл. III конференция Научно-учебного центра «Применение физико-химических методов исследования в науке и технике». М.: Изд. УДН, 1990. Ч. II. С. 170.

28.Горюнова С.В., Горюнов В.И. Компьютерная имитационная модель для исследования социально-экономической проблемы. // Тезисы докл. III конф. Научно-учебного центра «Применение физико-химических методов исследования в науке и технике». М.: Изд. УДН, 1990, ч. I. С.37.

29.Горюнова С.В., Чистохвалов В.Н. Основы общей экологии. Учебное пособие. М.: Изд. УДН, 1990. 108 с.

30.Горюнова С.В., Чистохвалов В.Н. Практические задания по курсу «Охрана окружающей среды». Раздел «Экология». М.: Изд. УДН, 1990. 28 с.

31.Горюнова С.В. Изменение морфологических и физиологических характеристик погруженных макрофитов при воздействии ионов тяжелых металлов. // Материалы научной конф. професс.-препод. состава с/х факультета. М.: Изд. УДН, 1991. С.31-32

32.Горюнова С.В., Дорофеев И.Г., Зыков В.Н., Касьяненко А.А., Машковцев Б.И., Москаленко Э.М., Станис Е.В., Чистохвалов В.Н. Сборник материалов по экологическому образованию и воспитанию. Курс «Охрана окружающей среды». М.: Изд. УДН, 1991. 92 с.

33.Горюнова С.В., Пономаренко С.Ф. Использование зеленых водорослей для индикации токсического действия тяжелых металлов. // Тезисы докл. конф. «Актуальные проблемы комплексного изучения природы и хозяйств южных районов Узбекистана». Г. Карши УзССР, 1991. С.7.

34.Горюнова С.В. Определение токсичности сточных вод, используемых для орошения сельскохозяйственных культур. // Сб. науч. трудов «Плодородие и использование почв в различных почвенно-климатических зонах». М.: Изд. УДН, 1992. С.170-174.

36.Горюнова С.В., Иванов Э.В. Защитная роль органических выделений планктонных водорослей. // Тезисы докл. I межвузовск. конф. «Актуальные проблемы экологии». М.: РУДН, 1995. С.9

37.Горюнова С.В., Иванов Э.В. О роли перекиси водорода в нормальном развитии протококковых водорослей. // Тезисы докл. I межвузовск. конф. «Актуальные проблемы экологии». М.: РУДН, 1995. С.9-10.

38.Горюнова С.В., Максимов В.Н., Плеханов С.Е. Поглощение смесей Zn, Co и Cd водорослями *Scenedesmus quadricauda* Breb. // «Вестник Московского Университета». Серия 16. Биология. 1995. №2. С.12-23.

39.Иванов Э.В., Горюнова С.В., Максимов В.Н. Применение биологических тестов для оценки степени токсичности водной среды при нормальном развитии фитопланктона. // Вестник РУДН, серия «Экология и безопасность жизнедеятельности». 1996. №1. С.46-51.

40.Горюнова С.В., Тиругнанасотхи Б. К вопросу о перспективах развития экологических экспертиз. // Материалы научно-практ. конф. «Актуальные проблемы науки в сельскохозяйственном производстве». М.: РУДН, 1997. С.67-69.

41.Горюнова С.В., Тиругнанасотхи Б. Оценка экологической чистоты сельскохозяйственной продукции. Учебное пособие. М.: Изд. РУДН, 1998. 96 с.

42.Суздалева А.Л., Безносков В.Н., Горюнова С.В., Пшеничный Б.П. Оценка влияния глубинных водозаборов электростанций на биологическую продуктивность морских экосистем. // Вестник РУДН, серия «Экология и безопасность жизнедеятельности». 1998/1999. №3. С.52-57.

43.Безносков В.Н., Суздалева А.Л., Горюнова С.В. Дестратификационное загрязнение водоема. // Вестник РУДН, серия «Экология и безопасность жизнедеятельности». 1998/1999, №3. С.85-90.

44.Суздалева А.Л., Горюнова С.В., Безносков В.Н., Побединский Н.А. Проблема санитарно-микробиологического состояния термальных вод при использовании их в сельском хозяйстве. // Вестник РУДН, серия «Экология и безопасность жизнедеятельности». 1999. №5. С. 34-38.

45.Безносков В.Н., Горюнова С.В., Матаморос Х.М. Многоязычный словарь-справочник основных терминов по экологии (на рус., англ., немец., франц. и испан. языках). М.: Изд. РУДН, 2001. 179 с.

46.Попов А.В., Суздалева А.Л., Горюнова С.В., Безносков В.Н.. Экологические механизмы возникновения биологических помех в системах технического водоснабжения

АЭС и ТЭС // Вестник РУДН, серия «Экология и безопасность жизнедеятельности». 2001. №5. С.73-79.

47.Горюнова С.В. Методы биотестирования в охране природных вод.// Материалы научн. конф. Аграрного ф-та «Аграрный сектор и его современное состояние». М.: Изд.РУДН, 2002. С.87-89.

48.Горюнова С.В. Фотоиндуцируемое изменение рН среды как интегральный метод контроля природных и сточных вод. // Материалы международной конф. «Новые технологии в защите биоразнообразия в водных экосистемах» М.: МГУ, 27-29 мая 2002. С.97.

49.Горюнова С.В., Иванов Э.В. Влияние физиологического состояния зеленых водорослей на динамику накопления ими токсических веществ. // Материалы научн. конф. Аграрного ф-та «Аграрный сектор и его современное состояние». М.: Изд. РУДН, 2002. С.91-93.

50.Безносков В.Н., Суздалева А.Л., Попов А.В., Горюнова С.В. Взаимосвязь и взаимообусловленность биологических, экологических и техногенных чрезвычайных ситуаций. // Материалы научно-технич. конф. «Природоохранное обустройство территорий». М.: МГУП, 2002 . С.35.

51.Горюнова С.В., Попов А.В., Суздалева А.Л, Безносков В.Н. Чрезвычайные экологические и биологические ситуации в техногенных водных экосистемах. // Вестник РУДН, серия «Сельскохозяйственные науки. Агрономия».2002. №8. С.10-16.

52.Горюнова С.В., Плеханов С.Е. М. *Elodea Canadensis* как тест-объект для оценки токсичности тяжелых металлов. // Материалы международной конф. «Новые технологии в защите биоразнообразия в водных экосистемах». М., МГУ. 2002. С. 98

53.Горюнова С.В. Большие проблемы малых рек Подмосковья. // Труды международной научн. конф. 19 июля 2002. Москва, «Водные экосистемы и организмы». М.: МАКС ПРЕСС, 2003. С.58.

54.Суздалева А.Л., Горюнова С.В., Безносков В.Н. Основные этапы процедуры экологического аудита. // Вестник РУДН, серия « Сельскохозяйственные науки. Агрономия» 2002. №8. С.4-10 .

55.Горюнова С.В. О необходимости применения экологических нормативов.// Материалы науч. конф. Аграрного ф-та «Концепции, практика и перспективы современного земледелия». М.: Изд. РУДН, 2003. С. 47-49.

56.Горюнова С.В., Касьяненко А.А, Жилкин А.А. К вопросу о применении экологических нормативов для оценки качества окружающей природной среды. // Вестник РУДН. Серия «Экология и безопасность жизнедеятельности». 2003. №3. С. 109-115.

57. Горюнова С.В., Сурина Е.А. Влияние города на экосистему природного парка. // Материалы науч. конф. Аграрного ф-та «Концепции, практика и перспективы современного земледелия». 2003 . С. 49-51.

58. Горюнова С.В. Применение тест-организмов для контроля за сточными водами, используемыми при орошении. // «Водные экосистемы и организмы-6» Матер. междунауч. конф. МГУ. М.: МАКС Пресс, 2004. С. 41-42.

59. Горюнова С.В., Элиас В.В., Плеханов С.Е. Движение цитоплазмы как показатель физиологического состояния клеток водных растений при химическом загрязнении среды. // Труды 2-ой международной конф. МГУ «Биотехнология – охране окружающей среды». М.: Изд. «Спорт и культура», 2004. С. 36-40.

60. Горюнова С.В., Безносков В.Н. Некоторые особенности экологической ситуации в прибрежной зоне морского курорта. // Сб. научных трудов «Актуальные проблемы экологии и природопользования». М.: Изд. РУДН, 2004. Вып. 5, ч. 2. С. 123-127.

61. Горюнова С.В., Безносков В.Н. Основные этапы развития чрезвычайной ситуации в прибрежной зоне морского курорта. // Сб. научных трудов «Актуальные проблемы экологии и природопользования». М.: Изд. РУДН, 2004. Вып. 5, ч. 2. С. 114-122.

62. Goryunova S.V. Ground sediments as indicators of man-caused pollution of stagnant reservoirs in Moscow agglomeration. Ecological studies, Hazards and Solutions vol. 10. "Aquatic ecosystems and organisms" Proceedings of the scientific conference. M., June 17, 2004. Moscow, MAX Press, p. 15

63. Плеханов С.Е., Пиментел Ф.Х., Горюнова С.В., Чемерис Ю.К. Ранняя диагностика токсического действия тяжелых металлов на зеленые микроводоросли по их фотосинтетическим характеристикам. // «Водные экосистемы и организмы-6» Матер. междунауч. конф. МГУ, М.: МАКС Пресс, 2004. С. 87-88.

64. Безносков В.Н., Горюнова С.В., Кацман Е.А., Кучкина М.А., Суздалева А.Л. Особенности эвтрофирования водоема - охладителя АЭС. // Сб. научных трудов «Актуальные проблемы экологии и природопользования». М.: Изд. РУДН, 2004. Вып. 5. Ч. 2. С. 174-184.

65. Суздалева А.А., Горюнова С.В. Возможные пути решения экологических проблем городских малых рек. // Сб. науч. трудов «Актуальные проблемы экологии и природопользования». Вып. 5-6. «Системная экология». М.: РУДН, 2004. С. 79-82.

66. Горюнова С.В. Изучение физиологической активности водорослей по фотоиндуцируемому изменению pH среды. // Материалы Всеросс. симпозиума «Автотрофные микроорганизмы». М.: МАКС Пресс, 2005. С. 31.

67. Суздалева А.А., Горюнова С.В. Исследование экологического состояния р. Жужа на территории музея-заповедника «Коломенское». // Сб. науч. трудов «Актуальные

проблемы экологии и природопользования». Вып.7 (часть 1). Геоэкология, системная экология, экология человека. М.: РУДН, 2005. С. 97-99.

68.Ковалкина Д.Ю., Горюнова С.В., Скоробогатов А.М. Разработка модели базы данных на примере радиационного воздействия на экосистемы. // Сб. науч. тр. «Актуальные проблемы экологии и природопользования». Вып.8. Геоэкология, системная экология. М.: РУДН, 2006. С. 125-128.

69.Горюнова С.В., Кучкина М.А., Суздалева А.А. Оценка состояния малых городских водных объектов. // Сб. науч. тр. «Актуальные проблемы экологии и природопользования». Вып. 8. Геоэкология, системная экология. М.: РУДН, 2006. С.69-74.

70.Горюнова С.В. Рекреационная значимость городских малых водных объектов как основной критерий оценки их экологического состояния. // Сб. науч. тр. «Актуальные проблемы экологии и природопользования». Вып.8. Геоэкология, системная экология. М.: РУДН, 2006. С. 65-69.

71.Горюнова С.В., Ковалкина Д.Ю., Скоробогатов А.М. Обобщенная модель базы данных результатов исследований экосистем. // Тез. докл. II Всероссийской конф. «Научные аспекты экологических проблем России». Москва, РАН. 2006. С. 7.

72.Горюнова С.В. Экологические аспекты исследования состояния урбанизированных малых водных объектов (на примере одного из прудов г. Москвы). // Вестник РУДН. Серия «Экология и безопасность жизнедеятельности». 2006. №1(13). С. 28-33.