

На правах рукописи

Примак Екатерина Алексеевна

**Интегральная оценка устойчивости
и экологического благополучия водных объектов**

Специальность 25.00.36 – геоэкология

Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата
географических наук

Санкт-Петербург – 2009

Работа выполнена в Российском государственном гидрометеорологическом университете на кафедре Прикладной экологии

Научный руководитель:

доктор географических наук, профессор

Дмитриев Василий Васильевич

Официальные оппоненты:

доктор географических наук

Догановский Аркадий Михайлович

кандидат географических наук

Третьяков Виктор Юрьевич

Ведущая организация: Институт озераедения РАН

Защита состоится «5» марта 2009 г. в 15 часов 30 минут на заседании диссертационного совета Д 212.197.03 в Российском государственном гидрометеорологическом университете по адресу: 195196, г. Санкт-Петербург, пр. Металлистов, д. 3, аудитория 416 б.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Российского государственного гидрометеорологического университета

Автореферат диссертации разослан « 29 » января 2009 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета

доктор технических наук, профессор



Бескид П.П.

Общая характеристика работы

Актуальность работы. На сегодняшний день в практике природопользования отсутствует единый, общепринятый метод интегральной оценки неаддитивных свойств экологических систем: устойчивости, экологического благополучия водоема и др. Это обуславливает необходимость поиска приемов и разработки методов интегральной оценки неаддитивных свойств сложных систем в природе и обществе.

Научный интерес к оценке устойчивости и изменчивости природных экосистем, экологического благополучия эко- и геосистем различных уровней иерархии, их чувствительности к внешним воздействиям сформировался в конце 1960-х - начале 1970-х годов. С одной стороны, это объяснялось успехами, достигнутыми к этому времени классической экологией и быстрым развитием математической экологии, с другой – необходимостью получения количественных оценок нагрузок на экосистемы, которые приводят к «экологической катастрофе», т. е. к разрушению экосистемы, поиском неаддитивных критериев для оценок свойств природных и антропогенно трансформированных сложных систем. С решением этой проблемы неразрывно связана и проблема экологического нормирования, основным содержанием которой является поиск «нормы состояния природной экосистемы», «нормы воздействия на нее» и ответной реакции экосистемы в целом на внешнее воздействие.

Таким образом, обобщение и анализ перечисленных признаков требуют учета перспектив использования водной экосистемы человеком (антропоцентристский подход). Возможны также био-, эко-, геоцентристский подходы в оценке состояния водного объекта. Полученный результат оценки в этом случае должен иметь не только региональную и временную привязку, но и зависеть от вида использования экосистемы. Таким образом, одна и та же экосистема, в зависимости от планирования ее использования человеком для своих нужд, может быть признана разной по качеству и названа благополучной в большей или меньшей степени.

Разработка критериев и способов оценки экологического благополучия экосистем требует проведения специальных научных исследований и совершенствования мониторинга водных объектов.

Наука о риске сформировалась в последней четверти XX в., и она, безусловно, будет востребована в решении экологических проблем современности. Важнейшая ее особенность — междисциплинарный характер с теснейшим взаимодействием естественных и гуманитарных наук. В индустриально развитых странах постоянно растет финансирование научных исследований в области анализа и оценки риска. За рубежом сформировался круг специалистов нового типа — экспертов риска, которые, по мнению социологов, будут составлять новую элитную прослойку постиндустриального общества. К сожалению, нельзя сказать, что в России рискология, дизастология и т.п. получили быстрое развитие. В бывшем Советском Союзе этих наук практически не существовало. Такие категории, как «допустимый» или «приемлемый» риск, или такие процессы, как регулирование риска, коммуникация риска не рассматривались.

В настоящее время теория риска интенсивно развивается, однако многие основополагающие положения этой науки остаются дискуссионными. Так, например, в настоящее вре-

мя в официальных документах, словарях и научной литературе разных стран наблюдаются противоречия, разногласия в интерпретации понятия “экологического риска”, что затрудняет его использование в природоохранной деятельности.

Несмотря на многочисленность и многогранность понятий, терминов, связанных с экологическим риском, а так же на большой интерес к проблеме расчета экологического риска, в настоящее время отсутствуют: возможности детализации экологического риска по отношению к поверхностным водам и методы количественной оценки экологического риска с био-, эко-, геоцентристской позиций.

В связи с этим сохраняется потребность в развитии понятийного аппарата и терминологии по проблемам оценки устойчивости, благополучия и экологического риска водных объектов. Практически еще не определены подходы к интегральной оценке риска изменения неаддитивных свойств водных и наземных экосистем. Особенно важна разработка методов количественной оценки экологического риска снижения качества поверхностных вод и использование этих методов для управления качеством воды в поверхностных водных объектах. В связи со сказанным актуальность темы обусловлена также неразработанностью подходов к мониторингу и интегральной количественной оценке неаддитивных свойств разномасштабных наземных и водных геосистем и необходимости районирования и зонирования территорий и акваторий по степени уязвимости к внешнему воздействию и степени экологического неблагополучия.

Целью диссертационной работы является разработка методов интегральной оценки экологической ситуации водных объектов на основе неаддитивных свойств водной экосистемы: устойчивости к воздействию, экологического благополучия, оценки факторов экологического риска и их апробация по мониторинговым данным на водных объектах Северо-Запада России.

Для выполнения поставленной цели необходимо было решить следующие **задачи**:

1. Обобщить существующие подходы к оценке устойчивости, экологического благополучия и экологического риска водных объектов.

2. Дать обоснование использованию моделей и методов количественной интегральной оценки устойчивости, экологического благополучия и факторов экологического риска водных объектов. На этой основе построить обучающие модели-классификации для расчета обобщенных индексов, позволяющих на интегральной основе классифицировать водные объекты по классам устойчивости, экологического благополучия и факторам экологического риска.

3. Выполнить алгоритмическую реализацию построения интегрального показателя устойчивости водоемов к изменению параметров качества воды, экологического благополучия и факторов экологического риска в условиях дефицита информации о критериях и приоритетах оценивания и в условиях достаточной информационной обеспеченности, в том числе с учетом нелинейности зависимости «источник-результат воздействия» (аналог «доза-эффект» для экологии).

4. Создать информационную базу натуральных данных и провести апробацию разработанных методов и моделей для водных объектов Севера-Запада России.

В ходе работы над диссертацией были сформулированы и обоснованы **основные положения**, которые выносятся на защиту в виде:

1. Методики интегральной оценки устойчивости водоемов к изменению параметров естественного и антропогенного режимов;
2. Методики интегральной оценки экологического благополучия водоема;
3. Методики интегральной оценки фактора экологического риска;
4. Анализа пространственно-временных изменений интегральных показателей устойчивости, экологического благополучия и факторов экологического риска для водных объектов Северо-Запада России.

Научная новизна исследования заключается в том, что:

1. Разработаны новые методики количественной интегральной оценки устойчивости водоемов к изменению параметров естественного и антропогенного режимов, интегральной оценки экологического благополучия и экологического риска.

2. Впервые для оценки устойчивости водоемов к изменению параметров качества воды предложен учет нелинейности зависимости «доза-эффект» для оценки неаддитивных свойств водной экосистемы при построении интегральных показателей.

3. Впервые на основе разработанных подходов выполнена интегральная оценка устойчивости районов Ладожского озера к изменению параметров естественного и антропогенного режимов.

4. Впервые на основе разработанных моделей-классификаций выполнена оценка экологического благополучия водоемов для конкретных экологических ситуаций.

Практическая значимость. В работе разработаны и реализованы подходы, которые соответствуют современным запросам и требованиям к совершенствованию экологического мониторинга водных объектов и дают возможность работать с неполной, неточной и нечисловой информацией о критериях и приоритетах оценивания для характеристики экологической ситуации водного объекта.

Выполнена количественная интегральная оценка устойчивости к изменению параметров естественного и антропогенного режимов и оценка фактора экологического риска на основе разработанных методов для водоемов Северо-Запада России.

Апробация работы. Материалы, положенные в основу диссертации, докладывались на: 3-ем международном симпозиуме «Качество и управление водными ресурсами (Санкт-Петербург, 2005); конференции «Водные ресурсы Европейского Севера России: итоги и перспективы исследований» (Петрозаводск, 2006); международной конференции «Экологические и гидрометеорологические проблемы больших городов и промышленных зон» (Санкт-Петербург, 2006); молодежной конференции «Современные экологические проблемы и их решение: взгляд молодежи» (Санкт-Петербург, 2008); итоговых сессиях УС РГГМУ (2004, 2006, 2007), СПбГУ (2004, 2006, 2007).

Результаты диссертационного исследования внедрены в Лаборатории моделирования и диагностики геосистем факультета географии и геоэкологии Санкт-Петербургского государственного университета при написании годового отчета по теме «Разработка и апроба-

ция моделей многокритериальной параметризации устойчивости и экологического благополучия разномасштабных наземных и водных геосистем» в 2008г.

Публикации. Основные положения работы опубликованы в 6 статьях и 7 публикациях тезисов докладов конференций.

Структура и объемы работы. Диссертация состоит из введения, 4 глав и заключения, изложена на 188 страницах, включает 27 рисунков и 59 таблиц и библиографию из 62 наименований. В заключении излагаются основные итоги работы, обобщаются полученные научные и практические результаты.

Основное содержание работы

Во введении сформулирована актуальность диссертационной работы, поставлены цель и задачи исследований, определены научная новизна и практическая значимость.

Первая глава «Методологические основы оценки устойчивости, экологического благополучия и экологического риска водных объектов» посвящена теоретико-методологическому обобщению подходов к оценке устойчивости, экологического благополучия и экологического риска. Под *устойчивостью водного объекта* к изменению параметров режимов понимается его *способность* сохранять свои свойства и параметры режимов в условиях действующих на него внешних и внутренних нагрузок. Тогда *уязвимыми* к изменению параметров режимов будут объекты, *не способные* сохранять указанные свойства на определенном временном интервале функционирования. В работе оценка уязвимости или устойчивости к изменению свойств природной системы не сводится только к учету одного какого-либо свойства. Она получается как результат учета многих свойств, характеризующихся большим набором параметров оценивания, среди которых физико-географические и климатические условия и характер антропогенного воздействия являются определяющими. Исследование этих свойств и их изменчивости расширяет кругозор исследователя, обуславливает необходимость формирования у него эколого-географического мышления. Необходимо также заметить, что уязвимость (устойчивость) водных экосистем *циклического* (озера, слабопроточные водоемы, пруды) и *транзитного* (реки, сильно проточные водоемы) типов обусловлена разными природными механизмами. Устойчивость первого типа называют «адаптационной», устойчивость второго типа – «регенерационной». Если в первом случае важнейшим свойством природной системы является ее способность *сохранять* исходное состояние или *плавно переходить* в другое состояние, сохраняя при этом внутренние связи (*инертность, пластичность*), то во втором случае на первое место выходит способность системы многократно *восстанавливать* свои свойства, возвращаться в исходное состояние после временного внешнего воздействия (*восстанавливаемость*). Кроме этого, абиотические и биотические составляющие экосистемы по механизмам устойчивости также различаются между собой. Устойчивость первых достигается физико-механическими и химическими процессами переноса, разбавления, сорбции, миграции вещества; устойчивость вторых обусловлена способностью адаптации организмов к воздействию, как в результате внутренней резистентности биохимической организации, так и за счет способности к биохимическому разложению токсичных соединений и изменению удельных скоростей обмен-

ных процессов в экосистеме под влиянием воздействия (Дмитриев, 2000). При получении выводов о степени уязвимости (устойчивости) водного объекта не следует отождествлять устойчивость с *экологическим благополучием*. При высоком загрязнении водного объекта он может оказаться достаточно устойчивым к антропогенному воздействию, но это не свидетельствует о его экологическом благополучии.

Признаки «хорошего» с антропоцентрической точки зрения биогеоценоза обобщались в работах Ю.Одума (1975), С.С.Шварца (1976), М.М. Камшилова (1983), В.В. Бугровского и соавторов (1984,1986), В.В. Плотникова (1986), А.В. Абрамчук (1988), А.М. Гродзинского (1989), О.А. Лукьянова (1990), О.Ф. Садыкова и соавт. (1994), В.В.Дмитриева и соавт. (1995, 2000, 2004) и др. Обобщение и анализ подходов к выделению *нормальной* (понимаемой как хорошая, оптимальная) экосистемы позволили Е.Л. Воробейчику и соавт. (1994) определить «хорошую» экосистему как экосистему с максимальной и разнообразной продукцией (удовлетворяющей экономические и эстетические потребности человека), существующую неограниченно долго в изменяющейся среде.

Необходимым условием для построения моделей экологического благополучия является введение *признаков* и *классов экологического благополучия*. Признаки «хорошей» (для человека) водной экосистемы и их изменение по *классам благополучия* составляют основу *модели-классификации* интегральной оценки экологического благополучия. При создании таких моделей в диссертации использовалось совмещение антропоцентрического и биоцентрического подходов, учтены принципы нормирования Н.С. Строганова (1981): приоритетность в использовании водоемов, достаточность самоочищения, обеспеченность условий жизни для промысловых объектов, пригодность воды для питьевых целей.

Признаками *благополучной* водной экосистемы предложено считать: 1) оптимальную продукцию ресурсного звена; 2) оптимальную биомассу ресурсного звена; 3) максимальное видовое разнообразие биоты; 4) высокое качество воды; 5) высокую устойчивость экосистемы к изменению параметров режимов; 6) низкую скорость токсического загрязнения, закисления, эвтрофирования; 7) высокую скорость самоочищения; 8) способность сохранять вышеназванные признаки реально неограниченное время.

Основные признаки, которые чаще всего фигурируют в качестве критериев хорошего качества экосистемы: разнообразная продукция необходимого качества; высокая (оптимальная) продукция; высокая устойчивость экосистемы к существующим и потенциальным возмущениям; высокое качество среды. Таким образом, экологически благополучной можно назвать систему с максимальной (оптимальной) и разнообразной продукцией, существующей неограниченно долго в изменяющейся чистой среде.

Методологические основы оценки устойчивости и экологического благополучия водных объектов связаны с решением проблемы количественного описания большого числа процессов, определяющих свойства экосистем и способность систем сохранять эти свойства неизменными, или возвращаться в исходное состояние после утраты его на некотором временном интервале.

Понятие «экологический риск» является многоплановым, поскольку приобретает различное правовое значение в зависимости от сферы его применения. Попытка его право-

вого закрепления впервые была предпринята при разработке Концепции экологической безопасности России в 1991 году. В последующем понятие экологического риска получило законодательное отражение в Федеральном законе от 10.01.2002 г. № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды». В ст. 1 данное понятие определяется как «вероятность наступления события, имеющего неблагоприятные последствия для природной среды и вызванного негативным воздействием хозяйственной и иной деятельности, чрезвычайными ситуациями природного и техногенного характера».

В общем плане экологический риск – риск нарушения динамического равновесия в экологических системах, которое приводит к изменению параметров характеристик их абиотических и биотических составляющих в результате природных процессов или техногенной деятельности. В это понятие может быть вложен различный смысл: вероятность аварии, имеющей экологические последствия; величина возможного ущерба для природной среды, здоровья населения или некоторая комбинация факторов (Потапов, Воробьев, Карлин и др., 2005).

На основании этого можно выделить три основные позиции, отражающих различные цели использования экологического риска: экосистемная позиция; санитарно-гигиеническая позиция; общая позиция.

В России при использовании понятия «экологический риск» чаще всего не разделяют экосистемную и санитарно-гигиеническую позиции, исходя из наиболее общего понимания экологии как комплексной науки и важности социально-политического фактора.

Во второй главе «Методические основы оценки устойчивости, экологического благополучия и экологического риска водных объектов» рассматриваются существующие методические подходы к оценке устойчивости, экологического благополучия и экологического риска. Обзор подходов показывает, что в экологической литературе наиболее очевидно различие двух основных значений термина *устойчивость*, определяющих методические подходы к ее оценке: во-первых, *устойчивость*, как способность системы длительно существовать, сохраняя свои основные свойства, или в неизменной среде, или в среде, изменения которой не принимаются исследователем во внимание; во-вторых, *устойчивость*, как способность системы противостоять внешнему воздействию, сохраняя свои свойства. В связи с этим чаще всего оцениваются: *инертность системы* - способность экосистемы сохранять при внешнем воздействии исходное состояние в течение некоторого времени; *пластичность системы* - способность экосистемы переходить из одного состояния равновесия в другое, сохраняя при этом внутренние связи; *восстанавливаемость системы* - способность экосистемы возвращаться в исходное состояние после временного внешнего воздействия. Для водоемов и водных экосистем циклического типа разработка методик оценки устойчивости идет по типу *адаптационной устойчивости*, для водотоков и транзитных водных экосистем – по типу *регенерационной*. Изучая закономерности воздействия факторов среды на гидробионтов, весьма важно выбрать оптимальные критерии устойчивости сообществ, которые следует положить в основу метода ее количественной оценки. В настоящее время в рамках указанных выше различных понятий об устойчивости выделяют различные ее признаки. Что касается градаций и оценочных шкал устойчивости,

то они слабо разработаны в отечественной и зарубежной литературе. Наиболее часто используются количественные характеристики различных форм устойчивости, основанные на интегральных показателях обилия (традиционно - биомасса, численность организмов в сообществе или биоте в целом; реже - также энергетические показатели) (Шилин, 2007). Формально по такому принципу могут оцениваться все формы устойчивости. Но при этом устойчивость биосистемы, рассматриваемая безотносительно воздействия на нее, может быть оценена только по степени постоянства этих количественных характеристик. Ясно, что для оценки *устойчивости к воздействию* этого явно недостаточно. На этой основе нельзя получить экологически обоснованных нормативов, регулировать и прогнозировать воздействия.

Современные подходы к оценке устойчивости и уязвимости водоемов к изменению параметров режимов разработаны, в основном, на основе *балльно-индексного метода*, в основу которого положены различные классификации А.М. Владимирова и др. (1991); В.В. Снакина и др. (1992); А.Л. Ресина и др. (1992); В.В. Дмитриева (1995, 1997). Параметры уязвимости и устойчивости водных экосистем объединены в авторами в *балльно-индексную систему*, которая учитывает региональные особенности водных объектов и дает возможность в пределах изменения заложенных в них параметров, провести сравнительную оценку уязвимости водных объектов к воздействию. Если свойства водной экосистемы различаются по пространству и это дает основание говорить о физико-географическом, гидрологическом, гидрохимическом и гидробиологическом районировании в пределах определенной акватории, то можно провести зонирование водосборной территории или акватории водоема по баллам уязвимости (устойчивости) и выделить наиболее уязвимые и устойчивые районы.

То же можно сказать и о методических подходах к оценке экологического благополучия. Здесь также долгое время развивались покомпонентные (единичные и косвенные) оценки, на смену которым приходят комплексные, многокритериальные и интегральные оценки.

В оценке экологического риска преобладает антропоцентрический подход, это отражено в работах Ваганова П.А. (2001); Фрумина Г.Т. (1998); Потапова А.И., Воробьева В.Н., Карлина Л.Н., Музалевского А.А. (2005) и др.

Автор данной работы, придерживаясь экосистемной позиции, предлагает иной подход к интегральной оценке экологического риска. При этом считается, что оценка экологического риска должна основываться на определении степени изменения структурно-функциональных характеристик и других признаков рассматриваемых экосистем. В связи с этим в основу классификации были положены следующие постулаты:

- экологический риск будет наиболее высоким при наилучшем качестве воды, то есть вероятность наступления события, имеющего неблагоприятные последствия для природной среды, будет наибольшая для очень чистого водоема;

- чем меньше устойчивость водного объекта к изменению параметров режима, тем больше экологический риск его загрязнения;

- высокий экологический риск не обязательно обуславливает высокий экологический ущерб.

В третьей главе «Разработка интегральных индексов для оценки устойчивости, экологического благополучия водоема и экологического риска» изложен авторский подход к разработке интегральных индексов для оценки устойчивости водных объектов к изменению параметров естественного и антропогенного режимов; экологического благополучия водоемов; экологического риска наступления неблагоприятных событий и изменения статуса водного объекта.

Методика разработки интегральных индексов базируется на методе сводных показателей (МСП), или методе рандомизированных сводных показателей (МРСП) (Хованов, 1996, 1998), которые дают возможность на основе существующих классификаций и типизаций разработать шкалы интегральной оценки свойств по достаточно большому перечню критериев. Реализацию подхода можно разделить на шесть основных этапов.

На *первом этапе* отбирается обоснованная система критериев состояния биоты и абиотической среды, при использовании которых возможно диагностирование экологического состояния водной экосистемы. При этом нужно стремиться к тому, чтобы каждый из параметров был необходим, а все параметры вместе были достаточны для описания качества (неаддитивного свойства) рассматриваемой системы. При этом могут существовать характеристики, увеличение значений которых приводит к улучшению значения качества или свойства экосистемы (первый тип), а также характеристики, увеличение значений которых приводит к его ухудшению (второй тип). Кроме того, возможно существование характеристик, критические значения которых (например, значение $pH=7,0$) разбивают шкалу изменений характеристики на два интервала с противоположными свойствами влияния переменной на состояние объекта.

Одновременно с введением признаков (критериев) оценивания вводятся *классы состояния, устойчивости, благополучия, риска*. В связи с этим необходимо обратить внимание на существующие в литературе и принятые в ГОСТах классификации. Всегда легче опираться на существующие классификации, чем вводить свои, но иногда просто необходимо бывает формировать авторские классификации для оценки состояния экосистем или различных их свойств. Часто выбор существующей классификации обусловлен наличием ГОСТа на рассматриваемые оценочные шкалы.

На данном этапе всегда полезно проанализировать шкалы изменения параметров по классам состояния. Затем вводятся левая и правая границы для всех исходных характеристик, хотя данная процедура не является строго обязательной. В моделях-классификациях можно работать с граничными значениями характеристик (между классами).

На *втором этапе* с помощью несложных преобразований реализуется процедура нормирования исходных характеристик так, чтобы наилучшим условиям по каждому критерию соответствовало значение равное 0, а наихудшим, равное 1 (можно наоборот). Такое преобразование выполняется следующим образом.

Для критериев первого типа введем правило перевода в виде:

$$q_i = q_i(x_i) = \begin{cases} 1, & \text{при } x_i \leq \min_i, \\ \left(\frac{\max_i - x_i}{\max_i - \min_i} \right)^\lambda, & \text{при } (\min_i < x_i \leq \max_i), \\ 0, & \text{при } x_i > \max_i. \end{cases} \quad (1)$$

Для критериев второго типа введем правило перевода в виде:

$$q_i = q_i(x_i) = \begin{cases} 0, & \text{при } x_i \leq \min_i, \\ \left(\frac{x_i - \min_i}{\max_i - \min_i} \right)^\lambda, & \text{при } (\min_i < x_i \leq \max_i), \\ 1, & \text{при } x_i > \max_i. \end{cases} \quad (2)$$

где q – нормированное значение параметра; x_i – текущее значение критерия; \max_i (\min_i) – максимальное (минимальное) встречающееся значение критерия; λ – параметр, определяющий конкретный вид функций (1) и (2): ($\lambda < 1$ – выпуклость вверх, $\lambda > 1$ – выпуклость вниз).

Диапазон изменения q_i всегда находится в пределах от 0 до 1. Таким образом, исходные параметры в различных шкалах измерения (абсолютные и средние величины в конкретных единицах измерения, относительные или балльные оценки и т.п.) приводятся к единой безразмерной шкале, после чего над их значениями можно производить математические действия с целью получения интегрального показателя. Задаются минимальные и максимальные значения параметров. Для этого, как правило, используются минимальное и максимальное значения из каждой оценочной шкалы исходных характеристик. В качестве \min в практике оценочных исследований может приниматься нулевое значение характеристики, а также фоновое, предельно допустимое (ПДК) и др. В каждом случае это оговаривается в работе.

В качестве \max не всегда целесообразно использовать правое значение x_i последнего класса (прямая связь характеристики с оцениваемым свойством). Часто это значение достаточно велико и редко достижимо на практике. Кроме того, при его использовании в качестве \max в последний класс может попасть 40-60 % и более всей оценочной шкалы. В этом случае в качестве \max можно ввести не абсолютный максимум характеристики, а «региональный максимум» (меньший абсолютного) или задать \max с учетом изменения по классам величины Δx_i (как в предыдущем классе). Например, используя оценочную шкалу прозрачности воды, в качестве \max не обязательно выбирать абсолютно большую прозрачность (Саргассово море, прозрачность 64 м), можно взять максимальное региональное значение для водоема (района исследования).

На *третьем этапе* выбирается вид интегрального показателя $Q(q, w)$. Показатель Q строится таким образом, что зависит не только от показателей q_i , но и от их значимости, определяемой весовыми коэффициентами w_i , сумма которых должна равняться 1.0 ($0 \leq w_i \leq 1$). В качестве выражения для интегрального показателя чаще всего используется линейная (или нелинейная) свертка показателей вида:

$$Q = Q(q; w) = Q(q_1, \dots, q_m; w_1, \dots, w_m) = \sum_{i=1}^m q_i w_i, \quad (3)$$

представляющая собой *взвешенное среднее арифметическое* значений показателей q_i и определяемая вектором параметров $w = (w_1, \dots, w_m)$, неотрицательными компонентами которого являются *весовые коэффициенты* («веса»), задающие *значимость* (важность) отдельных

критериев для интегральной оценки уровня оцениваемого свойства. Введение дополнительного условия нормировки весов ($w_1 + \dots + w_m = 1$) позволяет говорить о значении параметра w_i как об оценке *относительной значимости* показателя q_i .

Функции (1-3) чаще всего использовались в качестве основных функций в работах Н.В. Хованова (1996, 1998); В.В. Дмитриева (2000) и публикациях автора диссертации.

На *четвертом этапе* вводятся оценки весовых коэффициентов w_i . Как правило, уже само составление программы оценочных исследований является первичным "взвешиванием" параметров, компонентов и их свойств. Однако такое взвешивание оказывается недостаточным, так как влияние отобранных главных факторов также неравнозначно, что вызывает необходимость придавать при оценке различным параметрам (свойствам, компонентам) разные приоритеты, веса или коэффициенты значимости. Нередко при этом вес вводится без какого-либо четкого обоснования. Чаще всего применяются следующие способы учета "веса" отдельных критериев экологического состояния и качества природной среды: вес каждого из отобранных параметров принимается равным; вес наиболее важных параметров увеличивается или вес второстепенных показателей уменьшается в условное число раз; вес определяется с помощью мнений экспертов; вес каждого показателя определяется с помощью дополнительных расчетов.

В самом простом случае, при равенстве весов исходных параметров, вес определяется формулой:

$$w_i = 1/n \quad , \quad (4)$$

где n – число критериев оценивания.

На практике значимость отдельных критериев в оценочных исследованиях, чаще всего измеряется по *нечисловой* (ординальной, порядковой) шкале или всем критериям навязывается равенство приоритетов оценивания по типу (4). В других случаях исследователь задает интервалы возможного варьирования весовых коэффициентов. В связи с этим появляется необходимость работы с *нечисловой* (порядковой), *неточной* (интервальной) информацией, которая чаще всего бывает и *неполной* (не для всех весовых коэффициентов заданы нетривиальные равенства и неравенства, соответствующие интервальной и порядковой информации). В этом случае задание коэффициентов - неотрицательных «весов», определяющих *значимость* (важность) отдельных показателей для уровня оцениваемого свойства экосистемы в МСП и МРСП реализуется с учетом экспертной информации о весах (I) в виде учета:

- ординальной (порядковой) - $OI: OI = \{w_r > w_s, w_u = w_v, \dots, r, s, u, v \in \{1, \dots, m\}\}$

- интервальной - $II: II = \{0 \leq a_i \leq w_i \leq b_i \leq 1, i \in \{1, \dots, m\}\}$ информации,

таким образом, что $I = OI + II$.

(5)

На *пятом этапе* для левой и правой границ каждого класса по утвержденным правилам рассчитывается значение интегрального показателя Q и строится оценочная шкала для него.

При этом в МРСП переход к $Q(q;I) = MQ(q;I)$ реализуется так, что:

$$\bar{Q}^{(j)}(I) = \bar{Q}(q^{(j)}; I) = \bar{Q}(q^{(j)}, \bar{w}(I)) = \frac{1}{N(m, n; I)} \sum_{t=1}^{N(m, n; I)} Q^{(t)}(q^{(j)})$$

с оценкой точности $Q(q;I)$: $[S^{(j)}(I)]^2 = \frac{1}{N(m, n; I)} \sum_{t=1}^{N(m, n; I)} [Q^{(t)}(q^{(j)}) - \bar{Q}^{(j)}(I)]^2$

На *шестом этапе* по собранным данным определяются значения интегрального показателя по правилам построения основной модели-классификации.

В табл. 1, 2 представлены приоритетные признаки для интегральной оценки устойчивости водоемов к изменению параметров естественного и антропогенного режимов.

Таблица 1- Модель- классификация для оценки устойчивости водоемов к изменению параметров естественного режима

Признаки	Класс устойчивости / устойчивость				
	I Макси- мальная	II Выше средней	III Средняя	IV Ниже средней	V Мини- мальная
Площадь поверхности S, км ²	20000-15000	15000-10000	10000-5000	5000-1000	1000-10
Объем V, км ³	400-300	300-200	200-100	100-10	10-0,2
Максимальная глубина h _{max} , м	200-150	150-100	100-50	50-10	10-1
Средняя температура воды в летний период t _{ср} , °С	25-22	22-20	20-18	18-15	15-12
Наличие сезонной стратификации, баллы	1	1	1-2	2	2
Условия проточности, баллы	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6

Примечание:

1. Наличие сезонной стратификации соответствует один балл, отсутствию сезонной стратификации соответствует два балла.
2. По условиям проточности бессточному водоему соответствует 1-3 балла, сточному водоему – 3-4 балла, проточному водоему – 4-6 баллов.

Таблица 2 – Исходная классификация для оценки устойчивости водоемов к изменению параметров качества воды

Признаки	Класс устойчивости / устойчивость				
	I Макси- мальная	II Выше средней	III Средняя	IV Ниже средней	V Мини- мальная
Взвешенные вещества, мг/дм ³	>50	50-20	20-10	10-3	3-0
Аммонийный азот N-NH ₄ , мг/дм ³	>1	1-0.4	0.4-0.2	0.2-0.05	0.05-0
Бихроматная окисляемость БО, мг O/дм ³	>50	50-25	25-15	15-5	5-0
Биохимическое потребление кислорода, мг O ₂ /дм ³	>4	4-3	3-2	2-1	1-0.5

В табл. 3 и 4 представлены нормированные значения критериев оценивания устойчивости водоемов.

Таблица 3 – Нормированные значения критериев оценивания устойчивости водоемов к изменению параметров естественного режима

Признаки	Класс устойчивости / устойчивость				
	I Макси- мальная	II Выше средней	III Средняя	IV Ниже средней	V Мини- мальная
S	1-0.750	0.750-0.500	0.500-0.250	0.250-0.050	0.050-0
V	1-0.750	0.750-0.500	0.500-0.250	0.250-0.025	0.025-0
h_{\max}	1-0.749	0.749-0.497	0.497-0.246	0.246-0.045	0.045-0
t_{cp}	1-0.769	0.769-0.615	0.615-0.462	0.462-0.231	0.231-0
Наличие сезонной стратификации	1	1	1-0	0	0
Условия проточности,	1-0.800	0.800-0.600	0.600-0.400	0.400-0.200	0.200-0
Q_1	1-0.803	0.803-0.619	0.619-0.268	0.268-0.092	0.092-0

Таблица 4 – Нормированные значения критериев оценивания устойчивости водоемов к изменению параметров качества воды

Признаки	Класс устойчивости / устойчивость				
	I Макси- мальная	II Выше средней	III Средняя	IV Ниже средней	V Мини- мальная
Взвешенные вещества	1-0.714	0.714-0.286	0.286-0.143	0.143-0.043	0.043-0
N-NH ₄	1-0.500	0.500-0.200	0.200-0.100	0.100-0.025	0.025-0
БО	1-0.677	0.677-0.333	0.333-0.200	0.200-0.067	0.067-0
БПК ₅	1-0.778	0.778-0.556	0.556-0.333	0.333-0.111	0.111-0
Q_2	1-0.665	0.665-0.344	0.344-0.194	0.194-0.061	0.061-0

Согласно алгоритму построения сводного показателя, далее был выбран вид интегрального показателя $Q(q,w)$. Для Q выбрана линейная свертка равновесных нормированных значений критериев оценивания. В табл. 3 и 4 также представлены значения интегральных индексов первого уровня свертки информации.

Далее был рассчитан интегральный показатель второго уровня свертки информации (табл. 5). Для него исходными значениями являлись результаты первого уровня свертки. Классификация построена в предположении равенства приоритетов оценивания между уровнями.

Таблица 5 – Устойчивость к изменению параметров естественного режима и снижению качества воды

Признаки	Класс устойчивости / устойчивость				
	I Макси- мальная	II Выше средней	III Средняя	IV Ниже средней	V Мини- мальная
Q	1-0.734	0.734-0.481	0.481-0.231	0.231-0.077	0.077-0
ΔQ между классами	0.266	0.253	0.250	0.154	0.077

Анализ полученной шкалы Q свидетельствует о следующем. В среднем, на каждый класс приходится 20 % оценочной шкалы устойчивости. При этом на I класс максимально устойчивых систем приходится 26,6 %, на II класс – 25,3 %, на III класс – 25,0 %, на IV класс – 15,4 % и на V класс минимально устойчивых систем – 7,7 %. В целом, такой ре-

зультат выделения границ между классами можно признать удачным, поскольку интервалы значений устойчивости I, II и III классов близки между собой, а интервалы IV и V классов уступают им незначительно. В тоже время в современной литературе нередко примеры, когда на один класс приходится порядка 50% более шкалы, в то время как на другие классы - 10 % и даже 5 % оценочной шкалы (Беспалова, 2006, с. 240). В этом случае разница в ширине классов внутри одной шкалы различается в 10 раз.

В четвертой главе «Апробация методик и результаты интегральной оценки устойчивости, экологического благополучия водоемов и экологического риска» приведена апробация методов для водных объектов Севера-Запада России (рис. 1).



Рис. 1 Карта водоемов Северо-Запада России и Карелии, для которых проводились оценки устойчивости и экологического благополучия

4.1 Результаты оценки устойчивости водоемов к изменению параметров естественного и антропогенного режимов.

4.1.1 Расчет сводных показателей устойчивости водоемов. Устойчивость к изменению параметров антропогенного режима озер Топозеро, Пяозеро, Верхнее Куйто, Шугозеро и Петрозаводской губы соответствует IV классу устойчивости, при этом минимальной устойчивостью обладает оз. Топозеро ($Q=0.078$), это обосновывается тем, что в 2003 г. воды в водоеме характеризовались как «чистые» (II класс). Однако значения интегрального показателя озер Пяозеро и Среднее Куйто ненамного больше, и равняются 0.081.

В целом можно сказать, что диапазон изменений Q , характеризующего качество воды для всех водоемов в 2003 году лежит в пределах 0.078 – 0.406, охватывая при этом три класса устойчивости к изменению параметров антропогенного режима.

Воды оз. Ильмень в 2003 году характеризуются как «загрязненные», IV класс. Озеро отличается от других водоемов высокими значениями бихроматной окисляемости, аммонийного азота, биохимического потребления кислорода.

Наименее устойчивым к изменению параметров естественного и антропогенного режимов по данным 2003 года оказалось оз. Ондозеро, величина сводного показателя равняется 0.165 (рис.2).

Оз. Суоярви обладает также большой уязвимостью ($Q=0.177$). Это связано с тем, что данный водоем является одним из маленьких и мелких озер из представленной группы. Однако в 2004 году на данном водоеме наблюдается снижение качества воды. Низкое качество воды в водоеме обуславливается месторасположением водного объекта, оз. Суоярви находится вблизи г. Суоярви и основным фактором антропогенного воздействия на водоем являются поступления сточных вод города и промышленных предприятий, а также поверхностный сток с сельских и сельскохозяйственных угодий. Все это подтверждается данными мониторинговых наблюдений.

Одними из самых уязвимых к изменению параметров естественного и антропогенного режимов из рассмотренных оказались более крупные и наиболее чистые водоемы: оз. Топозеро и оз. Пяозеро.

Самым устойчивым из представленной группы озер за 2003 год является озеро Ильмень, величина сводного показателя равняется 0.350.

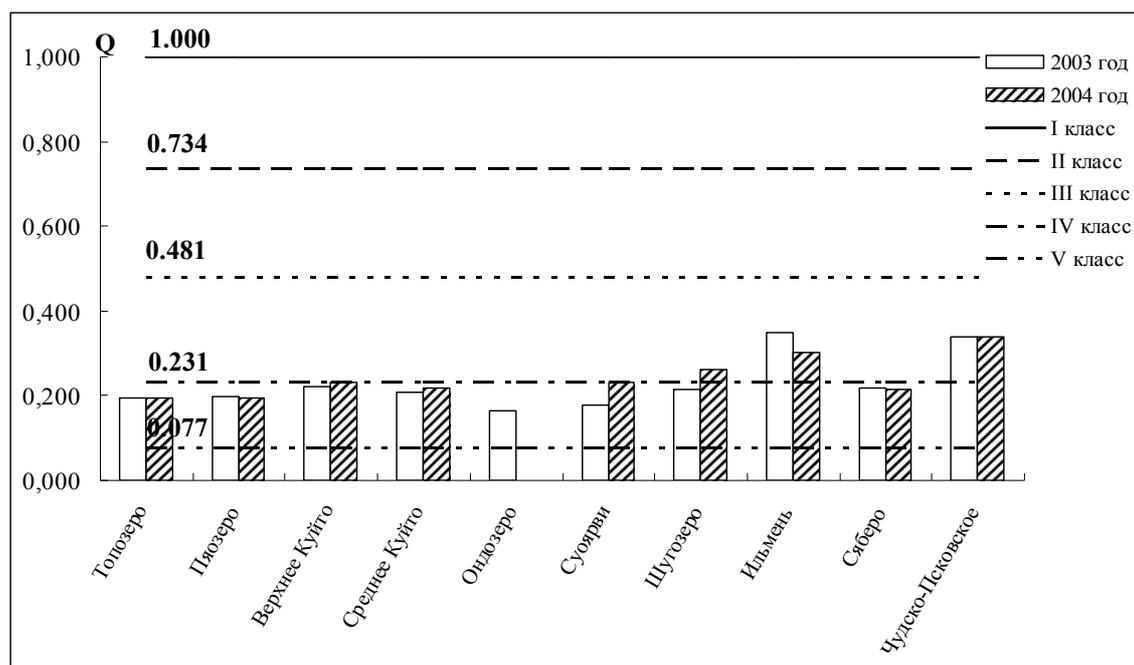


Рис. 2 Динамика изменения устойчивости водных объектов Северо-Запада России к изменению параметров естественного режима и снижению качества воды в 2003 – 2004 гг.

В целом, в соответствии с разработанными классификациями рассмотренные озера Европейского Севера и Северо-Запада РФ можно охарактеризовать, как и «средне устойчивые» (III класс) и «устойчивые ниже среднего» (IV класс).

Таким образом, при сохранении параметров естественного режима и масштабов внешнего воздействия на водоемы большим изменениям будут подвержены низко устойчивые водоемы (их районы). Высоко устойчивые озера, скорее всего, сохранят свои свойства при сохранении темпов внешнего (и внутреннего) воздействия.

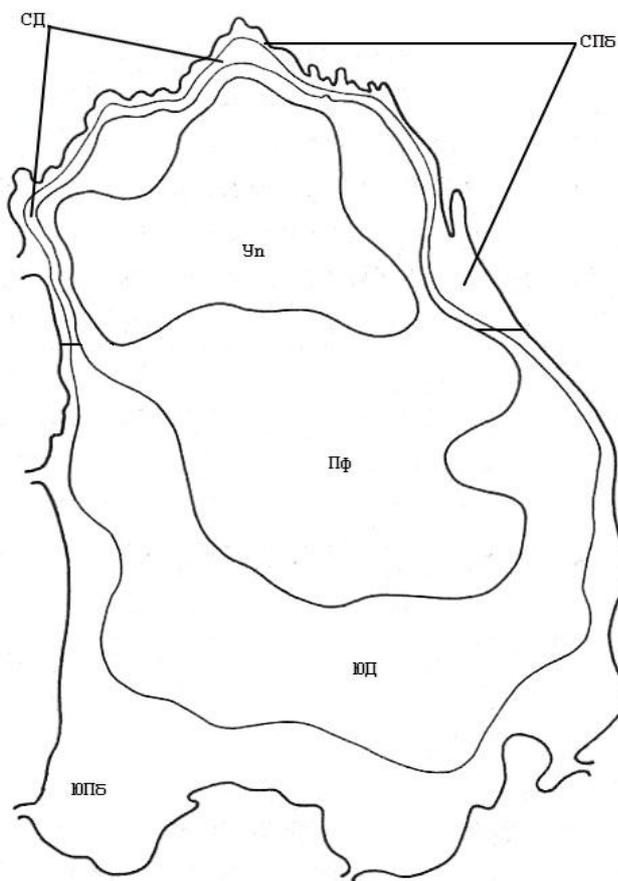
В подразделе 4.1.2 Построение интегрального индекса для оценки устойчивости водоемов к изменению параметров качества воды с учетом нелинейности связи «доза-эффект» рассматривается построение интегрального индекса для оценки устойчивости водоемов к изменению параметров качества воды с учетом нелинейности связи источника и результата воздействия: эксперимент "Э-1" рассчитан при $\lambda=1$ для всех критериев, эксперимент "Э-2" выполнен при изменении λ для критериев в диапазоне $0 < \lambda < 1$.

Анализ учета нелинейности позволил получить следующие выводы:

- при построении сводного показателя с учетом задания степенной функции $\lambda \neq 1$ результаты исследований изменились незначительно;
- степенные функции (формулы 1 и 2 при $\lambda \neq 1$) позволяют привести оценочные шкалы к такому виду, чтобы на каждый класс приходилось примерно равное процентное соотношение, то есть интервал изменения от левой границы до правой границы класса (ширина интервала) получается одинаковой.

4.1.3 Интегральная оценка устойчивости районов Ладожского озера к изменению параметров естественного и антропогенного режимов.

На примере водной экосистемы Ладожского озера выполнен расчет сводных показателей устойчивости районов к изменению параметров естественного и антропогенного режимов по разработанной модели-классификации для 1999 года (рис. 3).



- СПб – северный прибрежный
- СД – северный деклинальный
- УП – ультрапрофундальный
- Пф – профундальный
- ЮД – южный деклинальный
- ЮПб – южный прибрежный

Рис. 3 Районирование Ладожского озера для интегральной оценки устойчивости (Ладожское озеро – критерии состояния экосистемы, 1992)

По величине сводного показателя ни один район, ни озеро в целом не обладает максимальной устойчивостью к изменению параметров естественного и антропогенного режимов.

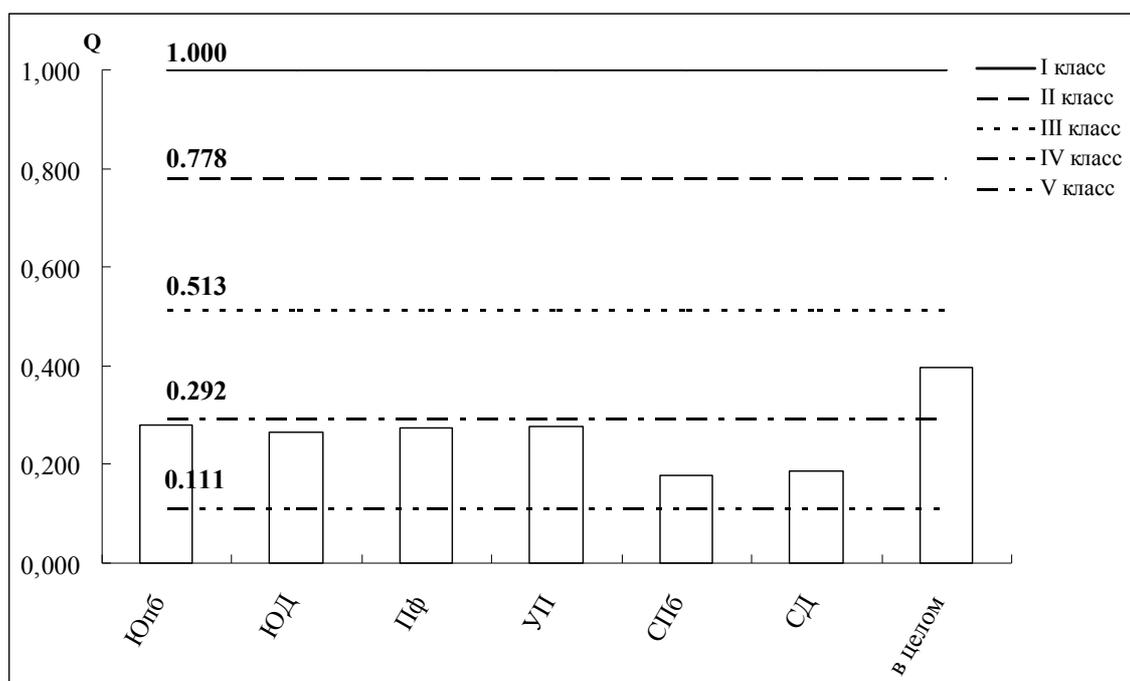


Рис. 4 Динамика изменения интегральных показателей устойчивости районов Ладожского озера к изменению параметров естественного и антропогенного режимов

Анализ полученных результатов, а так же графическое отображение этих данных (рис. 4) показали, что самым уязвимым к изменению параметров естественного и антропогенного режимов из рассмотренных районов оказался северный прибрежный район Ладожского озера, $Q = 0.178$.

Самым устойчивым является южный прибрежный район озера, $Q = 0.281$. Данный район достаточно хорошо освоен человеком, сказывается близость населенных пунктов, сельского хозяйства.

В целом, в соответствии с разработанными классификациями Ладожское озеро оценивается, как «средне устойчивое» (III класс) к изменению параметров режимов.

4.2 Результаты расчета оценки экологического благополучия водоемов для конкретных экологических ситуаций.

Задачу сбора информации призвана решать сеть гидрометрических, гидрохимических, гидробиологических и санитарно-эпидемиологических постов, станций, лабораторий, однако, к сожалению, в настоящее время мониторинг водных объектов всё еще не является составной частью, инструментом системы управления экологической ситуацией.

Первоочередной задачей мониторинга является внедрение экосистемного подхода на базе уже существующей сети. Это означает, что оценка водных объектов должна основываться на комплексных (интегральных) критериях, отражающих как качество и количество водных ресурсов, так и их пригодность для жизни флоры и фауны.

Важнейшие задачи реформирования традиционной системы мониторинга сводятся к ее экологизации, дифференциации и оптимизации. В связи с этим возникли трудности с формированием баз данных для оценки экологического благополучия водоемов. В связи с этим в работе приводятся результаты оценки экологического благополучия для гипотетиче-

ских экологических ситуаций (ГЭС) разработанных автором диссертации (табл. 6). Эти экологические ситуации отражают спектр возможных основных изменений параметров и диапазоны их изменчивости для всех классов благополучия.

Таблица 6 – Исходные данные для оценки экологического благополучия водоемов

Примеры ГЭС	Параметры благополучия							
	УКИЗВ	Скорость фильтрации воды зоопланктоном, л/мг сыр.веса сут.	Биомасса зоопланктона, мг сыр.веса/л	Ихтиомасса, г/м ²	Сапробность S	Индекс Шеннона Н	Отн. прозр. Hsd, м	Cl "а", мг/м ³
ГЭС-1	3.8	0.18	2.1	25	2.7	1.2	1	15.2
ГЭС-2	2.1	0.24	0.9	15	1.5	2	6	4.8
ГЭС-3	1	0.8	0.15	1.25	0.5	3.5	8.3	5.1
ГЭС-4	14	0.005	8	40	4.5	0.3	0.4	40
ГЭС-5	2.5	0.2	1.7	5	2	1.4	2.4	41

В табл. 7 представлены рассчитанные значения интегральных показателей оценки экологического благополучия. Диапазон изменений показателя Q лежит в пределах 0.124-0.964, охватывая все 5 классов благополучия.

Таблица 7 – Значения сводных показателей и классы экологического благополучия для ГЭС

Примеры ГЭС	Q	Класс
ГЭС-1	0.483	IV
ГЭС-2	0.701	II
ГЭС-3	0.964	I
ГЭС-4	0.124	V
ГЭС-5	0.550	III

Из рис. 5 следует, что водоемы с "ГЭС-1" и "ГЭС-2" находятся в «переходном» состоянии, значения интегрального показателя находятся близко к граничным значениям классов. Так, например, если в водоеме с "ГЭС-1" некоторое время не будет снижаться качество воды, а наоборот даже незначительно улучшиться, перейдя из класса «загрязненное» в класс «слабо загрязненное», что может быть обусловлено прекращением антропогенного воздействия на водную экосистему, водный объект может перейти из IV класса в III класс экологического благополучия.

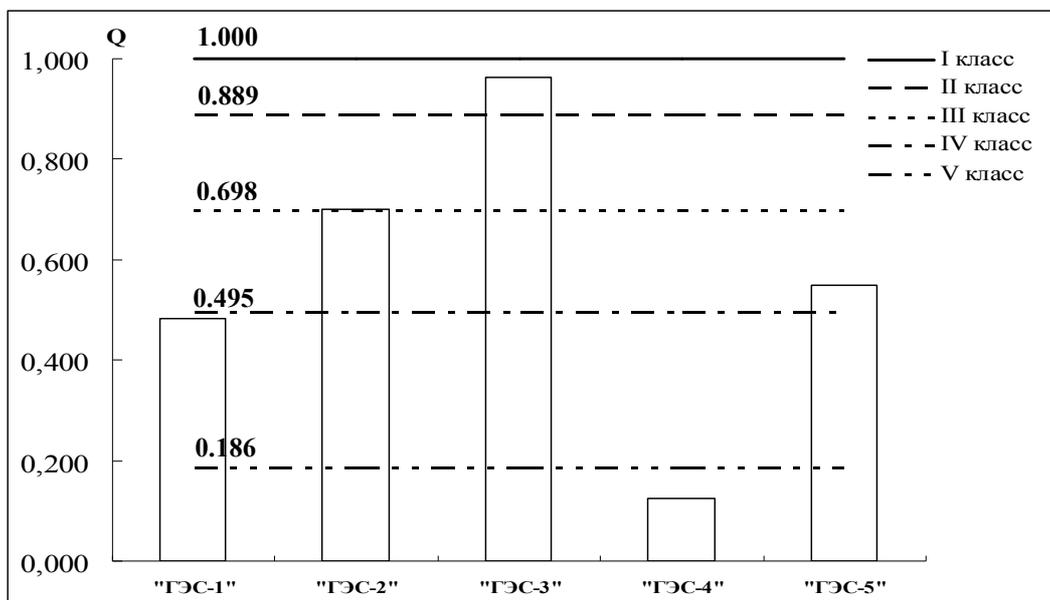


Рис. 5 Динамика изменения интегральных показателей экологического благополучия водоемов в экспериментах

С водоемом "ГЭС-2" может наблюдаться обратная картина, если на водный объект будет увеличена антропогенная нагрузка, что обусловит снижение качества воды, это приведет к переходу исследуемого водного объекта из II класса благополучия в III класс.

Эти примеры демонстрируют, что интегральный показатель дает возможность на количественной основе проследить динамику изменения экологического благополучия водоема.

На основе рассчитанных значений интегральных показателей экологического благополучия для крупного водоема появляется возможность районирования или зонирования его акватории по степени экологического благополучия.

Совершенствование предложенной модели оценки экологического благополучия заключается в учете устойчивости водного объекта к изменению параметров естественного режима при построении интегрального показателя благополучия.

Водоем, обладающий высоким благополучием, но являющийся уязвимым к изменениям параметров естественного режима, потребует срочных конкретных мер по разработке мероприятий по сохранению статуса водоема и предотвращению нежелательных воздействий, которые могут снизить высокую степень его экологического благополучия.

4.3 Результаты интегральной оценки экологического риска водоемов.

Следуя авторской модели оценки фактора риска, экологический риск будет наиболее высоким при наилучшем качестве воды, то есть вероятность наступления события, имеющего неблагоприятные последствия для природной среды, будет наибольшая для очень чистого водоема. Чем меньше устойчивость водного объекта к изменению параметров режима, тем больше экологический риск его загрязнения. В то же время высокий экологический риск не обязательно обуславливает высокий экологический ущерб.

Характерной особенностью результатов оценки факторов риска является то, что по величине интегрального показателя большинство водоемов обладают чрезвычайно высоким

значением интегрального показателя экологического риска и ни один водоем не обладает достаточно низким значением показателя экологического риска.

Наибольшему экологическому риску подвергается оз. Топозеро (V класс, $Q_{\text{ср.}}=0.969$), а наименьшему – оз. Суоярви (IV класс, $Q_{\text{ср.}}=0.862$). Класс экологического риска водоема напрямую зависит от антропогенного воздействия на водный объект, в ходе которого снижается качество воды. Это и подтверждается полученными результатами, оз. Топозеро обладает наиболее высоким качеством воды из рассмотренных водоемов, а, следовательно, является наиболее уязвимым к внешнему воздействию.

Отнесение оз. Суоярви к IV классу экологического риска обусловлено низким качеством воды, что выражено в превышении ПДК таких параметров как бихроматная окисляемость, аммонийный азот и железо.

Отмечается, что высокий экологический риск (V и IV классы) не всегда сопровождается высокими экологическими ущербами. Водоем, отнесенный к V классу риска, после оказания на него воздействия и перехода в IV класс может вернуться к первоначальному состоянию (V класс) при незначительных экономических затратах. В то время как возвращение водоема, перешедшего после оказания воздействия из II класса в I класс, должно сопровождаться большими экономическими затратами.

В целом, в соответствии с разработанной классификацией рассмотренные озера имеют, как «высокий» (IV класс) так и «чрезвычайно высокий» (V класс) фактор экологического риска. Таким образом, их восстановление может экономически оказаться менее дорогим, чем в случае, когда водоем будет иметь I или II классы экологического риска.

Основные результаты и выводы

1. В работе рассмотрены и критически обобщены существующие подходы к оценке: устойчивости водных объектов к изменению параметров естественного и антропогенного режимов; экологического благополучия водоемов; экологического риска наступления неблагоприятных событий и изменения статуса водного объекта. Выявлено отсутствие подходов, позволяющих на интегральной основе количественно оценивать неаддитивные свойства водных экосистем, многообразие взглядов и подходов в оценке рисков. В оценке устойчивости преобладают индексно-балльные подходы и методы, интегральная оценка экологического благополучия водных объектов практически не разработана. Экологические риски, чаще всего, оцениваются по двухпараметрической модели, их оценка не связана с изменением неаддитивных свойств водных экосистем.

2. Разработаны индексно-балльные методы оценки устойчивости водоемов и водотоков к изменению параметров режимов, а также модели и методы интегральной оценки устойчивости водных объектов к изменению параметров естественного и антропогенного режимов; экологического благополучия водоемов; фактора экологического риска, увязанного с изменением неаддитивных свойств водных экосистем. В основу количественного оценивания указанных параметров положены авторские модели-классификации устойчивости, благополучия, риска, ориентированные на пять классов оценивания. Построение интегральных показателей для моделей выполняется на основе метода сводных показателей (МСП) и метода рандомизированных сводных показателей (МРСП). Разработаны алгоритмы построения интегральных показателей на основе репрезентатив-

ных критериев, непрерывных оценочных шкал и обоснованных приоритетов оценивания как в условиях дефицита информации о них, так и в условиях достаточного информационного обеспечения. Положительным свойством интегральных показателей является их представление в числовой форме с последующей их временной или пространственной визуализацией средствами ГИС. Такой подход позволил проследить изменение вектора состояния (устойчивости, благополучия) водной экосистемы, как между классами, так и в пределах одного класса, оценить последствия различных управленческих решений, связанных с изменением параметров режимов водоемов.

3. Существующие подходы и методы оценки указанных свойств, как правило, не учитывают нелинейности связей источника и результата воздействия («доза-эффект»). Традиционно нелинейные связи «доза-эффект» в них задаются прямыми (обратными) линейными зависимостями. В работе проведено построение интегрального индекса устойчивости водоемов к изменению параметров качества воды с учетом нелинейности связи источника и результата воздействия. Выявлено, что учет нелинейности связей не вносит существенных изменений в формирование оценочной шкалы интегрального показателя. Основные изменения отмечаются в ширине диапазона среднего класса оценочной шкалы. Учет нелинейности позволяет также привести оценочную шкалу к близкому долевному соотношению величин диапазонов изменения по классам состояния.

4. Методы и модели апробированы для водных объектов севера и северо-запада РФ по наблюдениям 2003 – 2004 гг на основе материалов, собранных автором. Рассчитаны интегральные показатели устойчивости для 13 озер. Самыми уязвимыми к изменению параметров естественного (6 параметров) и антропогенного (4 параметра) режимов при разном задании приоритетов оценивания оказались относительно крупные, но наиболее чистые водоемы: Топозеро и Пяозеро – IV класс устойчивости. Самым устойчивым из выбранных озер является оз. Ильмень, III класс устойчивости. Озера европейского севера по совокупности критериев охарактеризованы как «средне устойчивые» (III класс) и «устойчивые ниже среднего» (IV класс).

5. Выполнена интегральная оценка устойчивости отдельных районов (6 районов) Ладожского озера к изменению параметров естественного и антропогенного режимов функционирования водных экосистем. Интегральная оценка показала, что ни один район, ни озеро в целом не обладают максимальной устойчивостью. Самым уязвимым оказался северный прибрежный район озера ($Q=0.178$), самым устойчивым – южный прибрежный район ($Q=0.281$). Озеро в целом оценивается как «средне устойчивое» III класс, $Q=0.397$. В работе делается вывод о том, что высокая устойчивость водоема (района) не обуславливает его экологического благополучия или высокого качества абиотической среды и биоресурсов. Высокая устойчивость в целом может быть обусловлена не группой параметров естественного режима (например, значительными размерами водоема), а группой факторов, характеризующих качество воды или степень антропогенного эвтрофирования водоема. Тогда, чем грязнее водоем, тем он будет устойчивее к загрязнению, и чем выше уровень трофии в нем, тем он устойчивее к антропогенному эвтрофированию.

6. В соответствии с разработанными представлениями об экологическом благополучии, выполнена интегральная оценка экологического благополучия водоемов для 5 типов экологических ситуаций. Экологически благополучной рекомендовано считать продуктивную, чистую, устойчивую к внешним и внутренним воздействиям водную экосистему с высоким качеством разнообразных биоресурсов, существующую неограниченно долго в изменяющейся среде. Таким образом,

интегральные оценки трофности, качества и устойчивости водного объекта являются составными частями интегральной оценки экологического благополучия и различных оттенков экологической напряженности или степени экологической трансформации. Результаты оценивания показали, что возможны ситуации, при которых водная экосистема может являться экологически благополучной, но достаточно уязвимой к изменению параметров режимов, или экологически неблагополучной, но устойчивой к внешнему воздействию.

7. Разработана модель-классификация рекогносцировочной оценки фактора экологического риска. Под фактором экологического риска понимаются условия, которые сами по себе не являются непосредственными источниками появления нежелательных результатов, но увеличивают вероятность их возникновения. В роли фактора экологического риска выбрано превышение ПДК загрязняющих веществ в водоеме. В разработанной модели-классификации фактор экологического риска и степень превышения ПДК увязаны между собой так, что экологический риск будет наиболее высоким при наилучшем качестве воды по величине интегрального показателя качества (для очень чистого водоема). При этом, чем меньше устойчивость водного объекта к изменению параметров режимов, тем выше риск его загрязнения. Рассмотрен пример восстановления экосистемы, возвращения ей первоначальных свойств. Показано, что такой переход для водоемов, отнесенных к IV и V классам риска может сопровождаться меньшими экономическими затратами, чем при переходе из II класса в I класс.

В целом, в соответствии с разработанной классификацией рассмотренные озера имеют, как «высокую» (IV класс) так и «чрезвычайно высокую» (V класс) степень экологического риска. Таким образом, их восстановление может экономически оказаться менее дорогим, чем для водоемов I или II классов экологического риска.

По теме диссертации опубликованы следующие работы:

Статьи:

1. *Примак Е.А.* Интегральная оценка устойчивости, чувствительности водных объектов к изменению параметров естественного и антропогенного режимов. // Современные проблемы науки и образования - 2008.-№ 6. (приложение "Географические науки"). - с. 3

2. *Primak E.* Elaboration of the integral index for the estimation of natural waters quality // Materials of 3rd International Symposium «Quality and Management of Water Resources» St. Petersburg, Russia, June 16-18, 2005. Book of proceedings. St. Petersburg, 2005. p. 209-214.

3. *Дмитриев В.В., Проценко Ю.А., Алексеева О.Н., Примак Е.А.* Интегральная оценка качества воды и выявления водных экосистем с различной степенью антропогенной трансформации // Теория и практика эколога-географических исследований (Итоги научной работы Учебно-научного центра географии и геоэкологии в 2004 году) // Под ред. В.В.Дмитриева, А.И. Чистобаева, Т.А. Алиева, И.О. Шилова. СПб.: ТИН, 2005. с. 127-149.

4. *Примак Е.А., Дмитриев В.В.* Оценка устойчивости водоемов Европейского Севера к изменению параметров естественного и антропогенного режимов. // Водные ресурсы Европейского Севера России: итоги и перспективы исследований. – Петрозаводск.: ИВПС, 2006. с. 408-417.

5. *Примак Е.А., Дмитриев В.В.* Оценка уязвимости водоемов Европейского Севера к изменению параметров режимов // Экологические и гидрометеорологические проблемы больших го-

родов и промышленных зон. Сборник трудов международной конференции. 25-27 октября 2006 г. – СПб.: изд. РГГМУ, 2007. с.115-123.

6. *Примак Е.А., Дмитриев В.В.* Разработка интегральных индексов для оценки устойчивости водоемов к изменению параметров естественного и антропогенного режимов / Географические и геоэкологические аспекты развития природы и общества. Сборник научных статей по материалам отчетных научно-практических конференций 2006-2007 гг. Под ред. Каледина Н.В., Дмитриева В.В., Алиева Т.А., СПб, Наука, 2008, с.234-241.

Тезисы конференций:

1. *Примак Е.А.* Интегральная оценка качества природных вод // Материалы итоговой сессии Ученого совета 27-28 января 2004 года. Информационные материалы. Часть II. Секции океанологии, экологии и физики природной среды. –СПб.: изд. РГГМУ, 2004. с. 117-118.

2. *Primak E.* Elaboration of the integral index for the estimation of natural waters quality // 3rd Symposium «Quality and Management of Water Resources» St. Petersburg, Russia, June 16-18, 2005. Book of abstracts. St. Petersburg, 2005. p. 122-123.

3. *Дмитриев В.В., Огурцов А.Н., Васильев В.Ю., Федорова И.В., Примак Е.А.* Интегральная оценка устойчивости и экологического благополучия водных объектов циклического и транзитного типа //Итоговая сессия ученого совета 25-26 января 2006 года. Тезисы докладов. –СПб.: изд. РГГМУ, 2006. с. 101-102.

4. *Примак Е.А., Дмитриев В.В.* Оценка уязвимости водоемов Европейского Севера к изменению параметров режимов // Экологические и гидрометеорологические проблемы больших городов и промышленных зон. Материалы международной конференции. 25-27 октября 2006 г. – СПб.: изд. РГГМУ, 2007. с.107-108.

5. *Примак Е.А.* Интегральная оценка качества природных вод // Сборник тезисов городской студенческой конференции «Спасем Дыхание Планеты» (SPB/Save Planets Breathing), 20-21 ноября 2007 года. СПб.: изд. РГГМУ, 2007. с. 75-78.

6. *Примак Е.А.* Оценка трюфности и качества вод Ладожского озера с использованием неполной, неточной, нечисловой информации о критериях и приоритетах оценивания // Сборник докладов молодых ученых на сессии Ученого совета РГГМУ. Январь 2007 г. –СПб.: изд. РГГМУ, 2008. с. 32-36.

7. *Примак Е.А.* Интегральная оценка устойчивости, чувствительности, экологического благополучия водных объектов // Современные экологические проблемы и их решение: взгляд молодежи. Материалы конференции. – СПб: изд. ПИЯФ РАН, 2008. с. 168-171.

