

На правах рукописи

Жевнов Денис Анатольевич

**Оптимизация использования водоохранных средств
на основе моделирования и ГИС**

05.13.10 – управление в социальных
и экономических системах

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Барнаул – 2006

Работа выполнена в ГОУ ВПО “Алтайский государственный технический университет имени И.И. Ползунова” на международной кафедре ЮНЕСКО “Экологическое образование в Сибири”.

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Цхай Александр Андреевич

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Поляков Юрий Александрович

кандидат технических наук
Михайлов Алексей Васильевич

Ведущая организация: Российский научно-исследовательский
институт комплексного использования и
охраны водных ресурсов
(ФГУП РосНИИВХ г. Екатеринбург)

Защита диссертации состоится 28 декабря 2006 года в 14 часов на заседании регионального диссертационного совета КМ 212.004.01 при ГОУ ВПО “Алтайский государственный технический университет имени И.И. Ползунова” по адресу: 656038, Барнаул, пр. Ленина, 46, АлтГТУ.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ГОУ ВПО “Алтайский государственный технический университет имени И.И. Ползунова”.

Автореферат разослан 24 ноября 2006 г.

Ученый секретарь регионального
диссертационного совета
кандидат экономических наук, доцент

 А.Г. Блем

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. В настоящее время все большую остроту принимают вопросы рационального водопользования, обеспечения безопасной и чистой водой. Данная проблема особенно актуальна в ситуации водного дефицита, повышенного спроса на воду и неравномерного распределения ресурсов. Найти выход из сложившейся ситуации возможно только с помощью совместных и скоординированных усилий всех специалистов водного хозяйства. Традиционно в данной области играли основную роль гидрологи, экологические ведомства, государственные структуры. Сейчас же стало ясно, что для успеха в разрешении экологических проблем необходимо междисциплинарное участие и поддержка, которая заключается в тесном взаимодействии с хозяйствующими субъектами, специалистами в области экономики, права, математики, представителями других наук. Данный процесс все более усложняется в свете возникновения более широкого спектра пользователей и сфер водопользования, чем считалось ранее, включая, например, экологические функции воды, внутриусловное водопользование, глобальную экологию и т. д. Во всем мире проблема водопользования становится все более острой и привлекает к себе повышенное внимание. Так, достижение приемлемого уровня качества природных вод, ограничение антропогенного загрязнения – основная цель Европейской водной директивы, согласованное выполнение которой Европейским Союзом началось в 2000 году. При этом возникает целый ряд задач, связанных с разработкой информационных средств, обеспечивающих эффективное применение экономических и административных методов регулирования качества вод речных бассейнов.

На протяжении последних лет водное законодательство постоянно изменялось и дополнялось. В настоящий момент существуют нормативные документы, позволяющие дифференцировать ставки платы в зависимости от водохозяйственной и экономической ситуации в регионе, экологических программ, осуществляемых на предприятиях-водопользователях. Это дает мощный инструмент стимулирования охраны окружающей среды и инвестирования на это денежных средств. Однако, оценить степень влияния сокращения сбросов после осуществления водоохраных мероприятий, спрогнозировать экологическую ситуацию возможно лишь с применением специальных оптимизационных моделей. Анализ множества условий, моделирование различных вариантов, прогнозирование экологической ситуации на основе имеющейся информации с применением разнообразных научных подходов немыслимо без применения автоматизированных информационных систем. Принятие решений в области улучше-

ния качества воды объективно носит сложный характер ввиду многочисленности и разнообразия взаимодействующих процессов, протекающих в речном бассейне. Их формальное описание возможно только с привлечением аппарата естественнонаучных, социально-экономических дисциплин и наук.

Разработки в области решения эколого-экономических проблем водопользования с применением автоматизированных информационных систем приобретают особую актуальность. В связи с этим в работе исследованы вопросы оптимального водопользования, рассмотрены оптимизационные модели и предложена методика выбора мероприятий для водоохранных инвестиций с использованием автоматизированной информационной системы.

Степень разработанности проблемы. Проблемы оптимизации водопользования в разные годы исследовали ученые как в России, так и за ее пределами. Что касается разработки моделей водопользования, то этими вопросами занимались научные группы под руководством А.Е. Косолапова, Н.Б. Прохоровой, В.Г. Пряжинской, А.М. Черняева, А.А. Цхая. За рубежом это направление развивалось Ласло Шамлиоди в Международном институте прикладного системного анализа (Австрия), Мишелем Мейбеком на базе университета Париж-6 (Франция). В этих исследованиях, наряду с использованием современного инструментария по моделированию и ГИС, сделана попытка расчета изменения некоторых экономических характеристик водохозяйственного комплекса.

В тоже время, в современных условиях реализация интегрированной системы поддержки принятия решений в области водопользования требует постоянной корректировки исходя из происходящих изменений в нормативной базе. Необходимо отслеживать изменяющиеся законодательные акты, выделять экономические механизмы стимулирования охраны водных объектов. Адаптировав разработанные модели к реалиям современных условий и снабдив их мощным ГИС-инструментарием, возможно получить систему поддержки принятия решений, ориентированную на конечного пользователя. Данные положения и явились основанием для выбора темы исследования.

Цель исследования состоит в обосновании и разработке оптимального механизма инвестирования для социально-экономических систем водокommunального хозяйства (ВКХ).

Для достижения поставленной цели в работе решались следующие **задачи:**

- анализ существующей нормативной базы в сфере водопользования с целью определения механизма управления платежами, сравнения разра-

ботанных к настоящему времени моделей оптимизации водопользования, определение их сходств и различий, сильных и слабых сторон;

- разработка методики выбора мероприятий для водоохранных инвестиций в речном бассейне и оценки их эффективности;

- создание и внедрение для произвольного речного бассейна автоматизированной информационной системы поддержки принятия решений (СППР) “Гидроменеджер” в области регулирования качества вод с использованием ГИС-технологий;

- проверка возможности применения методики управления водохозяйственным комплексом произвольного речного бассейна на основе использования СППР “Гидроменеджер”.

Объектом исследований выступает водоохранная деятельность как предприятия, так и водохозяйственного комплекса речного бассейна в целом, отличающаяся тем, что в современных правовых и экономических условиях для нее не выработаны четкие механизмы инвестирования.

Предметом исследований являются эколого-экономические модели оптимизации водоохранной деятельности и геоинформационные системы.

Методы исследований. Для решения поставленных задач использованы методы системного анализа, теории принятия решений, математического моделирования и математической статистики.

Научная новизна работы.

1. Предложен подход и способ оценки эффективности решений по осуществлению инвестиций в водоохранную деятельность, их ранжирование по степени значимости с использованием минимального набора входной информации.

2. Обоснован прием практического определения приоритетных направлений по осуществлению водоохранных мероприятий на основе экономической оценки изменения функционала критерия качества воды в речном бассейне.

3. Разработан интегрированный программный комплекс, реализующий предложенную методику оптимизации решений по стратегии инвестиций в сфере ВКХ, содержащий геоинформационную компоненту.

4. Поставлена и реализована на практике задача по проверке предложенной методики оптимизации использования водоохранных средств, обеспечивающая репрезентативность и полноту результатов вычислительного эксперимента.

Защищаемые положения:

1. Методика оптимизации управленческих решений в области инвестиций, направленных на улучшение состояния водных объектов.

2. Геоинформационная компонента СППР “Гидроменеджер”.

3. Интегрированная автоматизированная система поддержки принятия решений “Гидроменеджер”, объединяющая модули, ориентированные на повышение эффективности использования водоохранных средств.

Личный вклад автора заключается:

- в обосновании механизма оптимального использования водоохранных средств и проверке возможности использования на практике методики оценки эффективности инвестиций в водоохранную деятельность;

- в постановке и реализации задачи оценки чувствительности функционала критерия качества воды;

- в разработке геоинформационной компоненты, создании единого интерфейса и интеграции существующих модулей в единую систему поддержки принятия решений “Гидроменеджер”;

- в исследовании применимости предложенной оптимизационной методики к произвольному речному бассейну России и стран Евросоюза на примере рек Нете (Бельгия) и Верхняя Обь (Россия).

Практическая значимость. Результаты работы позволяют:

- проводить ранжирование водоохранных мероприятий по степени их значимости, планировать на этой основе приоритетные направления инвестиций;

- минимизировать финансовые затраты при осуществлении водоохранной деятельности, достигая при этом максимально возможного улучшения состояния речного бассейна;

- прогнозировать состояние водных объектов после осуществления тех или иных водоохранных мероприятий;

- выявлять дорогостоящие, но малоэффективные мероприятия в рамках осуществления природоохранной деятельности;

- оценивать степень воздействия на водную среду тех или иных управленческих решений в сфере водопользования, сравнивать между собой их влияние на комплексное значение критерия качества воды в речном бассейне;

- получать распределение концентраций загрязняющих веществ вдоль русла реки как в текущий момент времени, так и прогнозные значения в будущем после осуществления различных водоохранных мероприятий.

Обоснованность и достоверность научных положений и выводов:

- обеспечивается корректной постановкой задачи оценки экологической и экономической эффективности реализации различных водоохранных мероприятий на основе строгих моделей, состоящих во взаимно однозначном соответствии с выборочными данными;

- доказываемые обширными результатами проведенного моделирования на приме речных бассейнов России и Европейского Союза, подчеркивающими применимость на практике предложенного подхода;

- подтверждена сходимость моделей с имеющимся опытом инвестиций в водоохранную деятельность, выраженным через фактические показатели, которые характеризуют соотношение затрат и их эффективности.

Реализация работы. Результаты использованы в рамках выполнения научного проекта ИНТАС “Water quality management information tool for rivers basins based on environmental and economic consideration” Комиссии Европейских сообществ в 2003-2005 году (Reference Number INTAS - 01-0768).

Соискатель является участником “Школы О.Ф. Васильева”, результаты исследования получены в ходе выполнения работ в рамках гранта Президента РФ №НШ-22.2003.5 “Ведущие научные школы РФ”.

Методика выбора мероприятий для водоохранных инвестиций на основе применения интегрированной системы поддержки принятия решений “Гидроменеджер” принята к использованию ОАО “Алтайводпроект”.

Апробация результатов исследования.

Результаты работы докладывались и получили одобрение на Всероссийских научно-практических конференциях в 2004, 2005 и 2006 году; международной конференции “Hydroinformatics-2006” во Франции в 2006 году; международном симпозиуме “Hydrological Environment” в Республике Корея в 2005 году.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 6 печатных работ общим объемом 61 страница. На автоматизированную систему поддержки принятия решения СППР “Гидроменеджер” получено свидетельство о регистрации.

Структура работы. Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, заключения, списка использованной литературы и пяти приложений. Основной текст изложен на 152 страницы машинописного текста, содержит 46 таблиц и 13 рисунков.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность, научная и практическая значимость результатов работы, сформулирована цель и новизна, изложены основные положения, выносимые на защиту, приведена краткая характеристика работы.

В первой главе диссертационной работы “Оптимизационные модели и анализ современной нормативной базы” проводится анализ су-

ществующих в настоящее время моделей оптимизации водопользования. Рассмотрены основные стратегии инвестирования в охрану водных объектов. Проанализирована возможность их применения в области оптимизации финансовых затрат при инвестировании водоохранных мероприятий исходя из актуальной нормативной базы. Сделан общий вывод о том, что большинство из представленных моделей не возможно использовать без корректировки на постоянно меняющееся в водной сфере законодательство.

Второй параграф посвящен обзору действующей в Российской Федерации нормативной базы в сфере водного законодательства. Подробно рассматриваются платежи, их структура, методика расчета, корректирующие коэффициенты, сроки уплаты. Отдельное внимание уделено механизму уменьшения размера данных платежей путем их частичного сокращения за счет осуществления природоохранных мероприятий, а также управлению расчетными значениями их ставок с помощью лимитов и других инструментов. Данная работа необходима для дальнейшей оптимизации на уровне предприятия. Лишь выявив пути сокращения реальных издержек, обозначив условия, при которых платежи будут отнесены на себестоимость, сокращены или же отменены полностью, можно добиться увеличения прибыли предприятия, стимулируя его природоохранную деятельность. Отдельное внимание уделено вступающему в силу с 1 января 2007 года новому Водному Кодексу, его основным положениям и нововведениям.

В заключении главы приведено обоснование возможности использования моделей рационального водопользования для оптимизации инвестирования, показана возможность получения реального экономического эффекта при их внедрении.

Во второй главе “Оптимизация использования водоохранных средств” рассмотрен механизм водопользования, в основу которого положена модель оптимизации использования водоохранных средств. Предложена методика оценки чувствительности функционала критерия качества воды, позволяющий среди множества вариантов выявлять наиболее действенные мероприятия по улучшению состояния водных объектов. Кроме того, предложена методика оценки эффективности инвестиций в водоохранную деятельность, позволяющая ранжировать экологические мероприятия по степени эффективности и финансовых затрат уже на стадии их проектирования. При этом критерием оценки состояния водного объекта является интегральный показатель, рассчитываемый в одном или нескольких створах реки. Набор входящих в него загрязняющих компонентов динамический и может пополняться в зависимости от значений установленных для них весовых коэффициентов. Предложен механизм

оценки существенности влияния того или иного компонента для конкретного речного бассейна.

Механизм оценки чувствительности функционала критерия рассматривается как способ определения приоритетных направлений инвестирования в водоохранную деятельность.

Так как основная цель – с помощью критерия оценить эффективность тех или иных мероприятий, то из всего набора загрязняющих компонентов, сбрасываемых водопользователями, необходимо выбрать и включить в критерий те, сбросы которых в наибольшей степени влияют на экологическую ситуацию в регионе.

Для этого требуется оценить и сопоставить массу загрязняющих веществ в контрольном створе и их сбросы с промышленных объектов. Необходимо сопоставить массу загрязняющих веществ в контрольном створе (концентрация, умноженная на расход) с массой сбросов со всех предприятий. Это необходимо для того, чтобы оценить, какие из загрязняющих компонентов являются более зависимыми от сбросов и, следовательно, являются управляемыми.

Большое значение имеет степень влияния внедрения очистных технологий на качество воды в реке. Важно выявить предприятия, сбросы которых влияют в наибольшей степени на экологическую ситуацию и определить загрязнители, наиболее весомые для тех или иных предприятий. То есть, необходимо оценить степень чувствительность функционала критерия на сокращение загрязнителей. Если сбросы того или иного предприятия малы в общей доле, то их следует исключить из рассмотрения уже на данном этапе. Степень влияния загрязнителей на критерий помогает оценить таблица, в которой указывается загрязняющий компонент, его процентное влияние на критерий качества воды и ПДК. Процент показывает долю и значимость каждого компонента в критерии. Кроме того, возможно выявить загрязнители, концентрации которых относительно ПДК имеют наибольшие значения. Анализируя эти данные, можно легко определить приоритетные направления для инвестирования, которые принесут наибольший экологический результат при наименьших финансовых затратах.

Определив приоритеты инвестирования можно перейти непосредственно к выбору тех или иных мероприятий. Важным инструментом оптимизации является конкурсное инвестирование. При этом сдерживающим фактором часто оказывается отсутствие инструмента обратной связи, т.е. ранжирования предлагаемых мероприятий по степени эффективности на бассейновом уровне. Поэтому конструируемая модель качества воды по стандартным для конкретных условий бассейна данным позволяет построить прогноз распределения загрязнений в речной сети. На этом прин-

ципе основывается разработанная методика выбора мероприятий для водоохраных инвестиций.

Лицо, принимающее решение (ЛПР) получает список мероприятий по улучшению качества воды речного бассейна. Этот список включает в себя: наименование мероприятия; водопользователей, уменьшающих сбросы после внедрения мероприятия; стоимость мероприятия; наименование загрязняющих веществ; значения уменьшения сбросов после внедрения мероприятий; сроки внедрения. Для упрощения полагается, что используемые мероприятия являются независимыми по результату влияния на сбросы.

Далее составляется перечень всевозможных вариантов одновременного внедрения предложенных мероприятий. При этом требуется отсеять вырожденные случаи (например, когда суммарное плановое уменьшение загрязнения превышает фактическое). С помощью автоматизированной процедуры для каждого варианта задаются результирующие значения сбросов водопользователей. Это позволяет замкнуть математическую постановку задачи формирования качества воды в речном бассейне.

После этого для каждого из вариантов в рамках конструируемой версии СППР “Гидроменеджер” рассчитывается распределение загрязнений в речном бассейне.

Определившись с видом критерия качества воды на бассейновом уровне, что зависит от приоритетов ЛПР, становится возможным ранжировать все возможные варианты инвестирования, а значит осуществить выбор наилучшего варианта использования ограниченного объема финансовых средств.

В качестве критерия оценки может быть выбран, к примеру, следующий интегральный показатель

$$Cr = \frac{\sum_{i,k} \left(\frac{C_{ik}^j}{P_i} \right)}{n} \xrightarrow{j} \min, \quad (1)$$

где i – номер загрязнителя;

n – количество рассматриваемых загрязнителей;

P_i – предельно допустимая концентрация i -го загрязнителя;

C_{ik}^j – концентрация i -го загрязнителя в k -ом створе речного бассейна после внедрения j -ого варианта мероприятий.

В третьей главе диссертационной работы “Моделирование с использованием СППР “Гидроменеджер” продемонстрирована возможность реализации на практике разработанного механизма оптимизации водопользования на примере рек Верхняя Обь (Россия) и Нете (Бельгия). Кроме того, представлено описание СППР “Гидроменеджер”. Особое

внимание уделено разработанной геоинформационной компоненте системы.

В первом разделе главы показана эффективность оценки чувствительности функционала критерия по определению приоритетных направлений инвестирования в природоохранную деятельность. Расчеты производились для рек Нете и Верхняя Обь. Для моделирования были выбраны участки, данные по которым имелись в полном объеме (рис. 1). На рисунках кружками отмечены предприятия ВКХ, прямоугольниками – крупные промышленные предприятия, осуществляющие сбросы в реку, а треугольниками – пункты контроля качества воды.

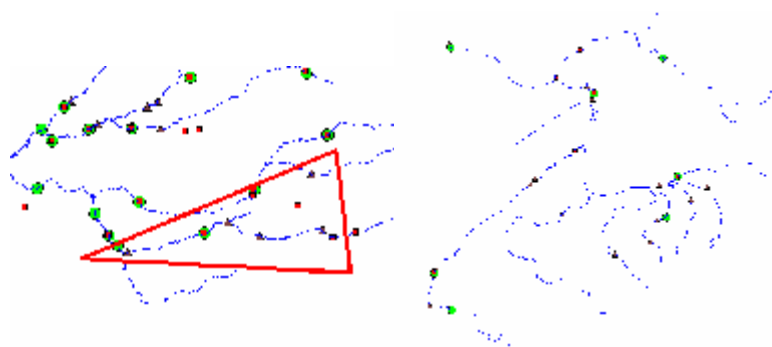


Рис. 1. Участки рек Нете (слева) и Верхняя Обь (справа)

Для получения адекватного результата моделирования при работе с СППР “Гидроменеджер” требуется большой объем исходных данных, описывающих гидрологию и гидрохимию рек, эколого-экономические характеристики предприятий бассейна. Соответственно, подготовка информации для работы с СППР “Гидроменеджер” представляет собой достаточно сложную и трудоемкую процедуру, предполагающую выполнение следующей последовательности шагов:

- формирование списка предприятий, с указанием рек, на которых они находятся;
- формирование списка всех рек бассейна, с указанием расходов и уровней;
- ранжирование всех рек по величине расходов;
- выбор рек в бассейне, подлежащих рассмотрению (все, на которых находятся предприятия, а также притоки с большими расходами);
- формирование списка загрязняющих веществ, подлежащих рассмотрению;
- сбор информации для больших рек (гидрология и гидрохимия);

- сбор информации для малых рек (гидрология и гидрохимия);
- сбор информации о предприятиях.

Анализ показал, что в расчет критерия для бассейна реки Нете необходимо включить следующие компоненты: БПК, кислород, взвешенные вещества, ХПК, NH_4 , NO_3 .

Значимыми загрязняющими веществами, которые необходимо включить в расчет критерия для бассейна Верхней Оби, являются БПК, O_2 , взвешенные вещества, NH_4 , NO_2 , NO_3 , СПАВ, нефтепродукты, фенол, хлориды, сульфат, линдан, железо, фосфаты.

Степень влияния загрязнителей на критерий приведена в таблице 1. Процент показывает долю и значимость каждого компонента в критерии.

Таблица 1

Загрязнитель	Процентное отношение влияния на критерий	
	Нете	Верхняя Обь
Нефтепродукты	-	35,691
Фосфаты	-	27,140
O_2	26,072	9,932
Фенол	-	6,741
NH_4	67,785	5,929
NO_2	-	4,119
БПК	1,872	2,709
Сульфаты	-	1,534
Хлориды	-	1,238
Линдан	-	1,234
СПАВ	-	1,227
Взвешенные вещества	1,421	1,187
NO_3	0,476	0,150
ХПК	2,374	-

Сбросы на рассматриваемом участке бассейна Нете непосредственно в реку осуществляют три крупных предприятия. Это RWZI Geel, RWZI Westerlo и BP Chembel. Объемы их сбросов примерно сопоставимы друг с другом и подлежат рассмотрению по всем компонентам, входящим в критерий. Компонентами, подлежащими рассмотрению, являются БПК, Взвешенные вещества, ХПК, NH_4 , NO_2 и NO_3 .

На основании анализа величины сбросов предприятий Верхней Оби был составлен список из 8 предприятий (Барнаул-Горводоканал, ОАО ХК “Барнаултрансмаш”, Барнальская ТЭЦ-2, Бийский олеумный завод, Бийская ТЭЦ-1, Бийск-Водоканал, Камень-Водоканал, Шинный завод) и загрязняющих компонентов (БПК, Взвешенные вещества, NH_4 , NO_2 , Хлори-

ды, СПАВ, Нефтепродукты, Фенол, Сульфат, Железо, Медь, Фосфаты, Линдан), уменьшение сбросов по которым моделируется.

Далее для каждого предприятия и компонента были произведены расчеты с постепенным сокращением сбросов компонентов от 100% до 0% с шагом 10%.

Зависимости снижения критерия от сокращения величин сбросов каждого предприятия являются линейными. Из них видно, что наибольшую эффективность будут иметь мероприятия по сокращению сбросов ХПК и NH_4 для RWZI Westerlo и ХПК для BP Chembel и RWZI Geel. Так, при сокращении сбросов ХПК на 80% на RWZI Westerlo значение критерия будет равно 3,162; при сокращении сбросов NH_4 на те же 80% критерий составит 3,167. Аналогичное сокращение на 80% сбросов ХПК с RWZI Geel и BP Chembel приведет к снижению критерия до 3,142 и 3,114 соответственно.

Таким образом, с помощью моделирования удалось определить приоритетные направления по снижению сбросов с предприятий, а также мероприятия, которые в наибольшей степени улучшат экологическую ситуацию. Отдельно они представлены на рисунке 2.

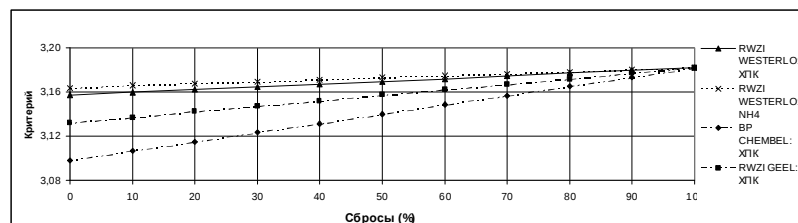


Рис. 2. Сравнительная зависимость критерия от изменения сбросов с предприятий в бассейн реки Нете

Аналогичные расчеты были проведены для Верхней Оби. Моделирование проводилось по выбранным ранее предприятиям и загрязняющим компонентам. Произведенные расчеты помогли определить изменение критерия при снижении наиболее значимых сбросов с промышленных объектов бассейна. Эксперимент показал, что наибольшую эффективность будут иметь мероприятия по сокращению сбросов с предприятия “Барнаул-Горводоканал”. Причем сокращение сброса фосфатов улучшит экологическую ситуацию в большей степени, чем сокращение любых других сбросов. Принимая решение о реализации мероприятий по сокращению сбросов, приоритет следует отдавать мерам по снижению выбросов фосфатов и нефтепродуктов с предприятия “Барнаул-Горводоканал”.

Во втором разделе рассмотрена методика оценки эффективности инвестиций в водоохранную деятельность на примере данных бассейна Верхней Оби на территории Алтайского края.

Сбросы сточных вод осуществляют 35 крупных предприятий, из них наиболее значительные сбросы осуществляют 6 предприятий ВКХ. На каждом из предприятий можно осуществить определенные мероприятия, результатом которых станет снижение сбросов, а, следовательно, и уменьшение величины критерия качества в контрольном створе.

Мероприятия имеют определенную стоимость. В качестве примера оценки эффективности их осуществления и принятия решения о целесообразности инвестиций было проведено моделирование по 5 мероприятиям и оценено изменение критерия C_r в контрольном створе. Список выбранных для моделирования мероприятий представлен в таблице 2.

Коэффициент изменения загрязнения (столбец “Значение”) показывает, во сколько раз изменится сброс загрязнителя после осуществления мероприятия. Иными словами, если до осуществления мероприятия “Сбор отходов из сгущающих ванн” на предприятии “Комбинат химических волокон” сброс загрязнителя “Нефтепродукты” был 0,07 г/с, то после его осуществления данный сброс уменьшится в 0,85 раз и составит $0,07 \cdot 0,85 = 0,06$ г/с.

Таблица 2

Предприятие	Мероприятие	Стоимость	Загрязнитель	Значение
Комбинат химических волокон	Сбор отходов из сгущающих ванн	100	Нефтепродукты	0,85
Комбинат химических волокон	Реализация схемы сбора красителей	15	Взвешенные вещества	0,95
Бийск-Водоканал	Кап. ремонт механических решеток	513,9	Нефтепродукты	0,98
Бийск-Водоканал	Кап. ремонт первичных и вторичных отстойников	335,2	Взвешенные вещества	0,9
			БПК	0,9
			СПАВ	0,8
Барнаул-Горводоканал	Строительство сооружений для очистки сточных вод	98948	Нефтепродукты	0,75
			БПК	0,7

Изменение критерия оценки качества воды после осуществления этих мероприятий, а также после их совместного внедрения, приведено в таблице 3.

Таблица 3

Стоимость	Значение критерия	Мероприятие
99912,1	4,229	Сбор отходов из сгущающих ванн; Реализация схемы сбора красителей; Кап. ремонт механических решеток; Кап. ремонт первичных и вторичных отстойников; Строительство сооружений для очистки сточных вод
99897,1	4,229	Сбор отходов из сгущающих ванн; Кап. ремонт механических решеток; Кап. ремонт первичных и вторичных отстойников; Строительство сооружений для очистки сточных вод
...	...	...
15	4,238	Реализация схемы сбора красителей
0	4,238	-

Таким образом, на основании этой таблицы ЛПР может сделать выбор в пользу того или иного мероприятия, основываясь на значениях критерия качества воды и стоимости реализации. Тривиальный результат о наибольшей эффективности осуществления всех мероприятий может быть получен и без применения методики. Однако, в условиях ограниченности финансовых ресурсов данная методика служит рабочим инструментом для отсекаания малоэффективных инвестиций.

В третьем разделе на основании сценарного подхода была проверена возможность применения этой методики для условий Западной Европы для случая реки Нете.

В расчетах полагалось, что сбросы сточных вод на данном участке осуществляют два крупных предприятия ВКХ и одно промышленное предприятие. Исходные данные о фактических сбросах предприятий представляют собой среднегодовые значения концентраций загрязняющих веществ, а также общий объем сбросов.

Значение критерия рассчитывается в створе реки Нете около станции №73. Оно рассчитывалось до и после осуществления гипотетических мероприятий по сокращению вредных сбросов.

На выбранном участке расположены два крупных предприятия ВКХ. Именно они во многом определяют качество воды на всем участке и в контрольном створе в частности. Вот почему было интересно оценить, насколько изменятся значения загрязнителей в русле реки и значение критерия в контрольном створе после сокращения сбросов.

Рассмотрим ситуацию, при которой на двух предприятиях ВКХ (RWZI Geel и RWZI Westerlo) были осуществлены природоохранные мероприятия, результатом которых стало сокращение сбросов загрязняющих

веществ. Предположим, что на RWZI Geel было осуществлено мероприятие M_1 , а на RWZI WESTRLO – мероприятие M_2 .

Данные мероприятия имеют определенную стоимость, которая учитывается при оценке эффективности инвестиций (стоимость M_1 существенно ниже M_2). После их осуществления сбросы с предприятий ВКХ изменились на некоторые коэффициенты, указанные в таблице 4.

Таблица 4

Загрязнитель	Коэффициент изменения сбросов RWZI Westerlo (K_1)	Коэффициент изменения сбросов RWZI Geel (K_2)
БПК	1	0,7
O_2	1	1
Взвешенные вещества	1	1
ХПК	0,25	0,1
NH_4	0,1	1
NO_2	1	0,3
NO_3	1	0,15
СПАВ	1	1

Коэффициенты сокращения сбросов K_1 и K_2 показывают, во сколько раз изменились прежние значения сбросов после осуществления мероприятий. Например, значение $K_2=0,1$ для ХПК на RWZI Geel означает, что осуществление мероприятия M_2 на данном предприятии приведет к сокращению сбросов на в 10 раз. Аналогично значение $K_1=0,25$ для ХПК на RWZI Westerlo показывает, что мероприятие M_1 приведет к тому, что сброс ХПК составит 25% от первоначального.

Мероприятия M_1 и M_2 можно осуществлять как совместно, так и по отдельности. Для оценки эффективности их осуществления и оценки целесообразности инвестиций было проведено моделирование и оценено изменение критерия C_g в контрольном створе.

Изменение критерия оценки качества воды после осуществления мероприятий M_1 , M_2 , а также после их совместного внедрения показано в таблице 5. Первая строка таблицы отражает значение до осуществления мероприятий, последняя – после их совместного осуществления.

Таблица 5

Мероприятие	Значение критерия
0	3,182
M_1	3,147
M_2	3,136
M_1+M_2	3,102

Таким образом, мы видим, что наименьшее значение критерия, а следовательно, наилучшее качество воды, достигается после реализации мероприятия M_2 на RWZI Geel. Реализация мероприятия M_1 на RWZI Westerlo также улучшит экологическую ситуацию, но при этом оно намного дешевле. Совместное их осуществление уменьшит значение критерия, намного в большей степени, чем реализация только одного из этих мероприятий.

Следовательно, наиболее дорогостоящая стратегия, подразумевающая реализацию обоих мероприятий, в данном случае является наиболее эффективной, максимально снижающей значение критерия. Однако, принимая решение о реализации того или иного мероприятия, следует учитывать финансовые возможности. Кроме того, большое значение в принятии такого решения может оказать снижение какого-либо определенного загрязнителя.

Так, в нашем примере мероприятие M_2 в наибольшей степени улучшит качество воды по сумме загрязняющих веществ. Однако, если мы преследуем целью снизить содержание NH_4 , то стратегия M_1 будет более предпочтительна, или же следует применить стратегии M_1+M_2 в случае достаточного количества финансовых средств.

Данный пример показывает, насколько эффективным может оказаться применение этой модели к конкретным условиям бассейна при оценке эффективности инвестиций. Внедрение СППР “Гидроменеджер” в водоохранную практику региона может создать условия для существенного улучшения экологического состояния речного бассейна.

Наличие подобной схемы управления качеством вод, разработанной с учетом особенностей региона, позволяет повысить эффективность инвестиций в осуществление водоохраных мероприятий.

В следующем разделе описан выбор инструментальных средств для программной реализации СППР “Гидроменеджер”, в том числе обосновывается выбор ГИС-инструментария для создания подсистемы обработки картографической информации. В качестве среды программирования использовался Borland Delphi 7.0. В качестве единой базы данных был выбран Firebird SQL Server 1.5. Что касается ГИС-компоненты системы, то на основе сравнения сильных и слабых сторон имеющихся средств разработки геоинформационных систем, выбор был сделан в пользу ESRI MapObjects, позволяющей интегрировать блок обработки картографической информации непосредственно в СППР “Гидроменеджер” (что имело определяющее значение). Далее приводится подробное описание системы.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

В ходе проведенных исследований решены поставленные задачи и достигнуты следующие результаты:

1. Предложена методика оптимизации решений по использованию водоохраных средств, которая позволяет повысить эффективность инвестиций за счет выявления первоочередных мероприятий по улучшению экологического состояния водных объектов.

2. Произведена адаптация СППР “Гидроменеджер” к современным условиям водопользования исходя из актуальной нормативной базы, все модули объединены в интегрированный программный комплекс.

3. Разработана ГИС-компонента для СППР “Гидроменеджер”, позволяющая наглядно отображать статистическую информацию на карте речного бассейна.

4. Проверена возможность практического использования предложенной методики для произвольного речного бассейна.

Основные положения диссертационной работы опубликованы в работах:

1. Zhevnov D. Decision support system “Hydromanager” for water policy decision-making / D. Zhevnov, A. Tskhay // Hydroinformatics-2006, Proc. of the 7th International Conference (France, Nice, 2006). P. 2717-2724.

2. Жевнов Д.А. Оптимизация водоохраных мероприятий в речных бассейнах на основе СППР “Гидроменеджер” // Человек. Экология. Здоровье : сборник материалов международного медико-экологического форума в рамках 11-ой медико-экологической выставки. – Барнаул, 2006. – С. 71-75.

3. Zhevnov D. Economic-Environmental Model “Hydromanager” for Water Quality Improvement / D. Zhevnov, A. Tskhay // Hydrological Environment. Proc. of the International Symposium (R. Korea, Daegu, 2005). – P. 65-84.

4. Цхай А.А. Методика выбора мероприятий для водоохраных инвестиций в речном бассейне / А.А. Цхай, Д.А. Жевнов, В. Бауэнс, Я. Кулс. // Водное хозяйство России. – 2005. №5. Т. 7. – С. 464-481.

5. Цхай А.А. Информационное обеспечение оптимизации использования водоохраных средств на основе Европейской водной директивы / А.А. Цхай, К.Б. Кошелев, Ю.Н. Городилов, Д.А. Жевнов, В. Бауэнс, Я. Кулс, Н.Б. Прохорова // Ползуновский вестник. – 2004. – №3. – С. 52-60.

6. Цхай А.А. Современные информационные технологии мониторинга речного бассейна / А.А. Цхай, М.Н. Амельченко, Ю.Н. Городилов, Д.А. Жевнов, К.Б. Кошелев, В. Бауэнс, Я. Кулс // Вода: экология и технологии :

материалы 6-го международного конгресса. – Москва, 2004. – Вып. 1. – 256 с.

7. Геоинформационная система “Гидроменеджер” (Гидроменеджер) : свидетельство Российского агентства по патентам и товарным знакам об официальной регистрации программы для ЭВМ №2005610171 от 31 марта 2005 г. / А.А. Цхай, К.Б. Кошелев, Д.А. Жевнов.

Подписано в печать 14.11.2006 г. Формат 60х84 1/16.

Печать – ризография. Усл.п.л. 1

Тираж 100 экз. Заказ №

Отпечатано в типографии Алтайского государственного
технического университета им. И.И. Ползунова,
656038, г. Барнаул, пр-т Ленина, 46.