

На правах рукописи

КУЛЫГИН Валерий Валерьевич

ГЕОИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ОЦЕНКИ И
МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПРИРОДНО-
ХОЗЯЙСТВЕННОГО КОМПЛЕКСА (НА ПРИМЕРЕ БАССЕЙНА
НИЖНЕГО ДОНА)

25.00.35 – Геоинформатика

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург
2012

Работа выполнена в отделе информационных технологий и математического моделирования Института аридных зон Южного научного центра РАН, г. Ростов-на-Дону

Научный руководитель: кандидат физико-математических наук, доцент
Селютин Виктор Владимирович

Научный консультант: доктор географических наук, профессор
Бердников Сергей Владимирович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Истомин Евгений Петрович
кандидат технических наук, доцент
Куракина Наталия Игоревна

Ведущая организация: ФГУП Российский НИИ комплексного использования и охраны водных ресурсов (РосНИИВХ)

Защита состоится “ ” 2012 г. в 15 часов 30 минут на заседании диссертационного совета Д 212.197.03 при Российском государственном гидрометеорологическом университете по адресу: 195196, г.Санкт-Петербург, пр. Металлистов, д.3, аудитория 102.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Российского государственного гидрометеорологического университета.

Автореферат разослан “ ___ ” 2012 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 212.197.03,
доктор технических наук, профессор

П.П. Бескид

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Современный этап развития информационных технологий характеризуется широким применением математических методов для моделирования, анализа и оценки состояния природно-хозяйственных комплексов. Поскольку в таких системах существенную роль играют пространственные аспекты, то эффективное решение задач оценки состояния связано с использованием геоинформационных технологий, обеспечивающих интеграцию данных о территории и предоставляющих инструменты для обработки и анализа пространственной информации.

Активное внедрение геоинформационных технологий в сфере природопользования в последние два десятилетия привело к появлению большого числа информационных систем, при этом создание ГИС-компоненты в структуре прикладных информационных систем обычно осуществлялось независимо от разработки базы данных и без учета реализации аналитических функций. Для использования ГИС-компоненты не только в качестве средства представления картографических данных, но и как основу для выполнения задач аналитического характера, необходимо формирование в рамках информационной подсистемы интегрированного, целостного и непротиворечивого представления данных.

Актуальность диссертационного исследования определяется необходимостью развития методов формализации и хранения разнородной геопространственной информации и использования геоинформационных технологий для оценки крупных промышленно-хозяйственных комплексов.

Состояние исследования проблемы. Отечественной научной школой внесён большой вклад в развитие теоретических и прикладных аспектов проектирования и разработки геоинформационных систем (Алексеев В.В., Ивакин Я.А., Куракина Н.И., Попович В.В., Сурков Ф.А. и др.), основ геоинформатики (Берлянт А.М., Бескид П.П., Биденко С.И., Кошкарев А.В., Тикунов В.С. и др.), оценки характеристик водных объектов и водопользования (Ворович И.И., Горстко А.Б., Данилов-Данильян В.И., Дмитриев В.В., Ковчин И.С., Косолапов А.Е., Лотов А.В., Пряжинская В.Г., Руховец Л.А., Филатов Н.Н., Хранович И.Л., Шелутко В.А. и др.), моделирования и принятия решений (Крапивин В.Ф., Краснощеков П.С., Ларичев О.И., Моисеев Н.Н., Свиричев Ю.М. и др.). В течение последних 30-ти лет в мире также поддерживается значительный интерес к моделированию и интегрированному управлению природно-хозяйственными комплексами, что нашло отражение в работах зарубежных авторов Fedra K., Goodchild M.F., Gijbbers P.J.A., Lam D., Leon L., Letcher R.A., Muetzelfeldt R., Nyerges T.L., Oxley T., Reynolds K.M., Schumann A.H., Sui D.Z., Villa F. и др.

Несмотря на наличие значительного числа программных решений с использованием ГИС-технологий для оценки экологического состояния природно-хозяйственных комплексов вопросы построения информационных подсистем, выбора и совместного использования системы моделей остаются открытыми.

Особый интерес представляет реализация модельных подходов для конкретных объектов, поскольку при практической реализации приходится

сталкиваться с различными трудностями, обусловленными экологической и экономической спецификой, информационными ограничениями и пр.

Хозяйственная деятельность на территории Ростовской области, расположенной в бассейне Нижнего Дона, в течение длительного периода развивалась без надлежащего учёта экологических ограничений, определяемых ассимиляционной ёмкостью речных экосистем и Азовского моря как замыкающего водоёма. Это привело к гипертрофированным размерам изъятия и безвозвратного потребления поверхностных вод, снижению объёма и качественных характеристик пресного стока, увеличению масштабов эрозии почв. Исправить сложившуюся ситуацию можно путем изменения сложившихся приоритетов и подходов в водо- и землепользовании, усиления роли стратегического планирования как способа учёта отдалённых во времени последствий реализации различных экологических и экономических сценариев и политик.

Объектом настоящего исследования является бассейн Нижнего Дона. **Предметом исследования** являются методы структуризации разнородной информации, алгоритмы совместного использования моделей разного пространственно-временного масштаба, модели оценки состояния и стратегического планирования крупных природно-хозяйственных комплексов с использованием ГИС-технологий.

Целью работы является разработка геоинформационной системы для оценки и моделирования состояния природно-хозяйственного комплекса на примере бассейна Нижнего Дона.

Для достижения поставленной цели требуется решить следующие **задачи**:

- систематизировать и обобщить информацию, разработать информационную базу для поддержки анализа и моделирования состояния природно-хозяйственного комплекса;
- разработать алгоритмическое обеспечение системы оценки состояния природно-хозяйственного комплекса, соответствующее уровню информационной обеспеченности и учитывающее многокритериальность и факторы неопределенности;
- создать геоинформационную систему для поддержки решения задач стратегического планирования развития природно-хозяйственного комплекса и выполнить расчеты для водохозяйственного комплекса Нижнего Дона.

Материалы и методы исследования. Полученные результаты исследования базируются на использовании теории баз данных, ГИС-технологий, объектно-ориентированного программирования, системного подхода, математического моделирования, теории принятия решений. Разработка программного комплекса производилась в среде Microsoft Visual Studio 2009 на языке C#. Реализация баз данных проводилась в СУБД Microsoft Access. В качестве ГИС использовался программный продукт ArcGIS 9.1. Часть приложений для работы с базами данных и инструменты обработки пространственных данных в ГИС были реализованы на языке VBA.

Основные результаты, выносимые на защиту

1. Банк данных, содержащий информацию о состоянии природной среды и социально-экономических показателях, и включающий комплекс программных средств, обеспечивающих пополнение, редактирование, контроль качества и обработку данных.

2. Система математических моделей для природно-хозяйственной системы «водосбор-река-водоём».

3. Геоинформационная система, предназначенная для решения задач стратегического планирования развития водохозяйственного комплекса на базе сценарного подхода.

Научная новизна диссертационного исследования состоит в следующем:

1. Создан банк данных, основывающийся на концепции хранилища данных, и обеспечивающий доступ инструментов анализа к интегрированной информации, отличающийся объединением подсистем разного пространственного, временного и функционального характера.

2. Разработана система моделей, описывающая систему «водосбор-река-водоём», адаптированных к условиям юга России и ориентированных на мезомасштаб. Для совместной работы моделей, имеющих разные пространственные и временные масштабы, разработаны и программно реализованы архитектура и алгоритмы функционирования системы моделирования, в рамках которой предложен способ единообразного представления информации, который облегчает доступ к данным, а также процессы создания и модификации системы моделей.

3. Разработана геоинформационная система, предназначенная для стратегического планирования развития природно-хозяйственного комплекса, базирующаяся на многокритериальных методах принятия решений и сценарном подходе к учету неопределенности, отличающаяся унификацией процесса формирования сценариев, в виде набора сценарных переменных, что позволяет использовать ее для решения широкого круга задач, а также возможностью комбинировать при решении задач динамические экологические модели с моделями субъективного характера.

Практическая значимость работы заключается в формировании банка данных и создании математического и программного обеспечения компонентов геоинформационной системы, предназначенной для решения задач стратегического планирования. Полученные решения обеспечили разработку ГИС для бассейна Нижнего Дона и Азовского моря.

Исследования по тематике диссертационной работы велись в рамках трех программ фундаментальных исследований ОНЗ РАН, двух ФЦП и двух госбюджетных НИР. Результаты работы внедрены в научно-исследовательских работах, выполняемых в ЮНЦ РАН (г. Ростов-на-Дону).

Соответствие диссертации паспорту специальности. Сформулированные в диссертации цели и задачи, а также полученные основные результаты соответствуют формуле паспорта специальности 25.00.35-«Геоинформатика» и следующим пунктам паспорта специальности: 3. Геоинформационные системы (ГИС) разного назначения, типа (справочные, аналитические, экспертные и др.),

пространственного охвата и тематического содержания; 4. Базы и банки цифровой информации по разным предметным областям, а также системы управления базами данных; 6. Математические методы, математическое, информационное, лингвистическое и программное обеспечение для ГИС.

Апробация результатов исследования. Результаты, полученные в рамках диссертационной работы, докладывались и обсуждались на научных семинарах отдела информационных технологий и математического моделирования ЮНЦ РАН (Ростов-на-Дону, 2006-2011); на 14 научных конференциях, в том числе на 6 международных.

Исследования, представленные в диссертационной работе, поддержаны международными грантами РФФИ (08-06-90401-Укр_а, рук. Бердников С.В.; 09-07-92500-ИК_а, рук. Матишов Г.Г.) и тремя индивидуальными грантами РФФИ (08-01-16033-моб_з_рос, 09-07-16015-моб_з_рос, 10-07-16024-моб_з_рос).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 27 печатных работ, в том числе: 5 статей в реферируемых журналах, входящих в список изданий, рекомендованный ВАК; 3 свидетельства о регистрации программ для ЭВМ в ФГУ ФИПС – РОС-ПАТЕНТ; 8 статей в сборниках научных статей (коллективных монографиях); 10 докладов на Международных и Всероссийских конференциях; 1 атлас.

Объем и структура диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и одного приложения. Общий объем 153 страницы, в том числе 30 иллюстраций, 17 таблиц. Список литературы содержит 215 наименований.

Автор выражает свою искреннюю благодарность председателю ЮНЦ РАН, академику Г.Г.Матишову и директору Института аридных зон ЮНЦ РАН, чл.-корр. РАН Д.Г.Матишову за поддержку и предоставленную возможность проведения исследований; всем сотрудникам отдела информационных технологий и математического моделирования ИАЗ ЮНЦ РАН за внимание и постоянную помощь в работе.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность темы, формулируется основная цель и задачи диссертационного исследования, новизна работы, раскрывается практическая значимость, а также перечисляются положения, выносимые на защиту.

Первая глава посвящена обзору подходов к разработке информационно-аналитических систем, используемых для поддержки принятия решений в сфере природопользования.

В *первом разделе* дано определение информационно-аналитической системы (ИАС), перечисляются основные трудности ее разработки и требования, предъявляемые к реализации ИАС.

Основными трудностями, связанными с используемыми в ИАС данными, являются: неоднородность и ограниченность исходной информации; качество информационных ресурсов; актуализация информационной системы (своевременное обновление баз данных). Другая группа трудностей связана с системой используемых математических моделей, предназначенных для описания

природно-хозяйственного комплекса, а именно их связь и совместное использование. Кроме того, лицо принимающие решения (ЛПР) обычно сталкивается с многокритериальными проблемами, что приводит к изменению характера решаемой задачи (предпочтения ЛПР становятся основой выработки решений) и необходимости использования соответствующих моделей. Для облегчения работы ЛПР необходимо наличие специальных инструментов и средств, представляющих данные в компактном и информативном виде. В последнее время в этом направлении сделан значительный шаг вперед во многом благодаря географическим информационным системам (ГИС).

Во *втором разделе* рассмотрены программные продукты, предназначенные для оценки состояния природно-хозяйственных комплексов, приводятся их сильные и слабые стороны.

Существует большое количество программных приложений, разработанных в области экосистемного моделирования с различными целями, методами реализации и степенью сложности. Большинство из них имеют в своем составе ГИС-компоненту, однако, степень ее использования и интеграции с модельной средой разная: модель написана на одном из внутренних языков промышленного ГИС-пакета; модельная часть является расширением промышленного ГИС-пакета; интерфейс для подготовки входных данных и запуска модели вызывается из ГИС-пакетов, сама модель является отдельным программным модулем; в пользовательский интерфейс системы моделирования включены картографические средства, созданные на базе программных объектов промышленных ГИС-пакетов; самостоятельная реализация необходимого минимума ГИС-функционала в рамках системы моделирования; ГИС-компонента отсутствует в явном виде в системе моделирования.

Основным недостатком большинства рассмотренных систем является отсутствие информационной подсистемы или ее реализация по остаточному принципу. Исключением служат системы, построенные на тесном взаимодействии с промышленными ГИС-пакетами и использующие для работы с данными их возможности. Достоинствами подхода с использованием ГИС-пакета является простота его реализации и возможность использования моделей представленных в виде отдельных программных модулей. Среди недостатков можно выделить отсутствие возможности расширения системы за счет новых моделей и сложности при создании связей между моделями. Несмотря на требование гибкости к инструментам и моделям, многие системы представляют собой монолитные программы, не предусматривающие расширение, что ограничивает возможность их использования при изменении спектра решаемых задач.

Следует отметить, что, несмотря на остроту проблем рационального природопользования для бассейна Нижнего Дона, практически существует только одна система для этого региона, разработанная в СевКавНИИВХ, однако она в основном ориентирована на оперативное управление.

В *третьем разделе* на основе анализа существующих разработок предложена концептуальная схема архитектуры ГИС-ориентированной ИАС, описанной в терминах архитектурных слоев, позволяющая одновременно получить

представление о содержательной составляющей архитектуры и процессе реализации ИАС.

В составе ГИС-ориентированной ИАС было выделено три основных слоя: *представление*, *логика предметной области* и *источник данных* (рис. 1). Слой *представления* охватывает все, что имеет отношение к взаимодействию пользователя с системой. К главным функциям слоя представления относятся отображение информации и интерпретация вводимых пользователем команд с преобразованием их в соответствующие операции в контексте логики предметной области и источника данных. Под слоем *источник данных* в общем случае понимается подмножество функций, обеспечивающих взаимодействие со сторонними системами и файловыми массивами. Для большинства программных приложений основная часть логики источника данных сосредоточена в СУБД. *Логика предметной области* описывает основные функции приложения, предназначенные для решения поставленных перед ИАС задач. Это уровень реализации аналитических функций, кроме того к нему относятся функции проверки и трансформации данных, обработка команд, поступающих от слоя представления, а также передача информации слою источника данных.

Использование представленной схемы к проектированию ГИС-ориентированной ИАС позволяет производить независимую разработку составляющих и поэтапную модернизацию системы без нарушения ее функционирования.

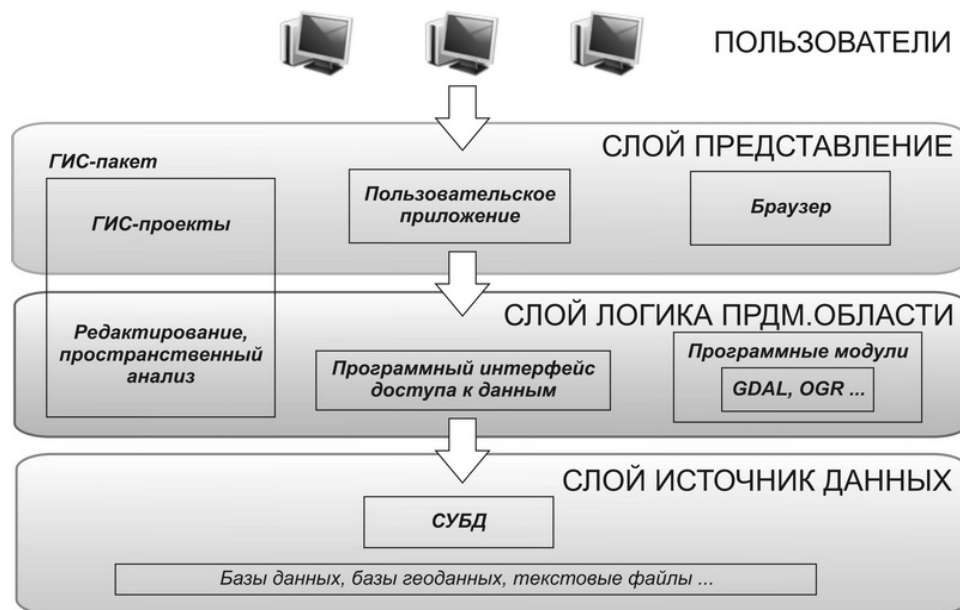


Рис.1 Обобщенная архитектура ГИС-ориентированной ИАС

Разработанная архитектура ГИС взята за основу построения системы для оценки и моделирования природно-хозяйственного комплекса.

Во **второй главе** предложена архитектура информационной подсистемы для поддержки оценки и моделирования состояния водохозяйственного комплекса, а также представлен банк данных, разработанный для бассейна Нижнего Дона и Азовского моря.

Исследования экологического состояния природно-хозяйственных комплексов требуют для решений одной задачи использования многих типов

данных (гидрологических, метеорологических и т.п.). Отличительной чертой бассейна Нижнего Дона является то, что нет одной доминирующей экономической отрасли, а присутствует широкий спектр видов водо- и землепользования, поэтому при оценке экологического состояния должны учитываться экономические показатели. Задачи управления водными ресурсами Нижнего Дона следует рассматривать в контексте системы «водосбор-река-водоём», поскольку результат антропогенной деятельности на территории водосбора является одним из определяющих факторов функционирования Таганрогского залива Азовского моря. В результате анализа предметной области были выделены и сформированы следующие базы данных (БД) (рис. 2).



Рис. 2 Организация информационной подсистемы

Метеорологическая БД предназначена для хранения результатов измерений, произведенных на метеорологических станциях, расположенных на территории исследуемого региона. Структура базы данных реализована таким образом, что позволяет хранить как результаты конкретных измерений, произведенных в определенное время, так и обобщенные значения метеопараметров: среднесуточные, среднемесячные. Пополнение базы данных новой информацией производится регулярно (раз в месяц). Основными источниками данных являются открытые интернет источники.

Гидрологическая БД содержит данные по стоку и уровню рек измеренных на постах сети Росгидромет, расположенных на территории региона. В базе данных также представлена информация по основным водным объектам региона и их гидрологическим характеристикам.

Гидрохимическая БД содержит результаты анализа проб, отобранных на речных постах сети Росгидромет, расположенных на территории региона, на наличие загрязняющих веществ. В состав базы данных входит информация о постах наблюдения, об исследуемых загрязняющих веществах (ПДК) и концентрации содержания различных веществ в речной воде.

Социально-экономическая БД содержит информацию об экономических и социальных показателях региона. Формирование базы данных проводилось в разрезе муниципальных образований (городов и районов) субъектов РФ. Структура БД позволяет хранить информацию, связанную с происходящими в течение времени структурные изменения в административно-территориальном

делении субъектов РФ. Социально-экономическая БД ежегодно пополняется на основе данных статистических сборников и бюллетеней.

БД водопользования содержит информацию о структуре и работе водохозяйственного комплекса (ВХК). В состав базы данных входят следующие данные: информация об объемах забора и использовании свежей воды; объемы сбросов сточных вод; уровень очистки вод; оборотное водоснабжение; потребность в водных ресурсах по секторам экономики. Основным источником информации являются данные отчетности в форме № 2-ТП (водхоз).

В океанографической БД представлена информация о биотических и абиотических характеристиках водоема. В базе данных предусмотрено хранение измерений следующих типов: метеорологические, гидрологические, гидрохимические измерения, измерения характеристик бактерио-, фито-, зоо- и ихтиопланктона, фито- и зообентоса. Кроме непосредственно измерений в базе данных содержится подробная информация о методах и инструментах исследований, и об условиях проведения экспедиции в целом и конкретных измерений на станциях в частности. Океанографическая база данных ежегодно пополняется новыми данными. Основным источником новой информации являются данные экспедиционных исследований. Другими источниками выступают печатные источники с историческими данными.

Во *втором разделе* рассмотрена структура и принципы организации информационной подсистемы для экосистемных исследований.

Информационная подсистема наилучшим образом может быть реализована в виде банка данных. Банк данных – это совокупность баз данных, СУБД, а также других программных средств, предназначенных для централизованного накопления и коллективного использования данных. Недостаточность использования в качестве информационной составляющей просто набора баз данных обусловлена комплексностью представления природно-хозяйственного комплекса, большим объемом используемых данных и требованиями к обеспечению качества данных.

Основой банка данных экосистемных исследований являются специализированные БД. Специализированные БД содержат информацию определенной тематики, что позволяет использовать их как совместно с другими базами данных в составе единой информационной системы, так и по отдельности в различных исследованиях.

Для решения задачи объединения информации, описывающей различные процессы, в единую структуру при проектировании банка данных использовалась концепция хранилища данных (ХД), интегрирующего информацию из специализированных баз данных. ХД имеет архитектуру типа «снежинка» и состоит из таблицы фактов и набора таблиц измерений. Таблица фактов содержит уникальный составной ключ, объединяющий первичные ключи таблиц измерений и собственно значение некоторого показателя природно-хозяйственного комплекса. Для характеристики показателей были выделены следующие измерения: величина, время, пространство, источник данных, качество данных. Измерение «величина» содержит название показателя, единицу измерения и группу, к которой относится показатель (метеорология, гидрология и т.д.).

Измерение «время» содержит значение дата/время и признак степени детализации этого значения. Измерение «пространство» содержит информацию о пространственном объекте, к которому относится показатель. В измерении «источник данных» указывается источник информации с указанием степени обработки информации (первичные данные, агрегированные, интерполированные и т.д.). Измерение «качество данных» указывает на флаг качества значения показателя.

Отличительной чертой банка данных является расширение его состава для поддержки конкретных исследований путем добавления БД проекта, копирующего структуру ХД с добавлением измерения, описывающего вычислительный эксперимент. В БД проекта также представлена информация об используемых моделях, их параметрах и входных данных.

Для обеспечения работы с информационными ресурсами был разработан целый ряд программных компонент, включенных в состав банка данных: средства работы со специализированными БД и ХД; модуль импорта/экспорта данных; модуль контроля качества; средства обработки данных, в том числе для работы с пространственными данными; модуль управления.

В *третьем разделе* описана действующая в рамках банка данных подсистема контроля качества.

Высокая степень неопределенности предметной области не позволяет полностью автоматизировать процесс контроля качества данных. В связи с этим процедура контроля качества представлена в виде итеративного процесса, каждая итерация которого состоит из двух этапов: автоматизированный этап объективного контроля качества данных; этап субъективного анализа, выполняемый с участием одного или нескольких специалистов. Для выполнения визуального контроля пространственного расположения и изменчивости все данные наносятся в ГИС на карту.

Все процедуры системы контроля качества можно разделить на две группы: базовые, которые можно применять к любым базам данных (удовлетворение граничным условиям, построение пространственного распределения и т.д.), и процедуры, формируемые в рамках предметной области соответствующей базы данных. Также выделена целая группа проверок, основанных на сравнении методик определения параметров среды. Этот подход позволяет привести все данные за инструментальный период наблюдений к единому виду для дальнейшего анализа и избежать неверных выводов о глобальных изменениях, связанных только со сменой методики расчета.

В случае нескольких источников данных для одной БД возникают проблемы с дублированием информации, для этого предусмотрены соответствующие оригинальные алгоритмы поиска дубликатов.

В отличие от классического варианта реализации ХД, где основная проверка данных операционных БД осуществляется в процессе переноса данных в хранилище, контроль качества производится на уровне специализированных БД, что позволяет рассматривать их как самостоятельные компоненты.

Интеграция информации из специализированных БД в ХД позволяет проводить дополнительные проверки данных с использованием, так называемых,

«семантических» правил, основанных на существовании зависимостей между двумя и более независимыми показателями.

В состав банка данных включена БД контроля качества, содержащая параметры процедур контроля, информацию о величинах диапазонов изменения характеристик состояния природной среды и т.д.

В третьей главе представлена система моделей для природно-хозяйственной системы «водосбор-река-водоём», рассмотрена структура системы моделирования и описана ГИС для решения задач стратегического планирования на базе сценарного подхода.

Междисциплинарность решаемых задач определяет необходимость сочетания различных математических методов и моделей. Система моделей формируется в соответствии с ключевыми секторами рассматриваемого природно-хозяйственного комплекса и схемой их взаимодействия: модель формирования жидкого, твердого и химического стока с водосбора; модель трансформации и переноса вещества в русловой сети; модель кислородного режима в замыкающем водоёме; модель формирования антропогенного давления. Входными переменными указанных моделей являются экзогенные гидрометеорологические факторы, а также управляющие (сценарные) воздействия. Выбор конкретных реализаций указанных типов моделей осуществлялся исходя из стратегического характера решаемых задач и уровня обеспеченности данными.

Водный баланс элементарного водосбора определяется изменением влагозапаса dW за интервал времени dt , вызванного, главным образом, поступлениями атмосферных осадков $P(t)$, потерями в результате испарения $E_1(t)$ и транспирации $E_2(t)$, а также инфильтрацией в нижележащие горизонты $I(t)$ и поверхностным и подповерхностным стоком $Q^S(t)$. Для отдельного частного водосбора уравнение динамического баланса имеет вид:

$$\frac{dW}{dt} = P(t) - E_1(t) - E_2(t) - Q^S(t) - I(t) + R(t), \quad (1)$$

где $R(t)$ - объём орошения.

Для моделирования эрозии почвы была использована математическая модель (Бердников и др., 2002), аналогичная USLE с некоторыми модификациями. Для расчёта выноса азота и фосфора с территории водосбора была использована простая эмпирическая модель (Mander et al., 2000), определяющий величину выноса с водосбора на основе его среднего значения с учетом факторов, характеризующих тип землепользования, тип почв, величину внесения удобрений и величину стока.

Для описания течения воды в открытых руслах используем одномерную математическую модель, основанную на законах сохранения импульса и массы жидкости:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(UQ) + g \cdot A \cdot \frac{\partial \eta}{\partial x} = S_f, \quad (2)$$

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q - c \quad (3)$$

$$\eta = h + b, S_f = -g \frac{n^2 Q |Q|}{R^{4/3} A},$$

где $Q(t, x)$ - расход воды, L^3/T ; $U(t, x)$ - скорость потока, L^2/T ; g - ускорение свободного падения, L/T^2 ; $A(t, x)$ - площадь «живого» сечения водотока, L^2 ; $\eta(t, x)$ - возвышение свободной водной поверхности потока, L ; $h(t, x)$ - глубина, L ; $b(x)$ - отметка дна реки, L ; $R(x)$ - гидравлический радиус, M ; $n(x)$ - коэффициент шероховатости русла (по Маннингу), $T/L^{1/3}$; $q(t, x)$ - сальдированная боковая приточность (с учётом сброса сточных, шахтных и дренажно-коллекторных вод), а также подземное питание, L^2/T ; $c(t, x)$ - забор воды для использования, L^2/T ; x - координата поперечного сечения по направлению течения, L ; t - время, T .

При изучении распространения вещества по течению реки дополнительно решается уравнение адвекции-диффузии:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(UC) + k \cdot C = \frac{\partial}{\partial x}(D \frac{\partial C}{\partial x}) + F_{lat} + F_{dump}, \quad (4)$$

где $C(t, x)$ - концентрация вещества, M/L^3 ; k - коэффициент распада, $1/T$, D - коэффициент диффузии, L^2/T , $F_{lat}(t, x)$ - боковой приток веществ с водосбора, $M/T \cdot L^3$; $F_{dump}(t, x)$ - поступление веществ вместе со сбросом сточных вод, $M/T \cdot L^3$.

Модели внешних нагрузок состоят из таких элементов как факторы нагрузки на природную систему, отражающие динамику отдельных секторов экономики, наиболее тесно связанных с использованием природных ресурсов, варианты изменения объёмов изъятия воды, сброса загрязняющих веществ и др. При моделировании внешних нагрузок задаются случайные процессы, например, темпы роста объёмов производства или использования соответствующего ресурса. Задача распределения водных ресурсов по потребителям является многокритериальной, поскольку каждый водопользователь предъявляет свои требования к объёму и качеству водных ресурсов. В условиях дефицита воды возникает неопределенность в распределении имеющейся воды между водопользователями. Для разрешения подобных конфликтов используются два алгоритма, основанные на определении весов и приоритетов отдельных водопользователей соответственно. В обоих случаях решается задача целевого программирования в соответствующей формулировке.

Для получения количественной оценки содержания кислорода в Таганрогском заливе была использована идея разделения процессов, протекающих в водоёме, по их скорости (Селютин, 1994). Таким образом, круговорот органического вещества (ОВ) был разделен на «медленный» круговорот, характерным временем которого является период внешнего водообмена и скорость минерализации стойких фракций ОВ, и «быстрый» первичный круговорот. Для описания «медленного» круговорота использовалась компартментальная модель Азовского моря, в которой водоем представляется в виде системы районов (компаратментов) и балансовых уравнений водного, солевого и теплового обмена (Бердников, 2004). Для получения пространственной динамики кислорода использовалась цифровая модель рельефа (ЦМР) дна водоема. Для каждой ячейки ЦМР запускалась одномерная модель, описывающая

сезонный ход и вертикальное распределение кислорода в горизонтально-однородном районе акватории:

$$\frac{\partial q}{\partial t} = \nabla(D\nabla q) + F(q, p), 0 < z < H; \frac{dB}{dt} = G(B, p), z = H; \quad (5)$$

где $q(z, t)$ – вектор состояния, содержащий концентрацию кислорода и концентрацию лабильного органического вещества, мгО₂/л, $p(z, t)$ – первичная продукция, мг/л; D – коэффициент вертикальной диффузии; $B(t)$ – количество лабильного органического вещества на единицу площади донных отложений, гО₂/м²; H – глубина, м.

В качестве представителя класса моделей принятия решений выбран метод анализа иерархий, разработанный Т.Саати (Саати, 1993). Он позволяет сравнивать сценарии (альтернативные политики природопользования) на основе субъективных (экспертных) оценок. Этот метод позволяет учесть недостаточно прояснённые или формализованные аспекты сценариев, а также увеличить степень вовлечённости природопользователей в процесс выработки наилучшей стратегии управления водосборными территориями.

Во *втором разделе* представлена структура системы моделирования и ее реализация. В основе разработки системы моделирования лежит компонентный подход. Каждая модель, входящая в состав системы моделей, выступает как отдельная компонента, имеющая стандартизованный интерфейс, определяющий доступ к наборам входных и выходных переменных и механизм запуска модели. Переменная в контексте системы моделирования представляет собой некоторый тип информации, описывающей часть моделируемого объекта (системы), и, характеризующейся величиной и пространственно-временным распределением. Множество переменных всех моделей образует единое пространство переменных.

Отличием разработанной системы от других является способ связи моделей. Связь моделей в явном виде отсутствует, вместо этого осуществляется связывание переменных в пространстве переменных. Когда модель обращается к входным переменным, их значения могут или извлечены из заранее заданного массива, или быть рассчитаны на основе значений выходной переменной другой модели. Пространственное и временное взаимодействие моделей реализуется путем определения пространственного и временного преобразований при пересчете значений одной переменной в значения другой. Тот факт, что «входы» и «выходы» моделей не связаны между собой в явном виде, облегчает процесс создания и модификации интегрированной модели, поскольку вне зависимости от внутренней структуры моделей их связь производится единообразно, и не требует создания и модификации отдельных процедур преобразования «вход-выход» для каждой пары моделей. Кроме того, этот подход решает проблему обратных связей между моделями, поскольку любая модель в начале каждого временного шага расчета имеет актуальные значения всех своих входных переменных из глобального пространства переменных.

В качестве моделей-компонент могут выступать как программные компоненты, реализующие разработанный интерфейс, так и модели, представленные в виде уже созданных ранее программных модулей. Для работы с ними используется «обёртка», которая реализует интерфейс модели-компоненты,

но не содержит логики математической модели, а осуществляет вызовы соответствующих методов «внешнего» модуля.

Программная реализация системы моделирования представляет собой набор библиотек, созданных в рамках объектно-ориентированного подхода на платформе .NET и языке программирования C#. Реализация доступа к компонентам на основе архитектуры «клиент-сервер» позволяет производить громоздкие вычислительные расчёты на «сервере», а визуализацию полученных оценок и их анализ на «клиенте». На «сервере» работает служба, предоставляющая сведения о доступных компонентах разных типов и позволяющая производить расширение функциональности системы путем интерактивного добавления новых компонент, реализованных в виде отдельных программных модулей.

В *третьем разделе* представлена ГИС для решения задач стратегического планирования на базе сценарного подхода.

В основу методологии оценки природно-хозяйственных комплексов был положен системный подход, опирающийся на многокритериальные методы принятия решений, представление о "полезности" предлагаемых решений, а также сценарные методы учёта факторов неопределённости. Задача принятия решения формулируется следующим образом. Пусть $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ – множество возможных вариантов решений и

$$s_{ik} = g(x_i, a_k), i=1..n, k=1..r, \\ y_{ik} = f(s_{ik}) = (f_1(s_{ik}), f_2(s_{ik}), \dots, f_m(s_{ik})), z_i = \varphi(y_{i1}, y_{i2}, \dots, y_{ir}), \quad (6)$$

где g – генератор сценариев (альтернатив); s_{ik} – сценарии; $a \in A$ – неконтролируемые экзогенные факторы; $f: X \rightarrow R^m$ – векторный критерий предпочтительности альтернатив; $\varphi: R^m \rightarrow R$ – решающее правило, позволяющее получить оценки, ранжирующие альтернативы по предпочтительности; r – количество случайных реализаций параметров a .

Под сценарием будем понимать набор пространственно-временных сценарных переменных, представляющих собой факторы, действующие в природно-хозяйственных комплексах. Учитывая разнообразие существующих многокритериальных методов, была разработана схема работы со сценариями на основе генератора g , который содержит два правила: создания нового сценария и прекращения создания сценариев. Подобным механизмом позволяет реализовать как человеко-машинные процедуры поиска решения, так и автоматизированное создание большого числа альтернатив.

Векторный критерий f является моделью системы, на основе которой проводятся вычислительные эксперименты. В качестве решающих правил φ могут быть реализованы как методы свёртки критериев, так и целевое программирование, метод анализа огибающих, методы работы на множестве Парето и др.

Следует отметить, что предложенная схема организации системы позволяет комбинировать при решении задач динамические экологические модели с моделями субъективного характера.

Геоинформационная система для решения задач стратегического планирования объединяет в себе банк данных, пользовательское приложение конструирования и сравнительной оценки сценариев (рис. 3) и проект для визуализации в ГИС-пакете. На основе информации из банка данных в пользовательском приложении производится построение модели системы и формирование генератора сценариев. После чего, результаты вычислительных экспериментов визуализируются в ГИС-пакете.

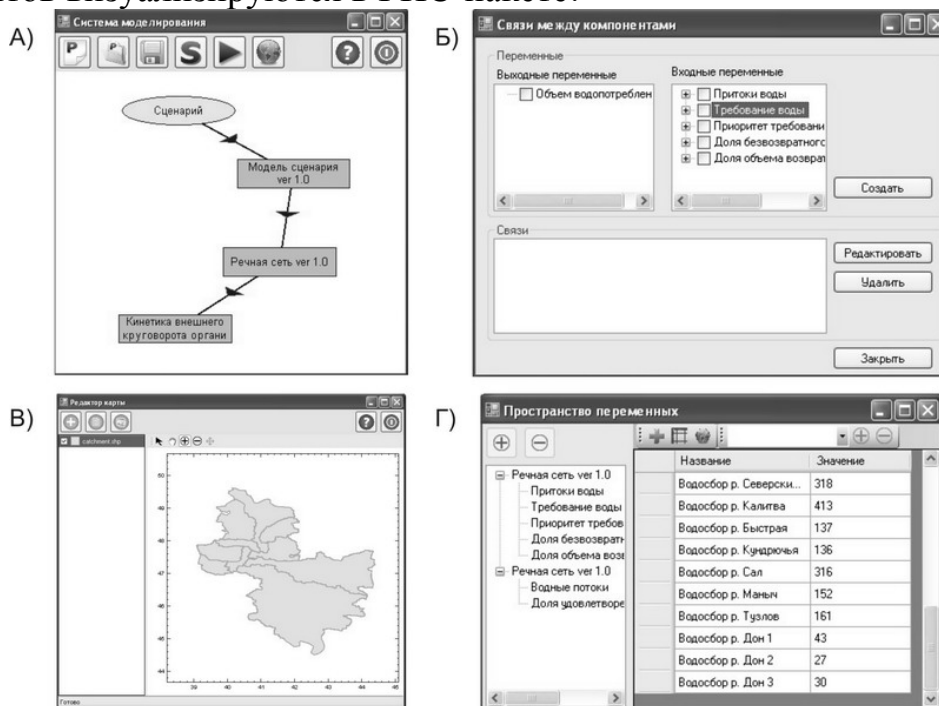


Рис. 3 Окна пользовательского интерфейса - А) построения системы моделей; Б) определения связей между моделями; В) редактирования пространственного представления; Г) определения источников значений переменных

В четвертой главе представлены результаты апробации разработок для бассейна Нижнего Дона и Азовского моря.

В первом разделе представлены оценка состояния и использования водных ресурсов в бассейне Нижнего Дона, и сравнительный анализ сценариев водопользования с учётом социально-экономических тенденций.

На основе сформированных баз данных была проведена комплексная оценка состояния, особенностей формирования и использования водных ресурсов в бассейне Нижнего Дона. На основе анализа социально-экономического положения Ростовской области, тенденций динамики основных индикаторов, а также существующих перспективных планов и концепций экономического развития, были разработаны сценарии водопользования на период до 2015 г. Оценка сценариев производилась двумя способами: на основе субъективных (экспертных) оценок с использованием модифицированного метода анализа иерархий и с использованием техники сценарного моделирования и последующей статистической обработкой результатов.

В качестве наиболее предпочтительного сценария практически при полном согласии экспертов указан сценарий развития (А), являющийся, по сути,

сценарием устойчивого развития. Экономический рост, согласно этому сценарию, должен обеспечивать стабилизацию объёма забора свежей воды, сокращение уровня безвозвратного потребления вод и прекращение сброса неочищенных сточных вод. Наименее предпочтительными, по мнению опрошенных специалистов, являются трансформационный (E) и конкурентный (B) сценарии. Отрицательное отношение к этим сценариям объясняется недоверием экспертов к эффективности рыночного механизма регулирования водо- и землепользования. Наиболее вероятным назван консервативный сценарий (F). Вариант развития ситуации по сценарию (F) можно считать умеренно-пессимистическим, так как ситуация стабилизируется не на самом лучшем уровне по объёмам сбросов, а основным методом регулирования является административный.

Техника сценарного моделирования проиллюстрирована на примере двух наиболее контрастных сценариев – А и F. Сценарии представляют собой случайные процессы роста объёмов производства, использования водных ресурсов и сброса сточных вод, детализированные по видам экономической деятельности. Рассматривалось два варианта каждого сценария – основные A_0 и F_0 , основанные на существующих технологиях, и сценарии A_1 и F_1 , учитывающие технологический прогресс и экологические инновации, выраженные в уменьшении объёмов потерь воды и увеличении степени очистки сточных вод.

Для каждого из рассматриваемых сценариев было выполнено достаточное количество модельных расчетов (более 100), чтобы для каждого расчётного створа построить функции распределения расходов воды и концентраций приоритетных веществ.

Табл. 1. Вероятности, %, уменьшения стока в Таганрогский залив ниже критического значения и превышения нормативного качества поверхностных вод

Показатель	Критические значения, нормативы	Сценарий			
		A_0	A_1	F_0	F_1
Сток в Таганрогский залив, км ³ /год	20	36.8	31.0	36.7	26.4
	25	47.1	41.7	46.3	37.1
Сухой остаток, мг/л	500	98.9	91.4	96.5	92.8
	700	58.7	48.0	62.5	49.0
Хлориды, мг/л	200	1.4	0.0	0.5	0.5
Сульфаты, мг/л	150	56.0	46.8	61.8	52.1
БПК ₅ , мг/л	3	65.4	64.8	71.9	65.9
Фосфор общий, мг/л	0.2	17.3	16.5	20.0	20.3
Азот минеральный, мг/л	1.5	13.8	12.6	31.5	21.2
	2	7.4	8.3	7.5	11.0

Подход, основанный на сравнении функций распределения, позволяет получить количественную оценку сценариев развития водохозяйственной системы Нижнего Дона (табл. 1). В частности, с ростом водопотребления увеличивается вероятность критических для экосистемы Азовского моря объёмов стока (20 - 25 км³/год и менее), однако за счет технологических и инновационных мероприятий он может быть снижен для стока 20 км³/год с 37% до 31-26%.

Во *втором разделе* представлены результаты использования разработанной ГИС для задачи оценки возможности применения глобальной модели динамики растительности SEVER DGVM к условиям степной зоны Ростовской области.

Модель SEVER реализована на Фортране и была использована как внешний программный модуль. Основной принцип работы модели SEVER DGVM заключается в следующем. На вход модели подаются пространственно-временные климатические сценарии и карта почв. В ходе одного пространственного и временного шага в модели одновременно оцениваются взаимосвязанные элементы углеродного и водного циклов, потоки и исход соревнования различных типов растительности. На выходе модели получаем: распределение растительности, а также динамику углеродных и водных потоков и запасов.

Были сформированы два климатических сценария: массив значений среднесуточной температуры, суммарных суточных осадков, радиации и атмосферной концентрации CO₂ из базы данных NCEP (National Centre of Environmental Predictions of NOAA, USA), полученные на основе re-анализа; адаптация сценария NCEP с использованием данных Гидрометслужбы РФ. Адаптационный сценарий формировался следующим образом. Для каждой узла расчетной сетки были рассчитаны среднемноголетняя норма и отклонения для каждой даты по данным NCEP и данным метеостанций. После этого значения в узлах регулярной сетки были пересчитаны как сумма отклонения в узле данных NCEP и нормы ближайшей метеостанции.

Результаты расчетов по обоим сценариям были сопоставлены с данными наблюдений. Качественная динамика биомассы растительности семиаридной зоны, а именно: два фенологического пика весной и осенью и уменьшение биомассы летом хорошо воспроизводятся моделью. Сравнение расчетных значений водного стока и фактических значений стока малых рек водосбора Нижнего Дона показало, что относительная ошибка моделированного месячного стока не превышает 30%. В тоже время модифицированный климатический сценарий не позволил существенным образом улучшить количественную сопоставимость расчетных и натуральных данных снегозапасов и водного стока.

Был сделан вывод, что, используя уточненный климатический сценарий для расчетов модели SEVER, можно получить удовлетворительную качественную картину динамики растительности и углеродных запасов. Но для увеличения точности количественных оценок потоков и запасов углерода необходима доработка отдельных модулей SEVER: корректировка параметров модели связанных с процессами таяния снега и параметров, определяющих водоотдачу: поверхностный, подповерхностный сток.

В *третьем разделе* представлен пример использования ГИС для задач анализа динамики экосистемы Азовского моря.

С использованием разработанных в рамках банка данных инструментов решались задачи пространственного анализа полей распределения различных характеристик морской среды: температуры, солености, прозрачности и т.д. В частности для температуры были проведены сравнения среднемноголетних полей распределения опубликованных в гидрометеорологических справочниках и построенных по данным, хранящимся в информационной подсистеме. Тенденции,

выявленные при сравнении карт: в распределении изотерм на картах от 1962 к 2008 году прослеживается увеличение площади «теплых» полей для зимнего и весеннего сезонов и увеличение «холодных» - для осеннего. Для лета выраженная тенденция не прослеживается. Эта же закономерность сохраняется и при сравнении кривых годового хода температуры воды.

Картографический материал по инвентаризации океанографической БД, среднемноголетним распределениям температуры и солёности воды, созданный в рамках ИАС, был использован при формировании Климатического атласа Азовского моря 2008.

Основные результаты и выводы

В результате проведённых исследований была разработана ГИС, предназначенная для решения задач стратегического планирования на базе сценарного подхода.

В процессе исследования получены следующие результаты:

1. В результате проведенного анализа существующих программных систем предложена концептуальная схема ГИС-ориентированной ИАС в терминах архитектурных слоев, позволяющая производить независимую разработку составляющих ИАС и ее поэтапную модернизацию без нарушения функционирования.

2. Создан банк данных, основывающийся на концепции хранилища данных, объединяющий подсистемы разного пространственного, временного и функционального характера в единую структуру и содержащий ряд независимых специализированных БД и набор программных средств. На отдельные части банка данных получены свидетельства ФГУ ФИПС – РОСПАТЕНТ об официальной регистрации программ для ЭВМ.

3. В рамках банка данных разработана процедура контроля качества, представляющая собой итеративный двухэтапный процесс, осуществляющая проверку данных на уровне специализированных БД и содержащая оригинальные алгоритмы проверки информации и поиска дубликатов.

4. На основе компонентного подхода разработано алгоритмическое обеспечение для системы моделирования, обеспечивающей совместную работу моделей разных пространственно-временных масштабов. В рамках системы моделирования разработан ряд моделей, описывающих отдельные процессы в системе «водосбор-река-водоём», ориентированных на мезомасштаб; выполнена их численная и программная реализация.

5. Разработана ГИС стратегического планирования развития водохозяйственного комплекса, базирующаяся на многокритериальных методах принятия решений и сценарном подходе учета неопределенности, и программное приложение для построения и сравнения сценариев. Архитектура программного приложения обеспечивает возможность наращивания его функциональности благодаря использованию унифицированных интерфейсов.

6. Проведена апробация разработанной ГИС для бассейна Нижнего Дона и Азовского моря, в частности были выполнены: комплексная оценка состояния, формирования и использования водных ресурсов в Ростовской области и бассейне Нижнего Дона с учётом социально-экономических тенденций; алгоритмизация и

программная реализация процедуры выявления приоритетов политики водопользования с учётом субъективных мнений, основанной на методе анализа иерархий; сравнительный анализ двух наиболее контрастных сценариев развития для водохозяйственной системы Нижнего Дона; анализ динамики пространственных полей распределения в Азовском море; подготовка картографических материалов для Климатического атласа Азовского моря 2008.

Список публикаций автора по теме диссертации

Издания, рекомендованные ВАК РФ для публикации материалов кандидатских диссертаций

1. Селютин В.В., Бердников С.В., Кулыгин В.В. Сравнительный анализ сценариев водопользования на примере водохозяйственной системы Нижнего Дона // Вод. ресурсы. М.: «Наука», 2009. Т. 36. № 2. С. 240-252.

2. Архипова О.Е., Бирюков П.А., Кулыгин В.В., Сладкова Ю.М. Информационная система оценки экологической изученности в районах освоения морских газовых месторождений на основе ГИС-технологий // Геоинформатика / Geoinformatika, №2, 2009. С. 26 - 31.

3. Дашкевич Л.В., Кулыгин В.В. Сравнительный анализ среднемноголетнего распределения температуры воды Азовского моря по сезонам // Вестник ЮНЦ. М.: «Наука», 2008. Т. 4. № 3. С. 64 – 72.

4. Матишов Г.Г., Матишов Д.Г., Моисеев Д.В., Кулыгин В.В. Учет специфики термохалинных градиентов при СТД-профилировании моря // Вестник ЮНЦ. М.: «Наука», 2008. Т. 4. № 2. С. 34 – 46.

5. Чепелев О.А., Сорокина В.В., Дегтярь А.В., Соловьев В.И., Кулыгин В.В., Землякова А.В., Нарожняя А.Г., Кузьменко Я.В. Моделирование расчетов поверхностного стока и динамики растительности с помощью программы SEVER-DGVM (на примере Белгородской и Ростовской областей) // Экологические системы и приборы. М.: «Научтехлитиздат», 2010. № 7. С. 38-43.

Сборники научных статей

6. Селютин В.В., Бердников С.В., Кулыгин В.В. Интегративный подход к анализу, моделированию и управлению водными ресурсами Нижнего Дона // Современные проблемы аридных и семиаридных экосистем юга России: Сборник научных статей. Ростов-на-Дону: Изд-во ЮНЦ РАН, 2006. С 50-89.

7. Кулыгин В.В. Моделирование сценариев развития эколого-экономических систем (на примере Нижнего Дона) // Интегрированное управление ресурсами и безопасностью в бассейне Азовского моря: Монография – Одесса: ИПРЭЭ НАН Украины, 2010. – с. 96 – 111.

8. Кулыгин В.В. Методологические и методические основы формирования систем поддержки принятия решений (СППР) // Интегрированное управление ресурсами и безопасностью в бассейне Азовского моря: Монография – Одесса: ИПРЭЭ НАН Украины, 2010. – с. 550 – 575.

9. Кулыгин В.В. Метеорологические базы данных // Интегрированное управление ресурсами и безопасностью в бассейне Азовского моря: Монография – Одесса: ИПРЭЭ НАН Украины, 2010. – с. 581 – 585.

10. Архипова О.Е., Кулыгин В.В., Сладкова Ю.М. ГИС «Азовское море» // Интегрированное управление ресурсами и безопасностью в бассейне Азовского моря: Монография – Одесса: ИПРЭЭ НАН Украины, 2010. – с. 602 – 608.

11. Архипова О.Е., Бердников С.В., Дашкевич Л.В., Дженюк С.Л., Кулыгин В.В. Новые информационные технологии в задачах экосистемного мониторинга Азовского моря // Экосистемные исследования Азовского, Черного, Каспийского морей и их побережий. Т. IX. – Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2007. С. 14 – 22.

12. Матишов Г.Г., Матишов Д.Г., Гаргопа Ю.М., Дашкевич Л.В., Бердников С.В., Кулыгин В.В., Архипова О.Е. Методология и опыт разработки климатических атласов // Труды Южного научного центра Российской академии наук. Том 4: Моделирование и анализ гидрологических процессов в Азовском море. – Ростов-на-Дону: Изд-во ЮНЦ РАН, 2009. С. 21 - 48.

13. Архипова О.Е., Бердников С.В., Дашкевич Л.В., Кулыгин В.В., Сладкова Ю.М. Новые информационные технологии при обработке данных // Труды Южного научного центра Российской академии наук. Том 4: Моделирование и анализ гидрологических процессов в Азовском море. – Ростов-на-Дону: Изд-во ЮНЦ РАН, 2009. С. 49 - 60.

14. Matishov G., Matishov D., Gargopa Yu., Dashkevich L., Berdnikov S., Kulygin V., Archipova O., Chikin A., Shabas I., Baranova O., Smolyar I. Climatic Atlas of the Sea of Azov 2008. Matishov G., Levitus S., Eds., NOAA Atlas NESDIS 65, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C., 148 pp., 2008, DVD-ROM.

Материалы международных и всероссийских конференций

15. Кулыгин В.В. Объектно-ориентированный подход в системах управления водосборами // Экология. Экономика. Информатика. XXXIV школа-семинар «Математическое моделирование в проблемах рационального природопользования» (11 – 16 сентября 2006 г.). Ростов-на-Дону: Изд-во СКНЦ ВШ, 2006. С. 144 – 146.

16. Кулыгин В.В. Использование ГИС для систем поддержки принятия решений // Третья ежегодная научная конференция студентов и аспирантов базовых кафедр Южного научного центра РАН (5 – 24 апреля 2007 г.). Ростов-на-Дону: Изд-во ЮНЦ РАН, 2007. С. 316 – 317.

17. Кулыгин В.В. Набор инструментов для проведения модельных исследований морских экосистем в ГИС // Большие морские экосистемы в эпоху глобальных изменений (климат, ресурсы, управление): материалы международной научной конференции (г. Ростов-на-Дону, 10-13 октября 2007 г.). Ростов н/Д: Изд-во ЮНЦ РАН, 2007. С. 81-83.

18. Кулыгин В.В. Современные подходы создания интегрированных модельных систем для поддержки принятия решений в области рационального природопользования // Материалы XXVII конференции молодых ученых Мурманского морского биологического института (г. Мурманск, май 2009). - Мурманск: ММБИ КНЦ РАН, 2009. С. 110-114.

19. Berdnikov S., Selyutin V., Kulygin V. Integrated approach for analysis and management of water resources in the Lower Don river basin. 6-th European Congress on Regional Geoscientific Cartography and Information Systems. Earth and Man EUREGEO (Munich, June 9 – 12, 2009) Proceedings Volume II pp. 176 -178.

20. Кулыгин В.В., Сорокина В.В. Структура программного комплекса оценки сценариев развития эколого-экономических систем // ИнтерКарто/ИнтерГИС-16. устойчивое развитие территорий: теория ГИС и практический опыт: Материалы Международной научной конференции (Ростов-на-Дону (Россия), Зальцбург (Австрия), 3-4 июля 2010 г.). – Ростов н/д: Изд-во ЮНЦ РАН, 2010. С. 537 – 543.

21. Кулыгин В.В. Использование ГИС при моделировании эколого-экономической системы «водосбор-водоём» (на примере бассейна Нижнего Дона и Азовского моря) // III конференция «Геоинформационные технологии и космический мониторинг» (8 – 10 сентября 2010 г.). Ростов-на-Дону: Изд-во СКНЦ ВШ, 2010. С. 64 – 66.

22. Бердников С.В., Кулыгин В.В., Селютин В.В. Программный комплекс для принятия стратегических решений при управлении водными ресурсами // Проблемы безопасности в водохозяйственном комплексе России. Краснодар: ООО «Авангард плюс», 2010. С. 305 - 313.

23. Matishov, G., Dashkevich, L. and Kulygin, V. Quality control of oceanographic data with the Sea of Azov database being exemplified // International Marine Data and Information Systems Conference IMDIS 2010, 29-31 March 2010, Paris, France: Book of abstracts. Ifremer: Plouzane. pp. 13-14.

24. Кулыгин В.В. Модель переноса и трансформации вещества в речной сети // Экология. Экономика. Информатика. XXXIX конференция «Математическое моделирование в проблемах рационального природопользования» (5 – 10 сентября 2011 г.). Ростов-на-Дону: Изд-во Южного федерального университета, 2011. С. 56-61.

Свидетельства о регистрации программы в ФГУ ФИПС

25. Бердников С.В. Программный комплекс для работы с базой данных экосистемных исследований «ECOSREDA» [Текст] / С.В. Бердников, Л.В. Дашкевич, В.В. Кулыгин Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ в ФГУ ФИПС № 2009613856 от 17.07.2009.

26. Бердников С.В. Программный модуль «ECOSREDA Import» [Текст] / С.В. Бердников, Л.В. Дашкевич, В.В. Кулыгин Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ в ФГУ ФИПС № 2010614452 от 07.07.2010.

27. Бердников С.В. Программный комплекс для расчета индексов аридности «ARINDEX» [Текст] / С.В. Бердников, В.В. Селютин, В.В. Кулыгин Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ в ФГУ ФИПС № 2010614451 от 07.07.2010.