

На правах рукописи

ХРИСТОДУЛО Ольга Игоревна

**ИНТЕГРИРОВАННАЯ ОБРАБОТКА
ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ИНФОРМАЦИИ
НА ОСНОВЕ МНОГОМЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ ДАННЫХ
И ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
(на примере анализа взаимодействия
промышленных и природных объектов)**

**Специальность 05.13.01 – Системный анализ, управление
и обработка информации (в промышленности)**

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Уфа – 2012

Работа выполнена на кафедре геоинформационных систем
ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный технический университет»

Научный консультант

доктор технических наук, профессор
ПАВЛОВ Сергей Владимирович

Официальные оппоненты

д-р техн. наук, проф.
ФЕДУНОВ Борис Евгеньевич
Государственный
научно- исследовательский
институт авиационных систем,
нач. сектора

д-р техн. наук, проф.
ЯМАЛОВ Ильдар Уралович
Министерство связи
и массовых коммуникаций РБ,
зам. министра

д-р техн. наук, проф.
ВАЛЕЕВ Сагит Сабитович
Уфимский
Государственный авиационный
Технический университет,
зав. кафедрой информатики

Ведущее предприятие

Учреждение Российской академии наук
«Институт проблем управления сложными
системами РАН» (г. Самара)

Защита диссертации состоится 21 декабря 2012 г. в 10 часов
на заседании диссертационного совета Д-212.288.03
при Уфимском государственном авиационном техническом университете
по адресу: 450000, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. К. Маркса, 12

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета

Автореферат разослан 2012 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
д-р техн. наук, проф.

В. В. Мионов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Важнейшей проблемой 21-го века является загрязнение окружающей среды. Развитие экономики во всем мире связано с появлением новых промышленных предприятий, увеличением количества производимой ими полезной продукции и отходов производства, вследствие чего резко усилилось взаимодействие промышленных и природных объектов. С одной стороны, вместе с ростом промышленности стремительно возросло отрицательное воздействие промышленных объектов на природную среду, которое проявляется в самых разнообразных и масштабных акциях: сбросы загрязняющих веществ в водные объекты и на водосборные площади, загрязнение недр и почв, размещение отходов производства и потребления, загрязнение окружающей среды шумом, теплом, электромагнитными, ионизирующими и другими видами физических воздействий и т. д. Главнейшим и наиболее распространенным видом отрицательного воздействия промышленности на природную среду является загрязнение, основными источниками которого являются промышленные предприятия (машиностроительные, нефтяные, химические, металлургические, строительных материалов и др.), теплоэнергетика, транспорт и другие, причем под влиянием урбанизации в наибольшей степени загрязнены территории крупных городов и промышленных агломераций. С другой стороны, в результате возникновения чрезвычайных ситуаций природного характера, например подтопления территорий вследствие паводков и наводнений, обмеления рек, тектонических подвижек и пр., осуществляется отрицательное воздействие природной среды на промышленные объекты.

Для оперативного управления динамично развивающимися регионами необходимы, прежде всего, достоверные и актуальные данные о промышленных (промышленные предприятия) и природных (водные объекты, атмосферный воздух, недра и др.) объектах, которые, в свою очередь, характеризуются существенной территориальной и ведомственной распределенностью, большим объемом разнородной пространственной и атрибутивной информации, получаемой из различных источников (картографической, табличной, графической и др.) и находящейся в компетенции различных промышленных предприятий, организаций и государственных органов, заинтересованных в предотвращении или снижении отрицательного воздействия промышленных объектов на природную среду (и наоборот). Указанные обстоятельства приводят к необходимости создания систем структурированного хранения и обработки информации и разработки специализированного инструментария для информационной поддержки принятия соответствующих решений по снижению негативного взаимодействия промышленных и природных объектов.

Большое количество задач анализа взаимодействия промышленных и природных объектов базируется на обработке пространственных данных. Наряду с ними активно используются большие массивы атрибутивных данных, накопленных при эксплуатации традиционных систем обработки информации о промышленных и природных объектах, которые необходимо поддерживать в актуальном

состоянии. Из этого следует, что при выборе подходов к созданию современного информационного обеспечения для анализа взаимодействия промышленных и природных объектов необходимо ориентироваться на геоинформационные технологии, позволяющие с единых методических позиций описывать как пространственные, так и атрибутивные характеристики различных объектов, процессов и явлений. Будучи относительно новым продуктом, геоинформационные системы внедряются в уже существующую информационную инфраструктуру промышленных предприятий, организаций и контролирующих органов, которая, как правило, уже содержит несколько баз данных. Международный опыт показывает, что интеграция разнородных пространственных данных в системах обработки информации на различных уровнях управления посредством геоинформационных технологий позволяет добиться кардинального повышения качества обеспечения лиц, принимающих решения, достоверными и непротиворечивыми данными об объектах управления и природной среде. Поэтому в настоящее время развивается интегрированный подход к применению информационных технологий, предусматривающий объединение как различных приложений (интеграция), так и различных технологий в рамках приложения (гибридизация). Примерами гибридизации технологий являются: создание методов и языков представления данных и знаний, позволяющих разработать новые методы геоинформационного моделирования, интеграция функций геоинформационных систем и многомерных моделей данных.

Вопросам организации эффективной обработки, хранения и представления больших объёмов разнородных данных для решения задач управления территориями и крупными промышленными предприятиями (организациями) посвящен ряд работ отечественных и зарубежных авторов, в частности работы Р. Н. Бахтизина, А. М. Берлянта, Л. С. Берштейна, В. Е. Гвоздева, В. И. Данилова-Данильяна, А. В. Кошкарева, И. К. Лурье, В. С. Тикунова, А. М. Трофимова, В. Я. Цветкова, Р. З. Хамитова, Ш. Джонса, Я. Массера, Х. Мураками, Д. О'Нилла, Н. И. Конона, Э. Митчелла, М. Де Мерса, Д. Питерса, Р. Томлинсона, М. Эгенгофера и др. Однако проблема интегрированной обработки пространственной информации и обеспечения оперативного доступа различных пользователей к этой информации для решения задач анализа взаимодействия промышленных и природных объектов в полной мере не решена.

Современный научный подход к созданию систем обработки информации основан на концепции баз данных (БД). Увеличение объема и структурной сложности обрабатываемых данных, расширение круга пользователей накопленных данных и увеличение функциональных требований к системам обработки информации привели к необходимости обобщения понятия баз данных, в связи с чем в последнее время появился новый термин – интегрированная (единая) база данных. Вопросам создания информационных систем на основе баз данных посвящены работы зарубежных ученых А. Бисваса, В. Инмона, Х. Кардуэлла, С. Кеннана, Е. Кодда, Дж. Мартина, Д. Мейера, Д. Мэйдмента, Б. Плагмана, В. Халла, М. Хатчинсона, П. Чена, М. Эбота, а также отечественных А. Е. Арменского, А. М. Вендерова,

С. А. Косяченко, Г. Г. Куликова, А. Г. Мамиконова, В. В. Миронова, А. А. Сахарова, Б. Н. Четверикова, Н. И. Юсуповой и др. Большинство предлагаемых подходов, основанных на традиционных моделях данных (иерархических, сетевых и реляционных), усложняет процесс создания систем обработки информации ввиду сложности описания информации о территориально-распределенных объектах, а также недостаточной формализации процедуры построения произвольных запросов конечных пользователей. В настоящее время интенсивно развиваются многомерные модели данных, ориентированные на хранение и обработку больших объемов изменяющейся во времени информации, что особенно характерно для анализа взаимодействия промышленных и природных объектов.

Несмотря на стремительный рост возможностей современной компьютерной техники, объемы пространственной информации, получаемой и привлекаемой для анализа взаимодействия промышленных и природных объектов, растут еще быстрее: примерно пропорционально квадрату количества производимой материальной продукции, поэтому для решения задач анализа взаимодействия промышленных и природных объектов возникла необходимость в интегрированной обработке разнородной, территориально-распределенной пространственной информации на основе многомерных моделей данных и геоинформационных технологий, которая является актуальной проблемой как в теоретическом, так и в практическом отношении.

Формулирование проблемы. Таким образом, широкому внедрению и эффективному использованию систем обработки информации для информационной поддержки принятия решений по снижению негативного взаимодействия промышленных и природных объектов с учетом увеличения объема и структурной сложности обрабатываемых данных, расширения круга пользователей накопленных данных, увеличения функциональных требований к системам обработки информации и развития новых информационных технологий препятствует нерешенная до настоящего времени **проблема** разработки методологических и теоретических основ интегрированной обработки пространственной информации для анализа взаимодействия промышленных и природных объектов.

Цель работы. Разработка методологических и теоретических основ интегрированной обработки пространственной информации на основе многомерных моделей данных и геоинформационных технологий, реализация их в виде программного обеспечения, применение полученных результатов при проектировании и создании автоматизированных систем обработки информации для анализа взаимодействия промышленных и природных объектов и оценка их эффективности.

Основные задачи, которые потребовалось решить для достижения цели:

1. Разработать концепцию интегрированной обработки пространственной информации на основе интеграции многомерных моделей данных и геоинформационных технологий для анализа взаимодействия промышленных и природных объектов (*соответствует п. 2 паспорта специальности*).

2. Разработать методологию использования многомерных информационных

объектов для логического описания пространственной информации (*соответствует пп. 4 и 5 паспорта специальности*).

3. Разработать методы организации эффективного хранения пространственной информации для анализа взаимодействия промышленных и природных объектов (*соответствует пп. 4, 5 и 13 паспорта специальности*).

4. Разработать методы совместного описания информации при ее хранении в базе данных и дальнейшей тематической обработке в единую информационную технологию (*соответствует пп. 4 и 5 паспорта специальности*).

5. Разработать модель пространственных данных на основе многомерных информационных объектов для анализа взаимодействия промышленных и природных объектов (*соответствует п. 3 паспорта специальности*).

6. Разработать алгоритмы и программную реализацию предложенных методов хранения, интеграции и обработки пространственных данных в составе комплексных систем обработки информации для анализа взаимодействия промышленных и природных объектов (на примере Республики Башкортостан), и исследовать эффективность предложенной системы (*соответствует пп. 4, 5 и 12 паспорта специальности*).

Методы исследования. Для решения поставленных задач использованы методы системного анализа сложных систем, общая теория множеств, операционное исчисление, методология структурного анализа и проектирования (*SADT*), теория искусственного интеллекта, математическое и геоинформационное моделирование, теория реляционных баз данных, принципы объектно-ориентированного программирования.

Результаты, выносимые на защиту

1. Концепция интегрированной обработки пространственной информации на основе интеграции многомерных моделей данных и геоинформационных технологий для анализа взаимодействия промышленных и природных объектов.

2. Методология использования многомерных информационных объектов для логического описания пространственной информации.

3. Методы организации эффективного хранения пространственной информации для анализа взаимодействия промышленных и природных объектов.

4. Методы совместного описания пространственной информации при ее хранении в базе данных и дальнейшей тематической обработке в единую информационную технологию.

5. Модель пространственных данных на основе многомерных информационных объектов для анализа взаимодействия промышленных и природных объектов.

6. Алгоритмы и программная реализация предложенных методов хранения, интеграции и обработки пространственных данных для создания комплексных систем обработки информации о промышленных и природных объектах (на примере автоматизированной системы обработки информации для анализа взаимодействия промышленных и природных объектов (АСОИ П и ПрО) Республики Башкортостан) и результаты исследований эффективности предложенной системы.

Научная новизна результатов

1. Новизна предлагаемой концепции интегрированной обработки пространственной информации заключается в последовательном выполнении основных этапов информационных технологий для логического описания, эффективного хранения и обработки пространственной информации, *и отличается* интеграцией многомерных моделей данных и геоинформационных технологий, *что позволяет* разрабатывать современные комплексные системы обработки информации для анализа взаимодействия промышленных и природных объектов, необходимые для поддержки принятия решений по эффективному и оперативному управлению промышленными регионами.

2. Новизна предлагаемой методологии использования многомерных информационных объектов заключается в:

- логическом описании пространственной информации о техногенных и природных объектах и процессах, *и отличается* введением нового типа структур данных – многомерного информационного объекта (МИО), объединяющего в единый информационный объект несколько реляционных отношений и операций над МИО, *что позволяет* с единых методических позиций более компактно проводить формализованное описание больших массивов пространственной информации, организовать ввод, корректировку, манипулирование и поиск информации, а также упростить процедуру формирования запросов и сократить количество операций поиска по сравнению с поиском в реляционной модели данных;

- интеграции и генерализации разнородной распределенной пространственной информации, *и отличается* использованием МИО для описания различных частей распределенных пространственных данных и их генерализации в единую модель на основе вновь введенной операции изменения, *что позволяет* обеспечить объединение в единое информационное пространство информации на всех организационных уровнях управления при сохранении ее целостности для анализа взаимодействия промышленных и природных объектов.

3. Новизна предложенных методов организации эффективного хранения пространственной информации для анализа взаимодействия промышленных и природных объектов заключается в:

- объединении данных из различных информационных систем в единую систему обработки информации за счет выявления общей для нескольких БД атрибутивной и пространственной информации, *и отличается* использованием формального анализа баз атрибутивных и пространственных данных, входящих в состав действующих систем обработки информации, *что позволяет* исключить дублирование пространственной информации, значительно сократить размер единой БД, по сравнению с размерами БД существующих информационных систем при сохранении полноты и непротиворечивости информации;

- организации процесса интеллектуального выбора (семантического анализа) пространственной информации при ее переносе из БД существующих информационных систем в единую базу пространственных данных, *и отличается* ис-

пользованием формализованных знаний экспертов о структурных особенностях и семантике пространственной информации в виде продукционных правил, *что позволяет* обеспечить актуальность информации;

– построении новых топологических отношений (принадлежности, содержания, касания, пересечения, перекрытия, несвязности, следования), определяющих поведение пространственно взаимосвязанных объектов и объектных классов, *и отличается* использованием новых топологических правил, *что позволяет* обеспечить унифицированность хранения и анализа данных, сохранить топологическую корректность при генерализации отображаемых объектов и осуществить корректный ввод пространственной информации в БД с целью повышения ее целостности и качества.

4. Новизна предложенных методов совместного описания информации при ее хранении в базе данных и дальнейшей тематической обработке в единую информационную технологию состоит в представлении в едином формализованном виде множества разнородных объектов реального мира, необходимых для расчета характеристик техногенных и природных процессов, *и отличается* применением теоретико-множественного описания процессов обработки пространственных данных, *что позволяет* осуществить совместное представление и использование разнородной территориально распределенной информации для анализа взаимодействия промышленных и природных объектов.

5. Новизна предложенной модели пространственных данных состоит в совместном описании разнородной (атрибутивной и пространственной) информации о промышленных и природных объектах региона (на примере Республики Башкортостан) *и отличается* тем, что весь массив информации может быть представлен в виде совокупности однотипных и разнотипных МИО и операций над ними, *что позволяет* организовать более эффективное хранение и обработку пространственной информации и, в конечном итоге, создавать современные системы обработки информации для анализа взаимодействия промышленных и природных объектов промышленного региона.

Практическая ценность и внедрение результатов

1. Применение разработанной методологии использования МИО для логического описания пространственной информации обеспечивает создание новых способов и алгоритмов организации ввода, корректировки, манипулирования и поиска информации о промышленных и природных объектах, позволяет упростить процедуру формирования запросов, сократить количество операций поиска по сравнению с поиском в реляционной модели данных, упростить описание структуры существующих БД систем обработки информации, сделать модель данных более обозримой и понятной и обеспечить объединение в единое информационное пространство информации на всех организационных уровнях для анализа взаимодействия промышленных и природных объектов при сохранении ее целостности.

2. Применение разработанных методов организации эффективного хранения пространственной информации обеспечивает создание новых способов и алгоритмов, позволяющих:

– выявить общую для нескольких баз данных атрибутивную и пространственную информацию и создать единую БД. При этом за счет объединения данных в единую систему обработки информации и исключения дублирования информации значительно сокращается размер единой БД, по сравнению с размерами баз данных существующих информационных систем, и появляется возможность уменьшить требуемое количество ресурсов для поддержания БД;

– организовать ввод, извлечение и использование пространственных данных с определенными на них топологическими отношениями, осуществить корректный ввод пространственной информации в БД с целью повышения ее целостности и качества, сократить объем хранимой информации и повысить быстродействие запросов пользователей.

3. Применение разработанных методов совместного описания информации при ее хранении в БД и дальнейшей тематической обработке в единую информационную технологию обеспечивает создание новых способов и алгоритмов, позволяющих определять различные характеристики техногенных и природных процессов для последующего снижения отрицательного взаимодействия промышленных и природных объектов на рассматриваемой территории.

4. Разработанная модель пространственных данных позволяет логически описать разнородную распределенную пространственную и атрибутивную информацию, используемую для анализа взаимодействия промышленных и природных объектов, и автоматизировать процессы сбора, хранения и обработки этой информации.

5. Разработанные алгоритмы и программная реализация методов хранения, обработки и интеграции пространственных данных о промышленных и природных объектах и процессах позволяют осуществить весь цикл работы с разнородной информацией, возникающей и хранящейся в различных промышленных предприятиях (организациях) от первоначального ввода до длительного хранения, поиска, обработки и представления пространственных и соотнесенных с ними атрибутивных данных для более эффективной информационной поддержки принятия решений при решении задач анализа взаимодействия промышленных и природных объектов.

Результаты, полученные в работе, внедрены в Министерстве природопользования и охраны окружающей среды Республики Башкортостан и в отделе водных ресурсов по РБ Камского бассейнового водного управления в виде комплекса моделей, алгоритмического и программного обеспечения для автоматизированной системы поддержки принятия решений по управлению природными ресурсами и охране окружающей среды (свид. об офиц. рег. программы для ЭВМ № 2008614884, № 2008614885, от 10.10.2008 г. и № 2012616622, 2012616623 от 24.07.2012 г.); в Академии наук РБ в виде методики проектирования и создания систем обработки информации (свид. об офиц. рег. программы для ЭВМ № 2009614842 от 07 сентября 2009 г.).

Модели, методы, алгоритмы и программное обеспечение АСОИ П и Про внедрены в учебный процесс Уфимского государственного авиационного техниче-

ского университета (УГАТУ) и применяются при изучении дисциплин для направления 230400 «Информационные системы и технологии» на кафедре геоинформационных систем.

Апробация работы. Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на международных и всероссийских научных конференциях, наиболее значимые из которых: 44-й и 46-й международные конгрессы по астронавтике Грац, Австрия, 1993, Осло, Норвегия, 1995; международные научно-практические конференции «Компьютерные науки и информационные технологии» (CSIT-2000 – CSIT-2011) Россия, 2000, 2001, 2003, 2005, 2007, 2010, Патра, Греция, 2002, Будапешт, Венгрия, 2004, Карлсруэ, Германия, 2006, Анталия, Турция, 2008, Крит, Греция, 2009, Германия, 2011; конференции пользователей ESRI в России и странах СНГ, Москва, Россия, 2004–2008; международная научная конференция «Телематика», Санкт-Петербург, Россия, 2001; европейские конференции пользователей продуктов ESRI Варшава, Польша, 2005, Афины, Греция, 2006, Стокгольм, Швеция, 2007, Лондон, Великобритания, 2008, Рим, Италия, 2010; всероссийская конференция «Управление водно-ресурсными системами в экстремальных условиях» Москва, Россия, 2008; международная конференция «Космическая съемка на пике высоких технологий» Москва, Россия, 2008; российско-немецкие семинары «Инновационные информационные технологии: теория и практика» Уфа, Россия, 2009, 2011; всероссийская конференция молодых ученых «Геоинформационные технологии и космический мониторинг», Ростов-на-Дону, Россия, 2011, 2012.

Связь исследований с научными программами. Исследования в данном направлении выполнялись в период с 1991 по 2003 гг. на кафедре технической кибернетики и с 2004 по 2012 гг. на кафедре геоинформационных систем Уфимского государственного авиационного технического университета в рамках НИР «Методы геоинформационного и многомерного моделирования природных и техногенных объектов и процессов в распределенных корпоративных информационных системах» в 2007–2008 гг., НИР «Методы интеграции пространственных и атрибутивных данных в распределённых корпоративных информационных системах на основе многомерных моделей данных» в 2009–2011 гг., гранта РФФИ на тему «Разработка программного обеспечения, структур и моделей данных для распределенной обработки пространственной информации в составе региональной инфраструктуры пространственных данных» в 2012 г.

Публикации. Основные результаты диссертационной работы отражены в 118 научных трудах, в том числе в 11 статьях, опубликованных в рецензируемых центральных журналах, входящих в список ВАК, 2 монографиях, 63 статьях и трудах конференций, 7 авторских свидетельствах об официальной регистрации баз данных и программ для ЭВМ.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, включает 374 страницы текста, содержит 117 иллюстраций, 9 таблиц, библиографический список из 268 наименований. Объем приложений составляет 52 страницы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность решаемой проблемы, сформулированы цель и задачи исследования, раскрыты научная новизна работы и ее практическая значимость, приведены результаты апробации и реализации.

Первая глава посвящена анализу проблемы интегрированной обработки пространственной информации (на примере анализа взаимодействия промышленных и природных объектов) с учетом известных подходов к автоматизации информационного обеспечения, основных направлений интеграции пространственных данных и известных моделей данных применительно к построению систем обработки информации.

Анализ современного состояния процессов отрицательного воздействия промышленных объектов на природную среду (сбросы загрязняющих веществ в поверхностные водные объекты, загрязнение недр и атмосферного воздуха, размещение отходов производства и потребления) и отрицательного воздействия природной среды на промышленные объекты (подтопление территорий вследствие паводков и наводнений) показал, что в настоящее время негативные последствия антропогенной деятельности на территории России в целом и в РБ в частности достигли таких масштабов, при которых нормализация экологической обстановки требуют постоянного принятия управляющими органами соответствующих решений. В процессе анализа взаимодействия промышленных и природных объектов возникает множество задач, при решении которых появляется необходимость в совместной обработке большого количества разнородной, территориально-распределенной информации, получаемой из различных источников и находящейся в компетенции различных предприятий, организаций и государственных органов, заинтересованных в предотвращении или снижении отрицательного воздействия промышленных объектов на природную среду (и наоборот). Наряду с пространственными данными активно используются большие массивы атрибутивных данных, накопленных при эксплуатации традиционных систем обработки информации о промышленных и природных объектах, которые необходимо поддерживать в актуальном состоянии.

Проведенный анализ проблемы обработки информации для анализа взаимодействия промышленных и природных объектов показал, что, во-первых, существуют потребности, связанные с приведением всех пространственных данных к единой информационной основе и установлением взаимосвязей с характеризующей их атрибутивной информацией из других информационных систем для их дальнейшего комплексного использования, и, во-вторых, целесообразно предоставлять уже накопленные пространственные данные всем заинтересованным пользователям (в том числе и в территориально удаленных точках) из единого легитимного источника, что позволит исключить дублирование информации. Комплексное решение этих задач не укладывается в рамки единственной технологии, требуя совместного применения различных информационных технологий и моделей и взаимодействия между приложениями различных классов.

Анализ известных подходов к проектированию и автоматизации информационного обеспечения, основных направлений интеграции пространственных данных в системах обработки информации показал, что при создании современного информационного обеспечения для анализа взаимодействия промышленных и

природных объектов необходимо ориентироваться на геоинформационные технологии, позволяющие организовать, согласовать и автоматизировать процесс получения и обработки пространственной информации, решать функциональные задачи (геоинформационное моделирование техногенных и природных процессов, влияющих на деятельность предприятий (организаций), и прогнозирование их дальнейшего развития; отслеживание динамики развития чрезвычайных ситуаций и др.), а также представлять результаты обработки пространственной информации в картографическом виде лицам, принимающим дальнейшие решения.

Анализ известных моделей данных, используемых для построения систем обработки информации, характеризующихся большими объемами обрабатываемых данных, показал, что исследуемые модели данных обладают существенными недостатками, которые не позволяют их автоматически использовать при создании систем обработки информации для анализа взаимодействия промышленных и природных объектов.

На основе проведенного анализа проблемы обработки пространственной информации, современных подходов к проектированию и автоматизации информационного обеспечения, основных направлений интеграции пространственных данных, известных моделей данных сделан вывод о том, что на сегодняшний день в предметной области обработки пространственной информации для анализа взаимодействия промышленных и природных объектов существует целый ряд нерешенных проблемных вопросов, к основным из которых можно отнести следующие:

- в настоящее время отсутствует единая концепция построения систем обработки и хранения информации для анализа взаимодействия промышленных и природных объектов;

- не разработаны механизмы описания, предоставления, обработки и анализа данных для современных систем обработки информации, характеризующихся комплексным использованием разнородной информации;

- не учитываются современные тенденции в организации обработки и хранения пространственной информации на основе единой БД и организации процесса интеллектуального выбора пространственной информации при переносе ее из баз данных различных информационных систем в единую БД;

- не формализованы методы, позволяющие обеспечить унифицированность хранения и анализа данных на основе топологических отношений, корректный ввод пространственной информации в БД с целью повышения ее целостности и качества;

- не формализованы методы логического описания информации при ее хранении в базе данных и дальнейшей тематической обработке в единую информационную технологию.

Таким образом, нерешенность отмеченных проблемных вопросов вызывает серьезные затруднения при проектировании и разработке систем обработки разнородной информации, позволяющих осуществить оперативное обеспечение различных категорий пользователей полной, достоверной, представленной в удобном для интерпретации и разноаспектном виде пространственной информации о текущем и прогнозируемом состоянии промышленных и природных объектов для информационной поддержки принятия решений по анализу взаимодействия промышленных и природных объектов. С учетом вышеизложенного, сформулирована решаемая в работе проблема, поставлена цель и определены задачи исследования.

Во второй главе на основе системного анализа проблемы предложена концепция интегрированной обработки пространственной информации для анализа взаимодействия промышленных и природных объектов, которая основана на интеграции многомерных моделей данных и геоинформационных технологий, научной основой порождения которой является анализ основных этапов информационных технологий, используемых при построении информационных систем. Данная концепция включает последовательность взаимосвязанных этапов (рисунок 1), которые необходимо выполнить при проектировании и разработке современных систем обработки информации, особенностью которых является комплексное использование разнородной (пространственной и атрибутивной) информации и, как следствие, повышение требований к интегрируемости используемых информационных систем и совершенствовании механизмов описания, предоставления, обработки и анализа данных.

Предложена методология использования многомерных информационных объектов для логического описания разнородной информации для анализа взаимодействия промышленных и природных объектов, в рамках которой автором впервые в 1993 г. предложен новый способ описания больших массивов информации на основе специально введенных МИО [19, 20]. Основная идея данного многомерного подхода заключается в обобщении реляционного подхода, при котором несколько различных отношений с одинаковой структурой предлагается размещать в некоторый новый МИО, который определяется рекурсивно.

В общем случае МИО размерности n определяется как упорядоченное множество многомерных информационных объектов размерности $n-1$:

$$T^n = \{T_i^{n-1}\}, i = \overline{1, k}. \quad (1)$$

Для описания внутренней структуры МИО определено понятие схемы МИО – S^n , представляющей собой множество, значения которого задают порядок вхождения МИО меньшей размерности в МИО большей размерности:

$$S^n = S(T^n) = \{S(T^{n-1}), S_n\} = \{S^{n-1}, S_n\} = \dots = \{S_1, S_2, \dots, S_{n-1}, S_n\}, \quad (2)$$

где S_i – i -й элемент схемы S^n .

Предложено разделение всех МИО на два класса: однотипные и разнотипные. T_1^n и T_2^n называются однотипными, если $S(T_1^n) = S(T_2^n)$, в противном случае, они называются разнотипными.

Введены основные операции над однотипными МИО: порождение, проектирование, добавление и удаление, которые позволяют осуществить основные функции по обработке данных, а также организовать эффективный поиск информации по запросам пользователей.

Так как в общем случае информация о промышленных и природных объектах описывается несколькими разнотипными МИО, необходимо введение специальных операций над ними. В том случае, когда схемы двух разнотипных МИО T^{n_1} и T^{n_2} содержат хотя бы один одинаковый элемент, то есть $S^{n_1} \cap S^{n_2} = S^k \neq \{\emptyset\}$ (это означает, что хранящаяся в T^{n_1} и в T^{n_2} информация имеет общие элементы данных), они называются связными с мощностью связи k , и для них вводится операция объединения T^{n_1} и T^{n_2} по S^k , которая обозначается

$$\hat{T}^{n_1 + n_2 - 1} = T^{n_1} \cup^{S^k} T^{n_2}, \quad (3)$$

а схема нового многомерного информационного объекта

$$\hat{S}^{n_1 + n_2 - 1} = S^{n_1} \cup S^k \cup S^{n_2}. \quad (4)$$

Чтобы отличать результат объединения двух однотипных МИО от объединения двух разнотипных МИО, последний назван веерным МИО (ВМИО).

Операция объединения справедлива и для множества, состоящего из произвольного числа попарно связанных разнотипных информационных объектов $T^{n_1}, T^{n_2}, \dots, T^{n_b}$ со схемами $S^{n_i} = S(T^{n_i})$, так что $S^{n_i} \neq S^{n_j}$, при $i \neq j, i, j = \overline{1, b}$. Пусть $S^{k_i} = S^{n_1} \cap S^{n_i} \neq \{\emptyset\}$, $i = \overline{2, b}$. Выполняя введенную выше операцию объединения $(b - 1)$ раз, T^{n_1} можно объединить со всеми связанными с ним МИО:

$$\hat{T}^{n_1 + n_2 + \dots + n_b - k_2 - \dots - k_b} = T^{n_1} \cup^{S^{k_2}} T^{n_2} \cup^{S^{k_3}} T^{n_3} \cup \dots \cup^{S^{k_b}} T^{n_b}. \quad (5)$$

Операции над разнотипными МИО включают также операции разделения и проецирования. Введенные операции объединения разнотипных МИО, а также операции разделения и проецирования ВМИО, позволяют объединять логически взаимосвязанную информацию, хранящуюся в разнотипных МИО, в единый ВМИО, с сохранением целостности данных, а также производить обратные преобразования – получение любого подмножества взаимосвязанной информации, хранящейся в ВМИО. Таким образом, всю взаимосвязанную информацию о некоторой предметной области можно описать с помощью одного или нескольких ВМИО.

В работе показана применимость МИО для совместного описания атрибутивной и пространственной информации с добавлением некоторых дополнительных операций. Для упрощения совместного описания разнородных данных (пространственных и атрибутивных) и операций над ними предложен новый тип МИО – модифицированные многомерные информационные объекты (ММИО) – $\tilde{T}^{n,m}$, где n – количество реальных размерностей, m – количество дополнительных размерностей. Данные объекты соответствуют МИО большей размерности по схеме и МИО той же размерности по информационному наполнению.

Введена операция добавления размерности I_1 для получения модифицированного МИО размерности $n+1$ из МИО размерности n :

$$I_1(T^n, S_{n+1}) = (T^n) * S_{n+1} = \tilde{T}^{n,1}, \quad (6)$$

где S_{n+1} – множество, которое определяет элементы фиктивной размерности.

Последовательное применение нескольких операций добавления размерности позволяет получить ММИО любой размерности, больше размерности исходного МИО, что может быть обозначено как

$$\tilde{T}^{n,m} = I_m(T^n, \{S_{n+i}\}) = T^n * \{S_{n+i}\}, \quad i = \overline{1, m}, \quad (7)$$

где множество S_{n+i} задает порядок вхождения $\tilde{T}^{n,i-1}$ в $\tilde{T}^{n,i}$.

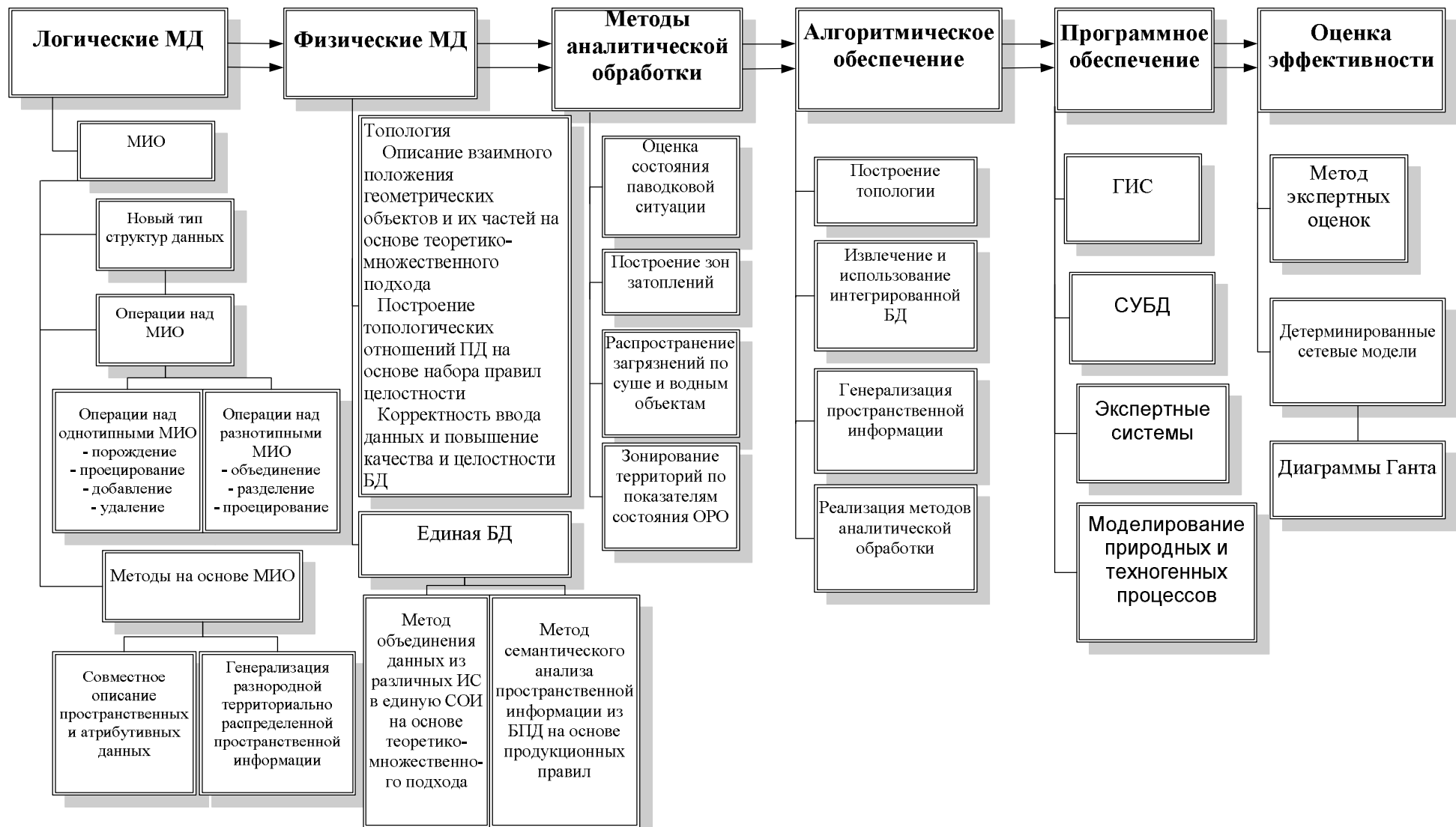


Рисунок 1 – Концепция интегрированной обработки пространственных данных для анализа взаимодействия промышленных и природных объектов

Операция добавления размерности позволяет описать каждый тип пространственного объекта в виде одного МИО, достичь общности описания слоев объектов разных типов, упростить описание структуры существующих БД систем обработки информации, сделать модель данных обозримой и понятной.

Рассмотрено решение задачи генерализации разнородной (по типу, формату и способу описания) и распределенной (по территориальному месту хранения и по принадлежности к действующим информационным системам) пространственной информации по промышленным и природным объектам на основе МИО, для чего введены новые операции (простого и обобщенного изменения МИО и операция пространственной генерализации), позволяющие описать преобразование отдельных элементов данных отдельных объектов или групп объектов, что является необходимым при выполнении генерализации пространственной информации и передачи ее в обобщенной форме с одного организационного уровня на другой при сохранении ее целостности.

Операция простого изменения МИО

$$C_{f,h}^0(T_{\text{ВХ}}^{n-3}, T_{\text{ВЫХ}}^{n-3}) : T_{\text{ВХ}}^{n-3} \xrightarrow{\Pi_{S_1,h}(T_{\text{ВЫХ}}^{n-3})=f(\Pi_{S_1,h}(T_{\text{ВХ}}^{n-3}))} T_{\text{ВЫХ}}^{n-3} \quad (8)$$

заключается в изменении значения атрибута h схемы S_1 в объекте $T_{\text{ВЫХ}}^{n-3}$ на значение некоего функционального преобразования f от значения атрибута h схемы S_1 в объекте $T_{\text{ВХ}}^{n-3}$.

Операция обобщенного изменения МИО

$$C_{S_1,h}^1(\{T_{\text{ВХ},i}^{n-3}\}, T_{\text{ВЫХ}}^{n-3}) : \{T_{\text{ВХ},i}^{n-3}\} \xrightarrow{\Pi_{S_1,h}(T_{\text{ВЫХ}}^{n-3})=f(\Pi_{S_1,h}(T_{\text{ВХ},h}^{n-3}), \dots, \Pi_{S_1,h}(T_{\text{ВХ},m}^{n-3}))} T_{\text{ВЫХ}}^{n-3}, \quad (9)$$

заключается в изменении значения атрибута h схемы S_1 в объекте $T_{\text{ВЫХ}}^{n-3}$ на значение некоторого функционального преобразования (свертки) f от значений атрибутов h схемы S_1 в наборе объектов $\{T_{\text{ВХ},i}^{n-3}\}$.

Операция пространственной генерализации МИО

$$\begin{cases} T_{\text{ВЫХ}}^{n-1} = G_g(T^n) = \{G_g(T_j^{n-1})\} * S_n, \text{ при } n > 4 \\ T_{\text{ВЫХ}}^3 = g(\{T_i^3\}), \end{cases} \quad (10)$$

где $j = \overline{1, k_n}$, k_n – количество T_j^{n-1} , $g = \{F_P, F_A\}$, $g : \{T_i^3\} \rightarrow T^3$ – геообработка, F_P – географическое преобразование, F_A – множество функций преобразования элементов данных, $i = \overline{1, k}$.

Введенный набор операций дает возможность построения на их основе языка управления данными, представленными в виде множества различных МИО, который позволяет проводить логическое описание разнородной территориально распределенной информации о промышленных и природных объектах любой сложности.

В третьей главе разработаны методы совместного описания, организации эффективного хранения и дальнейшей тематической обработки пространственной информации в единую информационную технологию.

Для определения местоположения отдельных промышленных и природных объектов предлагается использовать источники данных, являющиеся моделями описания местности: топографическую карту местности, модель представления данных в виде продольного профиля и сетевую модель.

Топографическая карта местности выбранного масштаба может быть представлена в виде множества тематических слоев, необходимых для описания и анализа всей требуемой пространственной информации и представляет собой совокупность объектов, описанных выражениями (11)–(14):

$$M = \{C_i\}, \quad i = \overline{1, n}, \quad (11)$$

1) для множества точечных объектов (например, посты гидрологического контроля, объекты размещения отходов, промышленные предприятия)

$$C_{Pnt} = \left\{ \left((x^{Pnt_j}, y^{Pnt_j}), Atr^{Pnt_j} \right)_j \right\}, \quad j = \overline{1, n_{Pnt}}, \quad (12)$$

где n_{Pnt} – количество точечных объектов в слое;

2) для множества линейных объектов (например, реки, дороги, линии электропередач и другие объекты)

$$C_L = \left\{ \left(\left\{ (x^{L_j}, y^{L_j})_q \right\}, Atr^{L_j} \right)_j \right\}, \quad j = \overline{1, n_L}, \quad q = \overline{1, b_j}, \quad (13)$$

где L – геометрический объект в виде ломаной линии; n_L – количество линейных объектов в слое;

3) для множества полигональных объектов (например, озера, водохранилища, особо охраняемые природные территории и другие объекты)

$$C_{Pol} = \left\{ \left(\left\{ \left\{ (x^{Pol_j}, y^{Pol_j})_q \right\}_t \right\}, label_{Pol_j}, Atr^{Pol_j} \right)_j \right\}, \quad j = \overline{1, n_{Pol}}, \quad t = \overline{1, b_j}, \quad q = \overline{1, c_t}, \quad (14)$$

где $Atr = \{atr_1, atr_2, \dots, atr_n\}$ – совокупность атрибутивных характеристик каждого объекта; x^{Pol_j}, y^{Pol_j} – некоторая ограниченная область определения соответствующего полигонального объекта; n_{Pol} – количество полигональных (площадных) объектов в слое.

Поскольку топографическая карта местности является моделью описания поверхности Земли, то изображение промышленного (природного) объекта на карте представляет собой некоторую модель его местоположения на местности и может быть обозначено следующим образом:

$$W^S = W^S(x^s, y^s), \quad (15)$$

где x, y – координаты, определяемые по карте.

Отображение данных в виде продольного профиля позволяет наглядно представить весь перечень информации в привязке к протяженности объекта в графической форме, например, места наибольших и наименьших уклонов для анализа паводковой ситуации, распространение нефтяного пятна при аварийном разливе нефти и др. Например, продольный профиль водных объектов представлен в виде непрерывной линии в системе координат – $\{z, l\}$. Причем зависимость высотной отметки z в каждой точке реки явно и однозначно зависит от l – удаленности этой точки реки от истока (или устья). Тогда местоположение некоторого промышленного объекта на продольном профиле можно представить как функцию

$$W^P = W^P(z, l) = W^P(z(l), l), \quad (16)$$

где W^P – функция, описывающая характеристики промышленного объекта в пространстве.

Пространственная информация об объектах на продольном профиле может быть представлена соотношением

$$L = L\{P_j(z, l)\}, \quad (17)$$

где $\{P_j\}$ – набор объектов продольного профиля (например, поперечные створы и урезы воды для рек; отсекающие задвижки, пересечения нефтепроводов с водными объектами и др.).

Контекст модели представления данных в виде продольного профиля водного объекта (реки) позволяет наглядно оценить уровень поднятия воды в его непрерывности по конкретному водному объекту и проводить анализ прохождения паводка с целью поддержки принятия решений для анализа взаимодействия промышленных и природных объектов.

Пространственная информация о промышленных и природных объектах может быть представлена в виде объектно-ориентированного графа, где рёбрами являются сегменты протяженных объектов, расположенные между местами их соединения (например, устьями притоков), вершинами – крайние точки объектов (например, истоки и устья рек), а направленность ребер совпадает с действительной ориентацией объекта или направлением движения (направлением течения реки). В работе определена зависимость описания объектов в виде сетевой модели от координат (x, y) , в случае, если вершины заданы в виде координат (x, y) , при этом для вершин существует также однозначная зависимость их расположения от l – взаимного местоположения рёбер:

$$W_{ob}^R = W_{ob}^R(x, y, c) = W_{ob}^R(x(l), y(l), c), \quad (18)$$

где W_{ob}^R – функция, описывающая положение протяженного объекта в пространстве.

Пространственная информация, например, объектов речной сети может быть представлена соотношением

$$N = N\{R_k(x, y, c)\}, \quad (19)$$

где $\{R_k\}$ – набор объектов речной сети (рёбра – осевые линии водных объектов, вершины – посты наблюдения).

Множество описываемых объектов сети обозначим следующим образом:

$$R = \{R_k\} = \{A^x, S\}, k = \overline{1, p}, \quad (20)$$

где A^x – рёбра (например, осевые линии водных объектов), S – вершины (например, посты наблюдения).

Параметр c в выражении (18) отражает наличие связности для вершин сети, описанной следующим выражением: $c(S) = \langle A^x_1, S_1; A^x_2, S_2; A^x_3, S_3 \rangle$. Физический смысл этой зависимости означает то, что любая вершина имеет три максимально возможных прилегающих ребра, соответственно для неё в памяти хранятся сведения о трёх прилегающих рёбрах (A^x_1 - A^x_3) и смежных с ними вершинах (S_1 - S_3).

Таким образом, совместное описание атрибутивной и пространственной информации о промышленных и природных объектах задается совокупностью информации из топографической карты местности, продольных профилей объектов и сетевой модели и состоит в представлении в едином формализованном виде множества разнородных объектов, необходимых для расчета характеристик техногенных и природных процессов:

$$W \xrightarrow{M, L, N} \{W^S, W^P, W^R\} \text{ или } W = \{W^S(x, y), W^P(z, l), W^R(x, y, c)\}. \quad (21)$$

Для возможности объединения и представления разнородных пространственных данных в работе решена задача объединения данных из различных информационных систем в единую систему обработки информации, основанная на формаль-

ном анализе баз атрибутивных и пространственных данных, входящих в состав действующих систем обработки информации. Для организации хранения информации необходимо выявить общие данные для всех информационных систем предприятия, провести анализ требований к этим данным, чтобы минимизировать дублирование данных и время получения пользователем информации.

Пусть $БД_i$ – база данных i -й информационной системы, где $i = \overline{1, n}$, n – общее количество ИС. Выделим в каждой из $БД_i$ две части: $БД_i^1$ – та часть $БД_i$, данные из которой находятся как в $БД_i$, так и в других базах данных, $БД_i^2$ – часть $БД_i$, использующаяся только в $ИС_i$ и не содержащаяся в других базах данных, при этом

$$БД_i = БД_i^1 \cup БД_i^2, \quad i = \overline{1, n}. \quad (22)$$

Для исключения (или минимизации) дублирования данных необходимо, чтобы общие для всех (или нескольких) $БД_i$ данные хранились в единой базе данных – $БД_0$:

$$БД_i \subset БД_0, \quad \text{для всех } i = \overline{1, n}. \quad (23)$$

Поскольку $БД_i$ содержат как пространственные, так и атрибутивные данные, то представим $БД_i$ как совокупность двух частей, описывающих атрибутивную – $БД_i^A$ и пространственную – $БД_i^П$ информацию:

$$БД_i = БД_i^A \cup БД_i^П, \quad i = \overline{1, n}. \quad (24)$$

Тогда $БД_0$ будет также состоять из двух частей:

$$БД_0 = БД_0^A \cup БД_0^П. \quad (25)$$

В соответствии с (22), в каждой i -й $БД_i^П$ выделим две части: $БД_i^{1П}$ – та часть $БД_i^П$, которая входит в состав соответствующей $БД_i^1$, $БД_i^{2П}$ – часть $БД_i^П$, входящая в состав $БД_i^2$. Тогда эти части могут быть представлены

$$БД_i^П = БД_i^{1П} \cup БД_i^{2П}, \quad i = \overline{1, n}. \quad (26)$$

Аналогично, для каждой i -й $БД_i^A$: $БД_i^{1A}$ – та часть $БД_i^A$ которая входит в состав $БД_i^1$, $БД_i^{2A}$ – часть $БД_i^A$ входящая в состав $БД_i^2$, тогда

$$БД_i^A = БД_i^{1A} \cup БД_i^{2A}, \quad i = \overline{1, n}, \quad \text{следовательно,} \quad (27)$$

$$БД_i = (БД_i^{1A} \cup БД_i^{2A}) \cup (БД_i^{1П} \cup БД_i^{2П}), \quad i = \overline{1, n}. \quad (28)$$

Поскольку после создания базы общих пространственных данных производится ряд преобразований $БД_i$ (например, перенос слоя гидрографии из $БД_i^{1A}$ в $БД_0^A$), а необходимость в пространственной информации у пользователей информационных систем остается, необходимо установить соответствие между местом хранения данных в $БД_i^{1A}$ до преобразований и нынешним местом хранения данных в единой $БД_0^A$. Таким образом, для создания единой БД необходимо установить соответствие между элементами множеств $БД_i$ и $БД_0$, а для этого задать функцию, такую что

$$F_i: БД_i \rightarrow БД_0, \quad \text{где } i = \overline{1, n}. \quad (29)$$

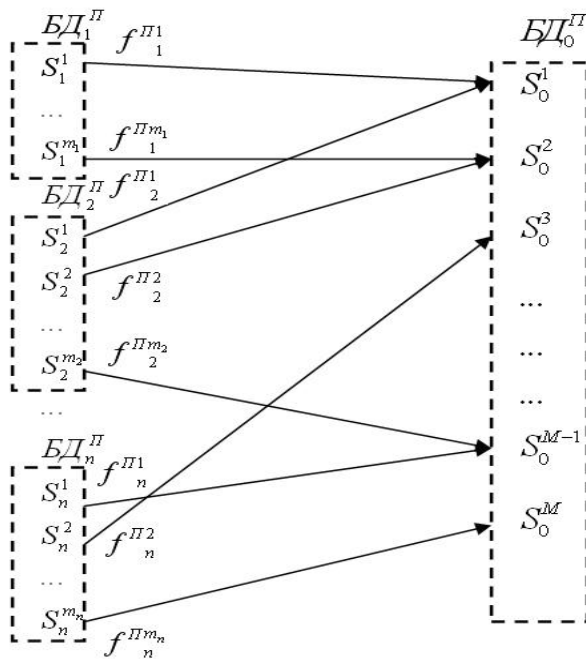


Рисунок 2 – Схема построения отображений для установления соответствия между слоями BD_0 и слоями в существующих BD_i

Выбор информации в процессе формирования базы общих пространственных данных может быть основан на использовании знаний о структурных особенностях ПД, вынесенных в отдельную категорию и помещенных в базу знаний, с моделью представления знаний, основанной на продукционных правилах. Фрагмент базы знаний, содержащий наиболее значимые знания о структурных и качественных признаках пространственной информации, в виде продукционных правил приведен в таблице. Результат использования правил для выбора слоев на основе количества объектов и наличия топологических отношений представлен на рисунке 3. Эта группа правил применяется для выбора слоёв, находящихся на территории некоторого региона, если в BD_0 существуют слои, описывающие классы пространственных объектов, приходящиеся на одну и ту же область региона ($B^{S_i^j} = B^{S_0^k}$) и имеющие одинаковые типы геометрии. Если области расположения таких слоев полностью совпадают, но число объектов в них не равно или в каком-либо слое присутствуют топологические отношения, то решение о выборе слоя должен принимать эксперт (рис 3, а, б).

В диссертации разработаны необходимые продукционные правила для формализованного представления знаний экспертов о структурных особенностях и семантике пространственной информации, использование которых позволяет организовать процесс интеллектуального выбора пространственной информации при переносе ее из БД различных информационных систем в единую БД, что позволит обеспечить ее актуальность.

Для пространственных данных, описывающих промышленные и природные объекты, в работе выделены пять типов топологических отношений (касаются, находятся внутри, пересекаются, перекрываются, не пересекаются) и операторы, реализующие проверку этих отношений, в которых объектно-численному описанию поставлено в соответствие описание, базирующееся на точечно-множественном подходе. Определены виды топологических отношений простран-

На рисунке 2 показан пример установления соответствия между слоями BD_0^{II} и слоями в BD_i^{II} , необходимого для нахождения соответствующего слоя в BD_0 в процессе обновления информации, производящегося из BD_i^I .

В результате построения всех отображений F_i появится возможность создать непротиворечивую структуру данных, необходимую для реализации единой базы данных, содержащую все отношения и слои, входящие ранее в BD_i , $i = \overline{1, n}$.

ственных данных на примере водных объектов, допустимые для соответствующих типов геометрии, исходя из свойств и особенностей физического расположения водных объектов по отношению друг к другу и необходимого набора связей, характеризующих топологические отношения, возникающие между объектами.

Фрагмент разработанной базы знаний

Группа правил установления принадлежности слоя некоторой территории (регион, район)	
$R_{1,1}$	Если $B^{S_i^j} \cap B^R = B^{S_i^j}$, то $S_i^j \in BD_0$
$R_{1,2}$	Если $B^{S_i^j} \cap B^R = \emptyset$ и $B^{S_i^j} \cap B^R \neq B^{S_i^j}$, то решение о принадлежности $S_i^j \in BD_0$ принимает эксперт
$R_{1,3}$	Если $B^{S_i^j} \cap B^R = \emptyset$, то $S_i^j \notin BD_0$
Правило выбора слоев на основе классов географических объектов	
$R_{2,1}$	Если $\forall (S_0^k \in BD_0, d_i^j \neq d_k^l)$, то $S_i^j \in BD_0$
Правило выбора непересекающихся слоев	
$R_{3,1}$	Если $\forall (S_0^k \in BD_0, d_i^j = d_k^l) B^{S_i^j} \cap B^{S_0^k} = \emptyset$, то $S_i^j \in BD_0$
.....	...
Группа правил выбора слоев на основе количества объектов, наличия топологических отношений и атрибутивной информации	
$R_{5,1}$	Если $\exists (S_0^k \in BD_0, d_i^j = d_0^k) B^{S_i^j} = B^{S_0^k}, T^{S_p} = T^{S_k} (g_0^k \neq g_i^j \text{ или } z_i^j \neq 0 \text{ или } z_0^k \neq 0)$, то решение о выборе слоя из S_0^k и S_i^j принимает эксперт
$R_{5,2}$	Если $\exists (S_0^k \in BD_0, d_i^j = d_0^k, B^{S_i^j} = B^{S_0^k}, T^{S_p} = T^{S_k} g_0^k = g_i^j) Atr_0^k = Atr_i^j$, то $S_i^j \notin BD_0$
$R_{5,3}$	Если $\exists (S_0^k \in BD_0, d_i^j = d_0^k, B^{S_i^j} = B^{S_0^k}, T^{S_p} = T^{S_k}, g_0^k = g_i^j) Atr_0^k \neq Atr_i^j$, то решение о выборе слоя из S_0^k и S_i^j принимает эксперт

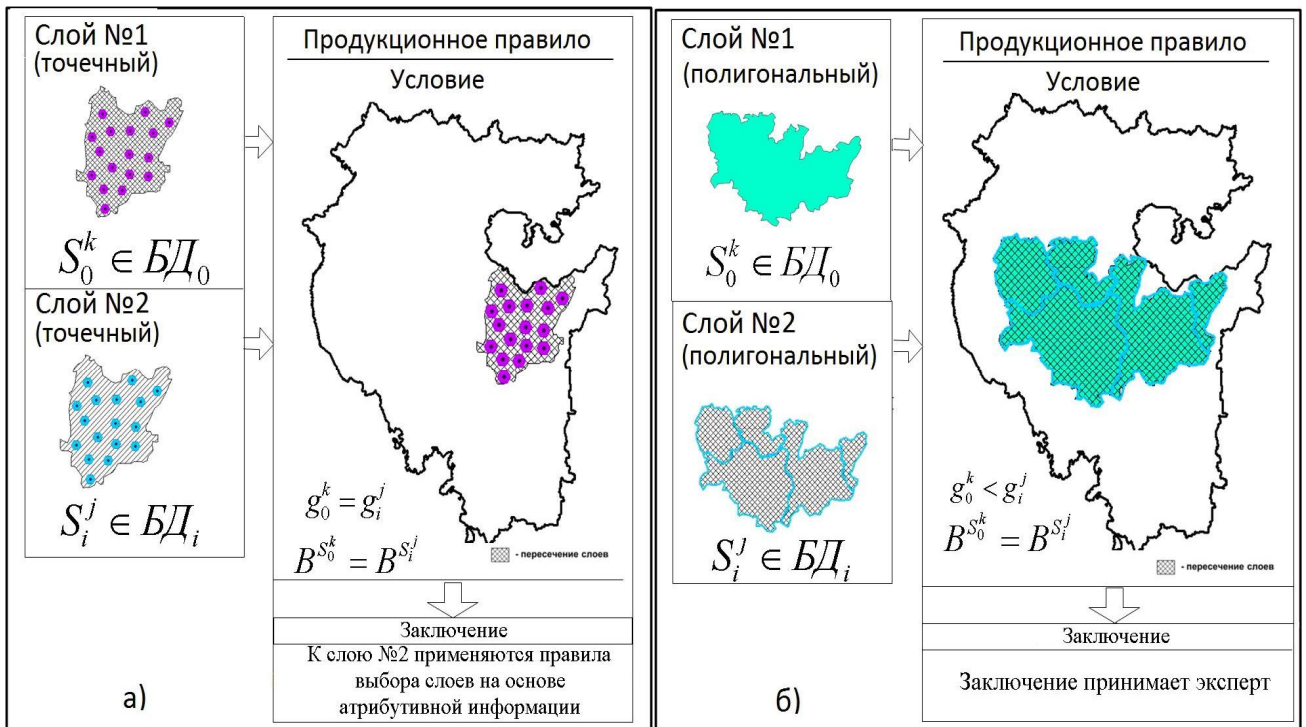


Рисунок 3 – Пример использования группы правил выбора слоев на основе количества объектов и топологии

Для обеспечения и поддержки качества и целостности пространственных данных, корректного ввода информации в базу пространственных данных, в работе рассмотрено решение задачи пространственной привязки промышленных объектов (на примере расстановки водозаборов промышленных предприятий на водном объекте), которая заключается в том, чтобы по заданному расстоянию от устья найти координаты точки, представляющей на водном объекте промышленный объект.

Пусть $T = \{(x_i, y_i)\}$, $i = \overline{0, n}$ – множество вершин ломаной линии, соответствующее некоторой реке. Обозначим

$$L = \{l_i : l_i = \sqrt{(x_{i-1} - x_i)^2 + (y_{i-1} - y_i)^2}\}, i = \overline{1, n} \quad (30)$$

– множество длин отрезков этой ломаной и

$$S = \{S_k : S_k = \sum_{i=1}^k l_i\}, k = \overline{1, n} \quad (31)$$

– множество расстояний от устья реки до вершин ломаной, описывающей ее в БД.

Пусть d – расстояние от устья реки до некоторого промышленного объекта, расположенного на данной реке и имеющего координаты (x^p, y^p) . Из определения множества S следует, что $\exists m \in [1, n]$ такое, что $S_{m-1} \leq d \leq S_m$. Тогда координаты данного промышленного объекта определяются соотношениями:

$$x_p = x_{m-1} + \frac{(d - S_{m-1})(x_m - x_{m-1})}{(S_m - S_{m-1})}, \quad (32)$$

$$y_p = y_{m-1} + \frac{(d - S_{m-1})(y_m - y_{m-1})}{(S_m - S_{m-1})}. \quad (33)$$

На множестве промышленных объектов $H_{ПрО} = \{H_{ПрО1}, H_{ПрО2}, \dots, H_{ПрОн}\}$ для каждого фрагмента речной сети введено отношение следования ω , определяющее возможность негативного воздействия одного объекта на другой. Для $\forall H_{ПрО i}, H_{ПрО j} \in H_{ПрО}$, если $t_j > t_i$, то $H_{ПрО j} \omega H_{ПрО i}$, т. е. $H_{ПрО j}, H_{ПрО i} \in W$, где W – упорядоченное множество «загрязненных» промышленных объектов.

Отношение ω обладает свойством транзитивности, т. е. если $H_{ПрО j} \omega H_{ПрО i}$ и $H_{ПрО i} \omega H_{ПрО h}$, то $H_{ПрО j} \omega H_{ПрО h}$, кроме того, оно несимметрично, т. е. $H_{ПрО j} \omega H_{ПрО i} \not\Rightarrow H_{ПрО i} \omega H_{ПрО j}$.

Полученная в результате пространственной привязки информация о промышленных объектах может быть использована при решении различных задач анализа взаимодействия промышленных и природных объектов, например, определение объектов, потенциально попадающих под воздействие загрязнения.

Построенные топологические отношения на основе набора правил целостности позволяют обеспечить унифицированность хранения и анализа данных, сохранить топологическую корректность при генерализации отображаемых объектов, осуществить корректный ввод пространственной информации в БД с целью повышения ее целостности, качества и получения достоверных результатов при решении задач анализа взаимодействия промышленных и природных объектов.

Разработаны методы обработки тематической пространственной информации, которые позволяют повысить качество информационной поддержки для анализа взаимодействия промышленных и природных объектов. В качестве примера в диссертации предложен метод определения характеристик подтопления про-

мышленных объектов в паводковый период. Рассмотрен промышленный регион с разветвленной сетью водных объектов. На некоторых реках расположены посты гидрологического контроля, на которых происходит измерение данных уровней поднятия воды, причём, $H_w^{sp}_i$ – уровень поднятия воды на i -м посту контроля (над уровнем моря), $i = 1 \dots N$. В качестве входной информации также используются высотные отметки рельефа (H^{iso}_i – высота i -й изолинии, $i = 1 \dots M$, H^{am}_i – высота i -й отметки высот, $i = 1 \dots L$). Необходимо определить зону подтопления в виде полигона Z^{FA} с площадью $S(Z^{FA})$, границей $B(Z^{FA})$ и глубиной $D(Z^{FA})$, которая будет образована при заданных уровнях поднятия воды на постах контроля $H_w^{sp}_i$ с использованием высотных данных о рельефе местности H^{iso}_i и H^{am}_i , если известен $H_f^{sp}_i$ – критический уровень поднятия воды на i -м посту (при котором река выходит на пойму), $i = 1 \dots N$, и определить промышленные объекты E_i ($i = 1 \dots K$), оказавшиеся в этой зоне.

Алгоритм определения характеристик подтопления промышленных объектов при паводках представлен в виде последовательности выполнения этапов:

- 1) построение вспомогательных слоев (поперечных створов, береговых линий и урезов воды);
- 2) определение замкнутого контура речной сети (необходимого набора данных для построения цифровой модели гидрологического уклона и последующего определения характеристик подтопления);
- 3) комплексная интерполяция (экстраполяция) данных по уровням поднятия воды на постах гидрологического контроля;
- 4) построение цифровой модели рельефа, модели гидрологического уклона и определение характеристик подтопления;
- 5) определения статистики населенных пунктов (в том числе промышленных объектов), попавших в зону подтопления.

Разработанный метод определения характеристик подтопления промышленных объектов при паводках позволяет определять площадь, границу, глубину подтопления и перечень промышленных объектов, оказавшихся в зоне подтопления, производить анализ полученных результатов для последующего снижения тяжести последствий для промышленных объектов в области подтопления.

В четвертой главе на основе проведенного системного анализа предметной области и предложенных в главе 2 операций над МИО построены две модели: модель данных на основе реляционных отношений и модель пространственных данных на основе МИО для анализа взаимодействия промышленных и природных объектов. Показано, что в реляционной модели данных описание взаимосвязей между различными сущностями выглядит достаточно громоздким и сложным для формирования запросов пользователя. Разработанная модель данных на основе МИО имеет более компактную по сравнению с реляционной форму записи. Заполнение этой модели данными, интересующими пользователя, позволяет также упростить формулировку запросов и сократить время поиска данных.

Модель пространственных данных представляет собой совокупность разнотипных МИО, объединенных по общим данным в один или несколько «веерных» МИО или модифицированных МИО согласно операциям над МИО, предложенным в диссертационной работе. Определено совместное и непротиворечивое описание распределенных данных по промышленным и природным объектам на еди-

ной методической основе. Показано соответствие между МИО и пространственными данными, описывающими промышленные и природные объекты в АСОИ П и ПрО с учетом трехуровневой системы управления на территории РБ:

T^0 – элементарная характеристика объекта (водного, размещения отходов и др.);

T^1 – полное описание точечного географического объекта (в зависимости от детальности информации (водозабор, несанкционированная свалка и т. д.));

T^2 – полное описание одного линейного географического объекта как совокупности точек, соединенных отрезками (например, река, ручей, канал);

T^3 – полное описание одного полигонального географического объекта как совокупности линий, ограничивающих его контур (например, озеро, полигон твердых бытовых отходов, особо охраняемая природная территория);

T^4 – описание группы однотипных объектов (например, речная сеть);

T^5 – описание всех рассматриваемых объектов с некоторой степенью детализации (например, речная сеть масштаба 1:200 000);

T^6 – описание всей совокупности пространственных данных по промышленным и природным объектам на территории, схема данного МИО имеет вид

$$S(T^6) = S^6 = \{ S_{Г1}, S_{Г2}, S_{Г3}, S_4, S_5, S_6 \}, \quad (34)$$

где $S_{Г1} = \{\text{Идентификаторы атрибутов}\}$, $S_{Г2} = \{\text{Идентификаторы узловых точек}\}$, $S_{Г3} = \{\text{Идентификаторы линий}\}$, $S_4 = \{\text{Идентификаторы объектов}\}$, $S_5 = \{\text{Типы объектов}\}$, $S_6 = \{\text{Уровни детализации (масштабы)}\}$.

T^7 – описание всех пространственных данных по промышленным и природным объектам для территориального подразделения или комитета РБ;

T^8 – описание пространственных данных по промышленным и природным объектам Республики Башкортостан, схема данного МИО имеет вид

$$S(T^8) = S^8 = \{ S_{Г1}, S_{Г2}, S_{Г3}, S_4, S_5, S_6, S_7, S_8 \}, \quad (35)$$

где $S_{Г1}, S_{Г2}, S_{Г3}, S_4, S_5, S_6$ определены в (29), $S_7 = \{\text{Идентификатор территориальной системы}\}$, $S_8 = \{\text{Идентификатор республиканской системы}\}$.

Модель данных также содержит метаданные пространственных данных, описываемые МИО T^6_M , со схемой:

$$S(T^6_M) = S^6_M = \{ S_{M1}, S_{M2}, S_{M3}, S_{M4}, S_{M5}, S_{M6} \}, \quad (36)$$

где $S_{M1} = \{\text{Метаатрибуты}\}$, $S_{M2} = \{\text{Код объекта}\}$, $S_{M3} = \{\text{Слои}\}$, $S_{M4} = \{\text{Масштабы}\}$, $S_{M5} = \{\text{Пользователи}\}$, $S_{M6} = \{\text{Территориальные системы}\}$.

В работе показано, что модель пространственных данных на основе МИО для анализа взаимодействия промышленных и природных объектов региона (на примере Республики Башкортостан) представлена в виде совокупности разнотипных МИО, описывающих объекты гидрографии, гидропосты, оперативные данные об уровнях подъема воды на гидропостах, объекты размещения промышленных отходов определяется как

$$\hat{T}_{Cm,VB,Г,OP,БЛ,Гн,Ph,ОПО}^{36} = \left(\left(\left(\tilde{T}_{Cm}^5 \cup \tilde{T}_{VB}^6 \right) \cup \left(\tilde{T}_{OP}^5 \cup \tilde{T}_{Г}^5 \right) \right) \cup \tilde{T}_{БЛ}^5 \right) \cup \left(T_H^4 \cup \tilde{T}_{Гн}^4 \cup T_{yp}^3 \right) \cup \left(\tilde{T}_{ОПО}^6 \cup \tilde{T}_{Ph}^4 \right), \quad (37)$$

где $\tilde{T}_{Г}^5$ – описание совокупности объектов гидрографии (линейных и полигональных); \tilde{T}_{OP}^5 , \tilde{T}_{VB}^6 , \tilde{T}_{Cm}^5 , $\tilde{T}_{Гн}^4$ – описание совокупности данных соответственно по осям рек, урезам воды, створам, гидропостам, расположенным на осях рек; T_H^4 – описа-

ние справочной информации по оперативным данным об уровнях подъема воды на гидropостах за все интервалы времени; T_{VB}^3 – описание данных о максимальных уровнях воды на гидropостах; \tilde{T}_{Pn}^4 – описание пространственной и атрибутивной информации об административных районах; \tilde{T}_{OPO}^6 – описание пространственной и атрибутивной информации об объектах размещения отходов.

Все вышеперечисленные МИО, включающие в себя пространственные и атрибутивные данные, являются разнотипными как с точки зрения семантики хранимой информации, так и с точки зрения различия их схем. Для объединения в единую модель пространственных данных для анализа взаимодействия промышленных и природных объектов региона используется введенная в диссертации операция объединения разнотипных МИО различных размерностей по общему элементу их схем. Особенность разработанной модели пространственных данных на основе МИО состоит в том, что она является структурной основой интеграции всей пространственной информации для анализа взаимодействия промышленных и природных объектов РБ и позволяет в более компактной форме по сравнению с информационной моделью описать разнородную распределенную пространственную информацию, автоматизировать процессы сбора, хранения и обработки этой информации и, в конечном итоге, повысить оперативность (быстродействие) запросов пользователей.

В пятой главе разработаны алгоритмы и программная реализация предложенных методов совместного описания, хранения и дальнейшей тематической обработки пространственной информации для анализа взаимодействия промышленных и природных объектов. Разработаны алгоритмы построения топологических отношений пространственных объектов, извлечения и использования данных интегрированной базы данных АСОИ П и ПрО на основе МИО, генерализации разнородной территориально распределенной пространственной информации на основе МИО, тематической обработки пространственной информации (на примере обработки данных для определения характеристик подтопления промышленных объектов при паводках). Разработанные алгоритмы позволяют осуществить весь цикл работы с информацией в реляционной и многомерной моделях данных от первоначального ввода до длительного хранения, поиска и обработки с сохранением достоверности и целостности данных и реализовать программное обеспечение АСОИ. Результат использования пространственных данных по промышленным и природным объектам совместно с информацией из подсистем территориальных подразделений приведен на рисунке 4 в виде блок-схемы алгоритма определения объема образования промышленных отходов в разрезе муниципальных образований.

Представлено описание разработанного программного обеспечения автоматизированной системы обработки информации для анализа взаимодействия промышленных и природных объектов РБ, которая представляет собой взаимосвязанную совокупность информационных ресурсов и технологий, обеспечивающих ввод, хранение, обработку и интегрированное представление пространственных и соотнесенных с ними атрибутивных данных для информационной поддержки принятия стратегических и оперативных решений для анализа взаимодействия промышленных и природных объектов на территории РБ. Логическая структура системы приведена на рисунке 5. На сегодняшний день в составе АСОИ П и ПрО реализованы следующие функциональные подсистемы:

- автоматизированная информационная подсистема по формированию и ведению регионального кадастра отходов (АИС «Кадастр отходов»);
- автоматизированная информационная подсистема ведения сведений об инспекционной деятельности (АИС «Инспекционная деятельность»);
- подсистема информационного обеспечения контроля развития паводковой ситуации (ГИС «Паводок»);
- автоматизированная система ведения реестра территорий, загрязненных нефтепродуктами (АИС «Реестр загрязненных территорий»);
- ГИС «Особоохраняемые природные территории» (ГИС «ООПТ»).

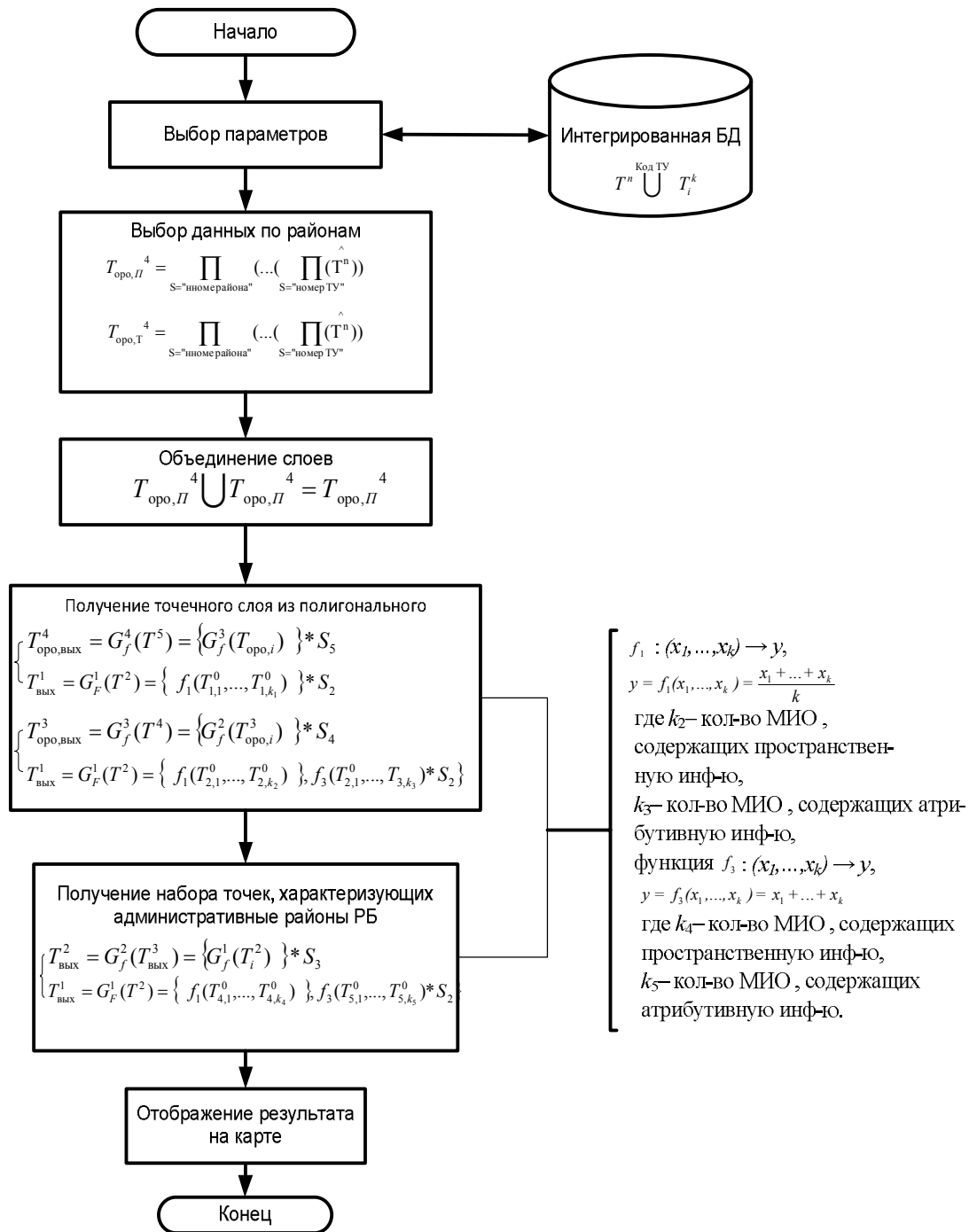


Рисунок 4 – Блок-схема алгоритма для определения объема образования промышленных отходов в разрезе муниципальных образований



Рисунок 5 – Логическая структура АСОИ П и ПрО

Одним из результатов комплексного использования разнородных данных из информационных подсистем ГИС «Паводок» и подсистемы «Кадастр отходов», входящих в состав АСОИ П и ПрО, является получение перечня предприятий, сгруппированных по какому-либо атрибутивному (например, виду экономической деятельности) или пространственному признаку (расположение на особой территории) с последующим анализом взаимодействия промышленных и природных объектов (на рисунке 6 показана возможность просмотра информации о промышленном объекте – предприятии, расположенном в непосредственной близости от зоны затопления).

Экспериментальное исследование эффективности использования предложенной АСОИ П и ПрО показало:

1. Адекватность разработанных моделей, методов и алгоритмов требованиям специалистов Центрального аппарата Минэкологии РБ, его территориальных подразделений, отдела водных ресурсов по РБ Камского бассейнового водного управления при решении задач анализа взаимодействия промышленных и природных объектов на территории РБ.

2. Применение разработанного метода построения топологических отношений пространственных объектов позволило достичь сокращения логических единиц хранения пространственных данных, используемых для анализа взаимодействия промышленных и природных объектов, в среднем в 3,65 раз без потери информации, и сокращения времени, затрачиваемого на её поиск, на 60 %.

3. Сокращение размеров единой БД за счёт её интеграции с БД информационных подсистем составляет примерно 67 %. А снижение затрат на поддержание БД АСОИ П и ПрО в актуальном состоянии может составлять 45 – 90 % в зависимости от соотношения операций изменения и добавления данных.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Разработана концепция интегрированной обработки пространственной информации, базирующаяся на интеграции многомерных моделей данных и геоинформационных технологий и обеспечивающая последовательное выполнение основных этапов информационных технологий для логического описания, эффективного хранения и обработки пространственной информации. Это позволяет разрабатывать современные системы обработки информации, необходимые для эффективной и оперативной информационной поддержки принятия решений для анализа взаимодействия промышленных и природных объектов на уровне региона.

2. Разработана методология использования многомерных информационных объектов для логического описания интегрированной пространственной информации о промышленных и природных объектах, базирующаяся на основе нового типа структур, позволяющего более компактно, по сравнению с реляционным подходом, производить описание пространственной информации на этапе логического моделирования данных. Исследована возможность обобщения понятия схемы отношения для описания структуры МИО различных размерностей и показана возможность использования схемы как критерия их совместимости при объединении. Введены основные операции над однотипными и разнотипными МИО, которые позволяют осуществить рациональное хранение пространственной информации; организовать ввод, корректировку, манипулирование и поиск информации, а также упростить процедуру формирования запросов и сократить количество операций поиска по сравнению с поиском в реляционной модели данных.

Рассмотрено решение задачи генерализации разнородной и распределенной пространственной информации о промышленных и природных объектах на основе МИО, для чего введены новые операции (простого и обобщенного изменения МИО и операция пространственной генерализации), позволяющие описать преобразование отдельных элементов данных отдельных объектов или групп объектов, что является необходимым при выполнении генерализации пространственной информации и передаче ее в обобщенной форме с одного организационного уровня управления на другой при сохранении ее целостности.

3. Разработаны методы организации эффективного хранения пространственной информации для анализа взаимодействия промышленных и природных объектов, которые включают:

- объединение данных из различных информационных систем в единую систему обработки информации, основанного на формальном анализе баз атрибутивных и пространственных данных, входящих в состав действующих информационных систем, и формировании структуры базы общих пространственных данных в процессе ее создания и актуализации при изменении состава и/или числа источников информации; при этом за счет объединения данных в единую систему обработки информации и исключения дублирования информации значительно сокращается размер единой БД (примерно 67 %), по сравнению с размерами БД существующих информационных систем, и появляется возможность уменьшить требуемое количество ресурсов для поддержания БД;

- организацию процесса интеллектуального выбора (семантического анализа) пространственной информации при ее переносе из баз данных существующих информационных систем в единую базу пространственных данных, основанного

на формализации и использовании знаний экспертов о структурных особенностях пространственных данных в виде продукционных правил;

– построение топологических отношений пространственных объектов на основе использования набора правил целостности и пространственных условий, определяющих поведение пространственно взаимосвязанных географических объектов и объектных классов. Это позволяет организовать унифицированность хранения и анализа данных на основе топологических отношений, эффективное хранение единого набора отношений вместо отдельных данных для каждого масштаба, сохранить топологическую корректность при генерализации отображаемых объектов, корректный ввод пространственной информации в БД с целью повышения ее целостности и качества. Построение топологических отношений пространственных данных позволяет достичь сокращения логических единиц хранения пространственной информации, в среднем в 3,65 раз без потери данных, и сокращения времени, затрачиваемого на поиск информации, на 60 %.

4. Разработаны методы совместного описания информации при ее хранении в базе данных и дальнейшей тематической обработке в единую информационную технологию, позволяющие:

– на основе теоретико-множественных отношений реализовать единый подход к совместному описанию атрибутивной и пространственной информации о промышленных и природных объектах, необходимых для расчета характеристик природных и техногенных процессов;

– организовать тематическую обработку пространственной информации и анализировать полученные результаты для предотвращения или снижения отрицательного взаимодействия промышленных и природных объектов.

5. Разработана модель пространственных данных, в которой весь массив информации представлен в виде совокупности однотипных и разнотипных МИО и операций над ними, позволяющая логически описать разнородную распределенную пространственную и атрибутивную информацию о промышленных и природных объектах на уровне субъекта РФ (на примере Республики Башкортостан), организовать более эффективное хранение и обработку пространственной информации, по сравнению с реляционной моделью данных и в конечном итоге, создавать современные системы обработки информации для анализа взаимодействия промышленных и природных объектов промышленного региона.

6. Разработаны алгоритмы и программная реализация предложенных методов хранения, обработки и интеграции пространственных данных техногенных и природных объектов и процессов, осуществляющие весь цикл работы с разнородной информацией, возникающей и хранящейся в различных промышленных предприятиях (организациях), от первоначального ввода до длительного хранения, поиска, обработки и представления пространственных и соотнесенных с ними атрибутивных данных для более эффективной информационной поддержки принятия решений при решении задач анализа взаимодействия промышленных и природных объектов.

Экспериментальное исследование эффективности использования предложенной АСОИ П и ПрО показало адекватность разработанных моделей, методов и алгоритмов требованиям специалистов Центрального аппарата Минэкологии РБ, его территориальных подразделений, отдела водных ресурсов по РБ Камского бас-

сейнового водного управления при решении задач анализа взаимодействия промышленных и природных объектов на уровне субъекта РФ (на примере Республики Башкортостан). Сокращение размеров единой БД за счёт её интеграции с БД информационных подсистем составляет примерно 67 %. Снижение затрат на поддержание БД АСОИ П и ПрО в актуальном состоянии может составлять 45 – 90 % в зависимости от соотношения операций изменения и добавления данных. Оптимизация алгоритмического обеспечения позволила существенно сократить время расчёта характеристик некоторых техногенных и природных объектов (например, зон подтоплений), среднее значение повышения скорости работы отдельных подсистем в составе АСОИ П и ПрО составляет 19,37 %.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в рецензируемых журналах из списка ВАК

1. Интеграция геоинформационных систем в корпоративные информационные системы крупных предприятий и организаций / С. В. Павлов, Р. З. Хамитов, О. И. Христуло // Вестник УГАТУ. Управление, вычислительная техника и информатика: научн. журн. Уфимск. гос. авиац. техн. ун-та. 2007. Т. 9, № 2 (20). С. 50–57.
2. Разработка геоинформационной модели речной сети с учётом картографической, гидрологической и морфометрической информации для определения границ зон затопления при изменении уровня воды в водных объектах / С. В. Павлов, Р. Р. Шарафутдинов, О. И. Христуло // Вестник УГАТУ. Управление, вычислительная техника и информатика: научн. журн. Уфимск. гос. авиац. техн. ун-та. 2008. Т. 11, № 1 (28). С. 18–27.
3. Геоинформационная система для управления водными ресурсами на территориальном уровне (на примере республики Башкортостан) / С. В. Павлов, С. А. Абрамов, Р. А. Шкундина, О. И. Христуло // Геоинформатика. 2008. № 4. С. 14–20.
4. Совместное описание пространственных и атрибутивных данных на основе многомерных информационных объектов / С. В. Павлов, О. И. Христуло // Научно-технические ведомости СПбГПУ. 2011. № 3 (126). С. 37–42.
5. Семантический анализ пространственной природоресурсной и природоохранной информации из баз пространственных данных на основе продукционных правил / С. В. Павлов, О. И. Христуло, А. С. Павлов // Современные проблемы науки и образования. 2011. № 4. URL: <http://www.science-education.ru/98-4729>.
6. Интеграция и генерализация разнородной территориально распределённой пространственной информации на основе многомерных моделей данных для задач, связанных с управлением природными ресурсами / О. И. Христуло // Вестник УГАТУ. Управление, вычислительная техника и информатика: научн. журн. Уфимск. гос. авиац. техн. ун-та. 2011. Т. 15, № 2 (42). С. 39–44.
7. Совместное описание пространственных и атрибутивных данных на основе многомерных информационных объектов / О. И. Христуло // Программные продукты и системы. 2011. № 3 (95). С. 48–54.
8. Разработка метода объединения данных из различных информационных систем в единую информационную систему Минэкологии РБ / С. В. Павлов, О. И. Христуло // Вестник УГАТУ. Управление, вычислительная техника и информатика: научн. журн. Уфимск. гос. авиац. техн. ун-та. 2011. Т. 15, № 2 (42). С. 3–7.

9. Интеграция автоматизированной системы «Реестр загрязненных территорий» с комплексной ГИС по управлению природными ресурсами и охраной окружающей среды Республики Башкортостан / О. И. Христовуло // Геоинформатика. 2011. № 4. С. 1–6.

10. Интеграция пространственной и атрибутивной информации для комплексного анализа загрязнения территории РБ нефтепродуктами / С. В. Павлов, О. И. Христовуло // Нефтегазовое дело. 2011. № 6. С. 37–45. URL: http://www.ogbus.ru/authors/Pavlov/Pavlov_2.pdf.

11. Генерализация разнородной территориально распределенной пространственной природоресурсной информации промышленного региона на основе многомерных информационных объектов / О. И. Христовуло // Открытое образование. 2012. № 1. С. 51–60.

Монографии

12. Проблемы построения виртуальных образовательных систем / М. Б. Гузаиров, Б. Г. Ильясов, Ю. С. Кабальнов, Е. А. Кузьмина, О. И. Христовуло / Уфа: Изд. Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т, 2001. – 139 с.

13. Информационное обеспечение оценки состояния водных ресурсов и управления ими на основе геоинформационных технологий / С. В. Павлов, В. Г. Крымский, О. И. Христовуло / М.: Изд. «ООО Дата+», 2010. – 284 с.

Свидетельства об официальной регистрации программ для ЭВМ

14. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №2008614885. Программное обеспечение статистической обработки и картографической интерпретации состояния паводковой ситуации / Р. Р. Загидуллин, С. В. Павлов, Р. Р. Шарафутдинов, О. И. Христовуло. Зарег. 10.10.2008.

15. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №2008614884. Программное обеспечение для расчёта и визуального отображения зон затоплений при изменении уровня воды в водных объектах / Т. Ф. Кудашев, С. В. Павлов, Р. Р. Шарафутдинов, О. И. Христовуло. Зарег. 10.10.2008.

16. Свидетельство о государственной регистрации программ № 2009614842. Программа поиска метаданных в распределенных источниках информации / А. С. Павлов, С. В. Павлов, О. И. Христовуло. Зарег. 07.09.2009.

17. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2012616622. Программное обеспечение ведения справочника природопользователей / О. И. Христовуло, А. Х. Абдуллин, З. Л. Давлетбакова. Зарег. 24.07.2012.

18. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2012616623. Программное обеспечение ведения регионального кадастра отходов / О. И. Христовуло, А. Х. Абдуллин, З. Л. Давлетбакова. Зарег. 24.07.2012.

Другие публикации

19. Использование тензорных структур и баз данных для построения адаптивных автоматизированных систем обработки информации о результатах испытаний ракетно-космической техники / С. В. Павлов, В. А. Ершова, О. И. Христовуло // Новые материалы и технологии машиностроения: тр. Российской науч.-техн. конф. М, 1993. С. 18–22.

20. Тензорные структуры данных применительно к проектированию автоматизированных систем обработки результатов испытаний регулируемых энергоус-

тановок / С. В. Павлов, О. И. Христодуло // Ракетно-космическая техника: научно-техн. сб. Уфа: Изд. УГАТУ. Серия 14. Выпуск 2(38), 1994. С. 101–107.

21. Хранение и обработка данных в информационных системах реального времени с использованием многомерных технологий / Д. В. Ивлев, Ю. С. Кабальнов, А. А. Левков, О. И. Христодуло // Компьютерные науки и информационные технологии: тр. III Междунар. конф. Уфа, 2000. С. 210–215. (Опубл. на англ. языке)

22. Применение многомерных технологий в информационных системах реального времени / Д. В. Ивлев, Ю. С. Кабальнов, А. А. Левков, О. И. Христодуло // Вопросы управления и проектирования в информационных кибернетических системах: межвуз. научн. сб. Уфа: Изд. УГАТУ, 2001. С. 141–151.

23. Разработка корпоративной геоинформационной системы Федерального Агентства водных ресурсов / С. В. Павлов, Р. З. Хамитов, О. И. Христодуло // Компьютерные науки и информационные технологии: тр. VI Междунар. конф. Будапешт, Венгрия, 2004. Т. 1. С. 62–66. (Опубл. на англ. языке)

24. Межведомственная интеграция пространственных данных в области водных отношений / А. Б. Никитин, С. В. Павлов, О. И. Христодуло // Геоинформационные технологии в проектировании и создании корпоративных информационных систем: межвуз. научн. сб. Уфа: Изд. УГАТУ, 2007. С. 5–20.

25. Автоматизированная система информационного обеспечения контроля развития паводковой ситуации в Республике Башкортостан / И. Н. Зайтов, О. И. Христодуло, Р. Р. Шарафутдинов // Управление водно-ресурсными системами в экстремальных условиях: тр. Всерос. конф. Москва, 2008. С. 219–220.

26. Применение геоинформационных технологий для поддержки принятия решений по управлению водными ресурсами в экстренных случаях и чрезвычайных ситуациях / С. А. Абрамов, Р. А. Шкундина, О. И. Христодуло // Геоинформационные технологии в проектировании и создании корпоративных информационных систем: межвуз. научн. сб. Уфа: Изд. УГАТУ, 2008. С. 190–200.

27. Разработка геоинформационной модели речной сети с учётом картографической, гидрологической и морфометрической информации для расчёта зон затоплений при разливах рек на примере республики Башкортостан / И. Н. Зайтов, О. И. Христодуло, Р. Р. Шарафутдинов // Компьютерные науки и информационные технологии: тр. X Междунар. конф. Анталия, Турция, 2008. Т. 1. С. 112–122. (Опубл. на англ. языке)

28. Расчет зон весенних паводков с использованием цифровой модели территории и данных гидрологических станций / С. В. Павлов, Р. Р. Шарафутдинов, О. И. Христодуло // Пользователи продуктов ESRI: тр. XXIII Европ. конф. Лондон, Великобритания, 2008. С. 4–5. (Опубл. на англ. языке)

29. Опыт создания и перспективы развития корпоративных геоинформационных систем / С. В. Павлов, О. И. Христодуло // Инновационные информационные технологии. Теория и практика: тр. междунар. сем. Уфа, 2009. С. 57–63. (Опубл. на англ. языке)

30. Интеграция разнородных данных и методов их обработки для управления территориально-распределенными объектами на основе ГИС / С. В. Павлов, О. И. Христодуло // Компьютерные науки и информационные технологии: тр. XI Междунар. конф. Крит, Греция, 2009. Т. 1. С. 29–37. (Опубл. на англ. языке)

31. Перспективы интеграции OLAP в ГИС Росводресурсы / А. Р. Гизатуллин, И. И. Касимов, С. В. Павлов, О. И. Христодуло // Компьютерные науки и ин-

формационные технологии: тр. XI Междунар. конф. Крит, Греция, 2009 . Т. 1. С. 244–248. (Опубл. на англ. языке)

32. Интеграция картографической, реляционной, профильной и сетевой моделей для определения границ зон затоплений при изменении уровня поднятия воды в реках / И. Н. Заитов, С. В. Павлов, Р. Р. Шарафутдинов, О. И. Христодуло // Геоинформационные технологии в проектировании и создании корпоративных информационных систем: межвуз. научн. сб. Уфа: Изд. УГАТУ, 2009. С. 36–47.

33. Интеграция информационных систем по формированию и ведению регионального кадастра отходов и «Инспекционная деятельность» для Минэкологии РБ / А. Х. Абдуллин, И. Н. Заитов, С. В. Павлов, О. И. Христодуло // Геоинформационные технологии в проектировании и создании корпоративных информационных систем: межвуз. научн. сб. Уфа: Изд. УГАТУ, 2010. С. 88–94.

34. Разработка единой геоинформационной системы по управлению природными ресурсами для Минэкологии РБ / С. В. Павлов, О. И. Христодуло // Инновационные информационные технологии. Теория и практика: тр. междунар. сем. Уфа, 2011. С. 88–92. (Опубл. на англ. языке)

35. Разработка комплексной автоматизированной системы поддержки принятия решений по управлению природными ресурсами и охране окружающей среды РБ / О. И. Христодуло // Геоинформационные технологии в проектировании и создании корпоративных информационных систем: межвуз. научн. сб. Уфа: Изд. УГАТУ, 2011. С. 146–155.

36. Интегрированная обработка природоресурсной информации промышленного региона на основе метода многомерного моделирования данных / О. И. Христодуло // Компьютерные науки и информационные технологии: тр. XIII Междунар. конф. Германия, 2001. Т. 1. С. 160–165. (Опубл. на англ. языке)

37. Комплексное использование геоинформационных технологий для решения природоохранных задач в Республике Башкортостан / С. В. Павлов, О. И. Христодуло // Геоинформационные технологии и космический мониторинг: тр. IV Междунар. конф. Ростов на Дону, 2011. С. 69–73.

38. Применение пространственной интерполяции при интеграции данных в ГИС / С. В. Плеханов, О. И. Христодуло // Геоинформационные технологии в проектировании и создании корпоративных информационных систем: межвуз. научн. сб. Уфа: Изд. УГАТУ, 2012. С. 52–56.

39. Основные принципы интегрированной обработки пространственной информации для оценки и контроля взаимного влияния объектов промышленности и окружающей среды / С. В. Павлов, О. И. Христодуло // Геоинформационные технологии в проектировании и создании корпоративных информационных систем: межвуз. научн. сб. Уфа: Изд. УГАТУ, 2012. С. 63–71.

40. Интегрированная обработка пространственной информации на основе геоинформационных технологий (на примере анализа взаимодействия промышленных и природных объектов) / С. В. Павлов, О. И. Христодуло, Л. М. Валиева // Геоинформационные технологии и космический мониторинг: тр. V Междунар. конф. Ростов на Дону, 2012. С. 40–44.

ХРИСТОДУЛО Ольга Игоревна

**ИНТЕГРИРОВАННАЯ ОБРАБОТКА
ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ИНФОРМАЦИИ
НА ОСНОВЕ МНОГОМЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ ДАННЫХ
И ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
(на примере анализа взаимодействия
промышленных и природных объектов)**

**Специальность 05.13.01 – Системный анализ, управление и
обработка информации (в промышленности)**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Подписано к печати -----20--. Формат 60×84 1/16.
Бумага офсетная. Печать плоская. Гарнитура Times New Roman Суг.
Усл. печ. л. 1, 0. Усл. кр.-отт. 1,0. Уч.–изд. л.0,9.
Тираж 100 экз. Заказ № 560.

ГОУВПО Уфимский государственный авиационный технический университет
Центр оперативной полиграфии
450000, Уфа-центр, ул. К.Маркса, 12