

На правах рукописи

ГИЗАТУЛЛИН Артур Римович

**ОБРАБОТКА ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ИНФОРМАЦИИ
ДЛЯ ОЦЕНКИ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРОМЫШЛЕННОСТИ
НА КАЧЕСТВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОДНЫХ
ОБЪЕКТОВ (НА ПРИМЕРЕ ЗОНЫ ПРОВЕДЕНИЯ
ОЛИМПИАДЫ СОЧИ-2014)**

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

**АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Уфа – 2010

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

Научный руководитель

д-р техн. наук, проф.
ПАВЛОВ Сергей Владимирович

Официальные оппоненты

д-р техн. наук, проф.
КРЫМСКИЙ Виктор Григорьевич,
каф. информационно-управляющих систем
Уфимской государственной
академии экономики и сервиса

канд. техн. наук, доц.
ЛЕВКОВ Александр Александрович,
каф. информатики Уфимского
государственного авиационного
технического университета

Ведущая организация

Государственное унитарное предприятие
**«Научно-исследовательский институт
безопасности жизнедеятельности
Республики Башкортостан»**, г. Уфа

Защита состоится « 24 » декабря 2010 г. в 10-00 часов
на заседании диссертационного совета Д-212.288.03
при Уфимском государственном авиационном техническом университете
по адресу: 450000, г. Уфа, ул. К. Маркса, 12

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета

Автореферат разослан «__» ноября 2010 года.

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

В. В. Миронов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы

Водные ресурсы как разновидность природных ресурсов играют существенную роль в развитии экономики Российской Федерации, поскольку без обеспечения населения чистой питьевой водой и определенных запасов водных ресурсов не может быть обеспечено высокое качество жизни и дальнейшее социально-экономическое развитие общества. Водные объекты и ресурсы характеризуются значительной неравномерностью распределения по территории России. В европейской части РФ сосредоточено более 70 процентов населения и производственного потенциала, на которые приходится около 10 процентов водных ресурсов. Таким образом, рациональное управление водными ресурсами, защита и охрана водных объектов от негативного воздействия промышленных предприятий является одной из первостепенных задач по жизнеобеспечению государства.

Вместе с тем, в Российской Федерации существуют отдельные территории, к экологической обстановке в которых уделяется повышенное внимание как со стороны правительства и населения страны, так и международного сообщества, в связи с политической значимостью и резонансными событиями, которые там будут происходить. Одним из таких значимых событий является проведение XXII Олимпийских и XI Паралимпийских зимних игр на территории города Сочи в 2014 году (далее Олимпиада Сочи-2014).

В связи с тем, что окружающая среда является третьим измерением олимпийского движения, наравне со спортом и культурой, комплексный мониторинг и оценка состояния водных и других природных объектов, позволяющие повысить их защищенность от отрицательного воздействия существующих и вновь строящихся промышленных и спортивных объектов, являются важными и необходимыми задачами органов государственной власти различных уровней. Поскольку строительство олимпийских объектов, дорог и других объектов инфраструктуры при подготовке и проведении Олимпиады Сочи-2014 может привести к дополнительному промышленному загрязнению и истощению природных и, в том числе, водных объектов. При этом основным фактором, влияющим на качество принимаемых решений по защите водных объектов от вредного воздействия промышленности, является наличие у ответственных лиц актуальной, полной и точной пространственной и атрибутивной информации, описывающей водные объекты и их состояние, посты мониторинга и промышленности (заводы, промышленные предприятия и др.), характеризующиеся протяженностью и распределенностью по всей территории проведения Олимпиады Сочи-2014. В связи с этим при организации информационного обеспечения процессов контроля и управления для оценки воздействия промышленности на качественные характеристики водных объектов, в качестве технологической основы предпочтительнее и наиболее перспективно использовать геоинформационные системы (ГИС).

Аспектам проектирования и создания систем информационного обеспечения управления в различных отраслях, в том числе для управления водными ресурсами, посвящены работы отечественных и зарубежных авторов, в частности работы Р. З. Хамитова, Б. Г. Ильясова, В. Г. Крымского, В. И. Данилова-Данильяна, М. А. Шахраманьяна, Н. И. Юсуповой, В. Г. Пряжинской, М. В. Болгова, В. И. Ва-

сильева, Э. Кодда, Ш. Шекхара, Р. Томлинсона, М. Эгенхофера и др., однако, в них обработке пространственной информации для оценки воздействия промышленности на качественные характеристики водных объектов с применением геоинформационных технологий уделялось недостаточно внимания, поэтому данная задача является актуальной как в теоретическом, так и в практическом плане.

Цель и задачи исследования

Целью исследования является разработка методов и алгоритмов обработки пространственной информации и их применение для оценки воздействия промышленности на качественные характеристики водных объектов, для повышения эффективности информационной поддержки процессов оценки и снижения вредного воздействия промышленности на состояние водных объектов.

Для достижения поставленной цели в диссертационной работе необходимо решить следующие задачи:

1. На основе системного анализа процессов и информации, используемой для оценки воздействия промышленности на состояние водных объектов в Российской Федерации, сформулировать требования к составу и виду пространственной и атрибутивной информации.

2. Разработать метод совместного описания и обработки (геокодирования информации о водопользователях, в том числе, объектов промышленности, верификации номеров государственной регистрации водопользователей и др.) разнородной (по типу, способу описания и формату) пространственной информации из различных источников (бумажных и электронных документов Государственного водного реестра, статистической отчетности об использовании воды, протоколов результатов мониторинга состояния водных объектов и др.) для оценки воздействия промышленности на качественные характеристики водных объектов для последующего определения объектов промышленности, оказывающих вредное воздействие на состояние водных объектов.

3. Разработать метод определения объектов промышленности, оказывающих негативное воздействие на качественные характеристики водных объектов, для оперативного установления потенциальных предприятий-загрязнителей.

4. Разработать метод визуализации пространственной информации, представленной в виде многомерных информационных объектов, о результатах мониторинга состояния водных объектов для сокращения времени оценки воздействия промышленности на состояние водных объектов.

5. Разработать функциональную и информационную модели процесса обработки пространственной информации для оценки воздействия промышленности на качественные характеристики водных объектов.

6. Разработать алгоритмы и их программную реализацию для информационной поддержки процессов оценки и снижения вредного воздействия промышленности на состояние водных объектов (на примере зоны проведения Олимпиады Сочи-2014).

Методика исследования

В работе использовались методы системного анализа сложных систем, структурного анализа и проектирования (*SADT*), унифицированный язык моделирования (*UML*), математический аппарат теории множеств, методы геоинформа-

ционного моделирования, концепция многомерных моделей данных, теория реляционных и объектно-ориентированных баз данных.

Научная новизна

Научная новизна работы содержится в следующих результатах:

1. Метод совместного описания и обработки пространственной информации для оценки воздействия промышленности на качественные характеристики водных объектов, основанный на теоретико-множественном описании с единых методических позиций разнородной пространственной информации из различных источников, позволяющий в последующем определить объекты промышленности, оказывающие вредное воздействие на состояние водных объектов.

2. Метод определения объектов промышленности, оказывающих негативное воздействие на качественные характеристики водных объектов, отличающийся построением границ водосборных бассейнов для любых точек забора воды (в частности, мобильных постов мониторинга), на которых было зарегистрировано превышение нормативного значения загрязняющего вещества, позволяющий определить перечень потенциальных предприятий-загрязнителей на основе информации об их местоположении и перечне сбрасываемых веществ.

3. Метод визуализации пространственной информации, представленной в виде многомерных информационных объектов, о результатах мониторинга состояния водных объектов, отличающийся использованием предложенного в работе объектно-полевого преобразования многомерных информационных объектов, позволяющий осуществить переход от объектной модели пространственных данных к полевой модели данных и, тем самым, сократить время для оценки воздействия промышленности на качественные характеристики водных объектов.

Практическая значимость

Практическую значимость работы представляют следующие результаты:

1. Функциональная и информационная модели процесса оценки воздействия промышленности на качественные характеристики водных объектов (на примере зоны проведения Олимпиады Сочи-2014), позволяющие разработать алгоритмы и базу пространственных данных геоинформационной системы органов государственной власти, осуществляющих контроль состояния водных объектов.

2. Алгоритмы и их программная реализация в составе ГИС для информационной поддержки процессов оценки и снижения вредного воздействия промышленности на состояние водных объектов (на примере зоны проведения Олимпиады Сочи-2014), позволяющие автоматизировать процессы ввода результатов мониторинга состояния водных объектов, определения предприятий, негативно воздействующих на водные объекты, верификации номеров государственной регистрации водопользователей (в том числе, промышленности), геокодирования промышленных предприятий на основе информации о водопользователях из Государственного водного реестра, построения водосборных бассейнов для любых точек забора воды.

Основные результаты работы внедрены в Кубанском бассейновом водном управлении Федерального агентства водных ресурсов (свид. об офиц. рег. программы для ЭВМ: № 2009641665 от 1.09.2009 г. и № 2009614389 от 20.08.2009 г.), а также в учебном процессе УГАТУ.

Связь темы исследования с научными программами

Работа выполнена в период 2007–2010 гг. на кафедре геоинформационных систем Уфимского государственного авиационного технического университета в рамках государственных контрактов № И-07-04 «Развитие геоинформационной системы Росводресурсов» (2007), № И-08-08 «Наполнение базы атрибутивных данных ГИС Росводресурсов специализированной информацией и разработка дополнительных функций» (2008), № И-09-01 «Разработка информационной системы представления сведений о состоянии водных объектов в зоне проведения олимпийских игр Сочи-2014 (ИС Олимп-Вода)» (2009), № И-10-14 «Разработка подсистемы ввода, обработки, хранения и формирования отчетов о состоянии водных объектов в зоне проведения олимпийских игр Сочи-2014 в составе ИС Олимп-Вода» (2010) и договора № ИФ-ГС-18-09-ХК «Разработка геоинформационных компонентов информационной системы представления сведений о состоянии водных объектов в зоне проведения олимпийских игр Сочи -2014 (ИС Олимп-Вода)» (2009).

На защиту выносятся

1. Метод совместного описания и обработки пространственной информации для оценки воздействия промышленности на качественные характеристики водных объектов.
2. Метод определения объектов промышленности, оказывающих вредное воздействие на качественные характеристики водных объектов.
3. Метод визуализации пространственной информации представленной в виде многомерных информационных объектов о результатах мониторинга состояния водных объектов.
4. Функциональная и информационная модели процесса обработки пространственной информации для оценки воздействия промышленности на качественные характеристики водных объектов.
5. Алгоритмы и их программная реализация для информационной поддержки процессов оценки и снижения вредного воздействия промышленности на состояние водных объектов (на примере зоны проведения Олимпиады Сочи-2014).

Апробация работы

Основные теоретические и практические результаты работы были представлены на следующих научно-технических конференциях и семинарах: Международной научно-практической конференции «*Computer Science and Informational Technologies*» (CSIT 2008–2010); Всероссийской зимней школе-семинаре аспирантов и молодых ученых (Уфа, 2008–2010); Семинаре «Проблемы совершенствования подготовки IT-специалистов в высшей школе на основе требований рынка» (Уфа, 2007); Всероссийской конференции «Использование ГИС-технологий *ESRI* и *ERDAS* в нефтегазовой отрасли» (Тюмень, 2008); Межрегиональной конференции, посвящённой международному дню воды (Уфа, 2010); Конференции пользователей *ESRI* в России и странах СНГ (Москва, 2008–2009).

Публикации

Основные положения и результаты диссертационной работы опубликованы в 15 источниках, включающих 9 статей, из них 2 в изданиях, входящих в перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, выпускаемых в Российской Федерации в соответствии с требованиями ВАК Минобробразования и науки

РФ, 2 материала конференций и семинаров, 2 свидетельства о регистрации программ для ЭВМ, 2 учебно-методические работы.

Структура и объем работы

Работа включает введение, 4 главы основного материала, заключение, библиографический список и приложения. Работа без библиографического списка и приложений изложена на 151 странице машинописного текста, включает в себя 64 рисунка, 3 таблицы, 65 формул. Библиографический список включает 156 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении приводится общая характеристика работы — обосновывается актуальность диссертационной работы, формулируется цель и задачи исследования, отмечается научная новизна и практическая значимость результатов.

В первой главе диссертации анализируются проблемы, связанные с обработкой информации о воздействии промышленности на качественные характеристики водных объектов, в рамках которого диссертант рассматривает научные методы обработки информации, определяет состав и тип информации, описывающей промышленность, водные объекты и их состояние, рассматривает существующие информационные системы обработки информации, используемые для информационной поддержки процессов управления водными ресурсами и охраны водных объектов, анализирует методы интерполяции для построения гидрологически корректных цифровых моделей рельефа, применяемых для расчета водосборных бассейнов точек забора воды (в том числе, постов мониторинга).

Анализ информации, используемой для оценки воздействия промышленности на водные объекты в Российской Федерации, показал, что водные и промышленные объекты описываются большой совокупностью разнородной (по типу, способу описания и формату) информации, неотъемлемой частью которой является пространственная информация, характеризующая точное географическое местоположение объектов и их пространственную взаимосвязь. Проанализированная информация является специфичной для России, что связано с особенностями нормативно-правовой базы. Решению задач по обработке данной информации посвящено множество работ, реализованных в виде информационных систем различного рода, анализ которых показал, что обработке пространственной информации для оценки воздействия промышленности на качественные характеристики водных объектов уделено недостаточно внимания. Имеющиеся методы и информационные системы не позволяют определять промышленные предприятия, негативно воздействующие на водные объекты, верифицировать и геокодировать атрибутивные данные о водных объектах и промышленности в пространственную информацию, поэтому разработка методов и алгоритмов обработки пространственной информации и их программной реализации для информационной поддержки процессов оценки воздействия промышленности на качественные характеристики водных объектов является актуальной задачей.

Вторая глава посвящена разработке методов обработки пространственной информации для оценки воздействия промышленности на качественные характеристики водных объектов на основе геоинформационных технологий.

Автором диссертации была проанализирована схема управления и охраны водных объектов от воздействия промышленности, которая показала, что в процессе осуществления государственных функций в области управления водными ресурсами в РФ участвуют многие государственные службы и ведомства. Уполномоченным органом исполнительной власти по управлению водными ресурсами в России является Федеральное агентство водных ресурсов, важным компонентом организационной структуры которого являются бассейновые водные управления (БВУ), осуществляющие функции контроля и управления водными ресурсами и объектами на бассейновом уровне. Каждое бассейновое водное управление обеспечивает разработку и реализацию схем комплексного использования и охраны водных объектов; охрану водных объектов, предотвращение их загрязнения, засорения и истощения вод, осуществление оценки воздействия промышленности на водные объекты в зоне деятельности БВУ, ведение Государственного водного реестра (ГВР), осуществление государственного мониторинга водных объектов и другие задачи. Область проведения Олимпиады Сочи-2014 входит в зону деятельности Кубанского БВУ.

При оценке воздействия промышленности на водные объекты и определении предприятий, негативно воздействующих на водные объекты, возникают сложные информационные потоки, связывающие объекты и субъекты управления (рис.1).

Объектом управления являются водные объекты и промышленные предприятия в зоне ответственности бассейнового водного управления. Субъектом управления являются органы государственной власти, осуществляющие оценку воздействия промышленных предприятий на водные объекты и государственные функции управления водными ресурсами и охраны окружающей среды, на основе информации о состоянии водных объектов (стрелка 1) и соответствующих нормативных документов (стрелка 7), которые могут быть изменены на основе предложений органов государственной власти (стрелка 6).

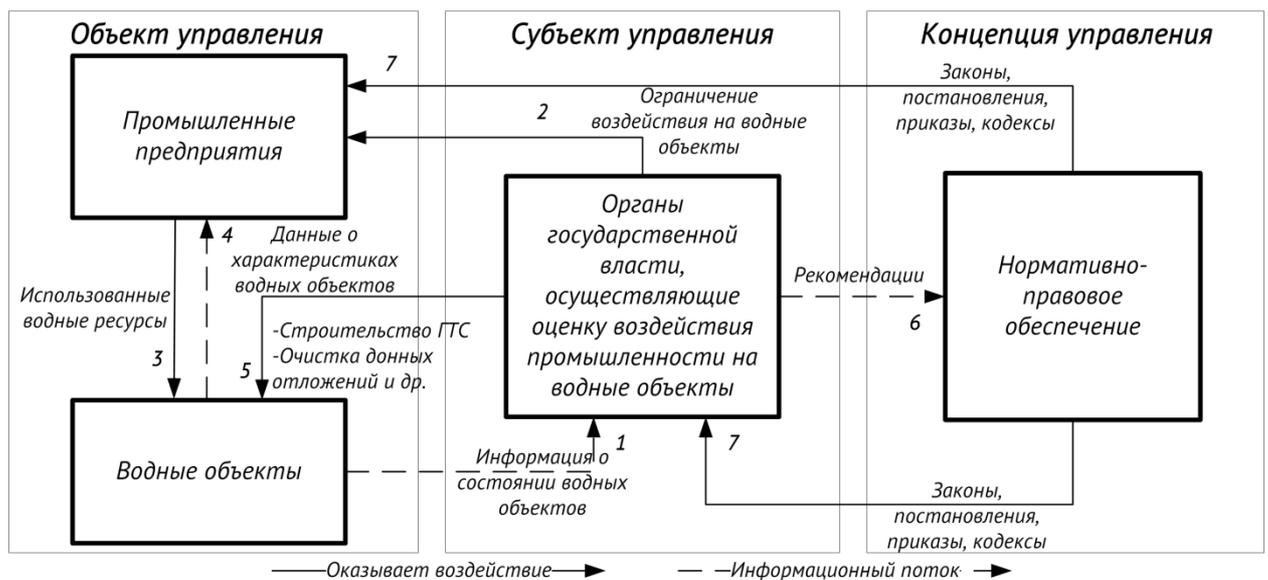


Рисунок 1 – Схема информационных потоков при оценке воздействия промышленности на водные объекты

Промышленные предприятия воздействуют на различные характеристики водных объектов, которые под данным воздействием изменяются и начинают оказывать влияние на промышленность из-за снижения качества вод, изменения расхода воды в водных объектах и других факторов (стрелки 3,4 на рис. 1).

Пространственная информация представляется в форме цифровой карты местности, описываемой в виде совокупности множества слоев и растров:

$$\text{Map} = \{L_i, K_r\}, \quad i = \overline{1, n_{\text{lay}}}, \quad r = \overline{1, n_{\text{rast}}}. \quad (1)$$

Под слоем понимается совокупность однотипных пространственных объектов, тематически объединенных в границах некоторой территории и имеющих единую систему координат:

1) для точечных объектов $L_{\text{Pnt}} = \{(x^{\text{Pnt}i}, y^{\text{Pnt}i}), \text{Atr}^{\text{Pnt}i}\}_i, i = \overline{1, n_{\text{Pnt}}}$;

2) для линейных объектов $L_{\text{Lin}} = \{(\text{Line}^{\text{Lin}j}, \text{Atr}^{\text{Lin}j})_j, j = \overline{1, n_{\text{Lin}}}$,

где Line – геометрический объект в виде ломаной линии, которую образует объединение сегментов $\text{Line}^{\text{Lin}j} = \bigcup_{i=1}^{n_{\text{сегм.}}} \text{Segm}_{i,i+1}^j, n_{\text{сегм.}} \geq 1$, при этом сегмент:

$$\text{Segm}_{i,i+1}^j = \begin{cases} y_{i,i+1}^j = k_{i,i+1}^j x_{i,i+1}^j + b_{i,i+1}^j \\ k_{i,i+1}^j = \frac{y_{i+1}^j - y_i^j}{x_{i+1}^j - x_i^j} \\ b_{i,i+1}^j = \frac{x_{i+1}^j y_i^j - x_i^j y_{i+1}^j}{x_{i+1}^j - x_i^j} \\ x_{i,i+1}^j \in [\min(x_i^j, x_{i+1}^j); \max(x_i^j, x_{i+1}^j)] \\ y_{i,i+1}^j \in [\min(y_i^j, y_{i+1}^j); \max(y_i^j, y_{i+1}^j)] \end{cases}, \quad (2)$$

где $x_i^j, x_{i+1}^j, y_i^j, y_{i+1}^j$ – координаты точек, описывающих $(i, i+1)$ -й сегмент j -ой линии, хранящиеся в базе пространственных данных.

3) для полигональных объектов $L_{\text{Pol}} = \{(\text{Polygone}^{\text{Pol}k}, \text{Atr}^{\text{Pol}k})_k\}$, где Polygone – некоторая ограниченная область определения соответствующего полигонального объекта, $\text{Atr} = \{\text{atr}_1, \text{atr}_2, \dots, \text{atr}_n\}$ – совокупность атрибутивных характеристик каждого объекта. Ограниченная область определения j -го полигона:

$$\text{Polygone}^{\text{Pol}j} = \text{ГМТ}^{\text{Pol}j} \{(\bigcup_{i=1}^{n_{\text{сегм.}}-1} \text{Segm}_{i,i+1}^j) \cup \text{Segm}_{n_{\text{сегм.}},1}^j\}, \quad n_{\text{сегм.}} \geq 3, \quad (3)$$

где ГМТ – геометрическое место точек, которое представляет собой множество точек принадлежащих области, ограниченной множеством сегментов замкнутых таким образом, чтобы конец последнего сегмента совпадал с началом первого сегмента. Данное описание пространственной информации позволяет учесть внутреннюю топологию различных объектов базы пространственных данных.

Представим растр как совокупность квадратных ячеек фиксированного размера $K_r = \{k_{ij}\}$, где $k_{ij} = ((X_{ij}, Y_{ij}), \text{Atr}_{ij})_{ij}$, где (X_{ij}, Y_{ij}) диапазон координат долготы и широты.

Рассмотрим промышленные предприятия, негативное воздействие которых на состояние водных объектов заключается в поверхностном стоке загрязняющих веществ в водные объекты. Обозначим информацию о местах размещения промышленных предприятий:

$$P = \{p_i\} = \{(x^{pi}, y^{pi}), A^{pi}\}_i, i = \overline{1, n^p}, P \subset \text{Map}, \quad (4)$$

где n^p – количество предприятий; (x^{pi}, y^{pi}) – координаты, описывающие местоположение i -го предприятия в пространстве; A^{pi} – множество атрибутивных характеристик i -го предприятия, которое описывается

$$A^{pi} = \{a_1^{pi}, a_2^{pi}, r^{pi}, B^{pi}\}, \quad (5)$$

где a_1^{pi} – наименование i -го предприятия, a_2^{pi} – идентификационный номер налогоплательщика i -го предприятия, $r_i = (c^{reg}, -, c^{wu}, -, c_i^{wo}, -, c_i^d g_i v_i k_i, -, c_i^o, -, \tau_i, -, q_i)$ – регистрационный номер в ГВР i -го предприятия, содержащий сведения соответственно о коде субъекта, коде водохозяйственного участка, коде водного объекта, дате регистрации и другие сведения; $B^{pi} = \{b_h^{pi}\}$ – множество загрязняющих веществ, которые могут быть сброшены i -ым предприятием в водный объект (определяемые из документа статистической отчетности об использовании воды – 2ТП ВОДХОЗ).

Информация о водопользователях – промышленных предприятиях хранится в соответствующем разделе документа Государственного водного реестра (Дос), и представлена в виде табличных сведений (U), в которой имеется описание местоположения водопользователей в пространстве, однако отсутствует пространственная привязка. Для решения задачи определения объектов промышленности, негативно воздействующих на состояние водных объектов, необходимо создать пространственный специальный точечный слой водопользователей, включающий промышленные предприятия. Процесс создания слоя объектов промышленности диссертант представляет в виде операции геокодирования – Θ , то есть в виде преобразования семантических данных в объекты слоев: $U \xrightarrow{\Theta} P$.

Результаты применения операции геокодирования предлагается использовать для верификации регистрационных номеров водопользователей (r_i), посредством идентификации ошибок описания местоположения водопользователей, путем пространственного анализа положения конкретных водопользователей по принадлежности к водохозяйственным участкам (получаемых геокодированием информации из ГВР в слой водохозяйственных участков $Wu \xrightarrow{\Theta} Wu^{sp}$, где $Wu^{sp} = \{(Polygone^j, n^{wu}, c^{wu}, s^{wu})_j\}, j = \overline{1, k_{wu}}$).

Предлагаемый способ верификации номеров государственной регистрации заключается в следующем: если i -е промышленное предприятие с координатами (x^{pi}, y^{pi}) находится в m -ом водохозяйственном участке, и при этом код водохозяйственного участка – c^{wu} (содержащийся в регистрационном номере i -го предприятия – r^{pi}), в котором должен находиться данный водопользователь, совпадает с кодом m -ого водохозяйственного участка, на котором находится фактически, то координаты предприятия, предоставленные в Государственный водный реестр, корректны, иначе требуется верификация предоставленных и внесенных сведений об i -м водопользователе.

Таким образом, автором работы был разработан метод совместного описания и обработки пространственной информации для оценки воздействия промышленности на качественные характеристики водных объектов, основанный на теоретико-множественном подходе описания разнородных источников информации.

Контроль состояния водных объектов, осуществляется на постах мониторинга, которые можно представить в виде множества пространственных точечных объектов:

$$M = \{m_j\} = \{(x^{m_j}, y^{m_j}), A^{m_j}\}_j, \quad j = \overline{1, l}, \quad M \subset \text{Map}, \quad (6)$$

где l – количество постов, (x^{m_j}, y^{m_j}) – координаты, описывающие местоположение j -го поста мониторинга в пространстве; A^{m_j} – множество атрибутивных характеристик j -го поста, такое что $A^{m_j} = \{a_1^{m_j}, a_2^{m_j}, \text{Obs}^{m_j}\}$, $a_1^{m_j}$ – наименование m_j -го поста мониторинга, $a_2^{m_j}$ – идентификационный код поста мониторинга, $\text{Obs}^{m_j} = \{\text{obs}_{kt}^{m_j}\}$ – все значения измерений всех контролируемых показателей (концентраций загрязняющих веществ) на j -м посту мониторинга.

Поскольку $\text{obs}_{kt}^{m_j}$ – значение измерения k -го показателя в момент времени t на j -м посту, тогда

$$\text{obs}_{kt}^{m_j} = \text{obs}_{kt}^{m_j}(b_k, t_k, m_j), \quad (7)$$

где b_k – контролируемый k -й показатель, при этом $b_k \in B$; t_k – дата измерения k -го показателя. Для каждого контролируемого показателя имеется нормативное (допустимое) значение (например, предельно допустимая концентрация), которое не зависит от поста мониторинга и является функцией от загрязняющего вещества – $\varphi(b_k)$. Пусть $\varepsilon(\text{obs}_{kt}^{m_j})$ – индикаторная функция превышения значения измерения в момент времени t показателя b_k над нормативным значением $\varphi(b_k)$:

$$\varepsilon(\text{obs}_{kt}^{m_j}) = \begin{cases} 1, & \text{если } \text{obs}_{kt}^{m_j} \geq \varphi(b_k), \\ 0, & \text{если } \text{obs}_{kt}^{m_j} < \varphi(b_k). \end{cases} \quad (8)$$

Гидрологически корректная цифровая модель рельефа (ЦМР), необходимая для расчета водосборных бассейнов точек забора воды:

$$D_{\text{г.к.}} = \{d_{ij} | \forall \langle d_{ij} \rangle \exists \langle d_{sh} \rangle | z_{sh} < z_{ij}, \}, \quad i = \overline{0, k}, \quad s = \overline{i-1, i+1}, \quad (9)$$

$$j = \overline{0, m}, \quad h = \overline{j-1, j+1}.$$

Для определения водосборного бассейна q -го поста мониторинга (точки забора воды) необходимо выделить территорию, из которой происходит поверхностный сток воды в заданный пост контроля. Таким образом, водосборный бассейн поста будет представлять собой подмножество ячеек раstra $D_{\text{г.к.}}$, из которых можно достигнуть ячейку, в области определения координат которой находится точка, описывающая рассматриваемый q -ый пост мониторинга. Перейдя к рассмотрению ЦМР в виде орграфа, определяются контрадостижимые множества ячеек, соответствующие водосборным бассейнам постов мониторинга. От описания водосборных бассейнов постов мониторинга в виде вершин орграфа перейдем к описанию в виде полигонального слоя:

$$\text{Zone} = \{\text{Zone}_s\} = \{(\text{Polygone}^{\text{Zone}_s}, \text{Atr}^{\text{Zone}_s})_s\}. \quad (10)$$

Данное преобразование позволяет однозначно определить подмножество промышленных предприятий, расположенных в пределах водосборного бассейна конкретного поста мониторинга (рис. 2). Таким образом, подмножество промыш-

ленных предприятий $P^{нег.} \subset P$, которые могли произвести негативное воздействие на качественные характеристики водных объектов, путем сброса загрязняющего вещества – b_k (превышение значения которого над нормативным зарегистрировано в момент времени t на посту m_w), и расположенных в пределах водосборного бассейна w -го поста, представляет собой:

$$P^{нег.} = \{p_i | (b_k \in B^{pi}) \wedge (\varepsilon(\text{obs}_{kt}^{m_w}) = 1) \wedge ((x^{pi}, y^{pi}) \in \text{Polygone}^{Zone_w})\}. \quad (11)$$

Разработанный метод определения объектов промышленности, оказывающих негативное воздействие на качественные характеристики водных объектов, основанный на результатах метода совместного описания и обработки пространственной информации, заключающийся в построении водосборных бассейнов для любых точек забора воды (в частности, мобильных постов мониторинга), на которых было зарегистрировано превышение нормативного (допустимого) значения какого-либо вещества, и определении потенциальных предприятий-загрязнителей, периодически сбрасывающих данное вещество (по информации из документов статистической отчетности) и входящих в соответствующий водосборный бассейн, позволяет повысить эффективность информационной поддержки процесса снижения вредного воздействия промышленности на состояние водных объектов.

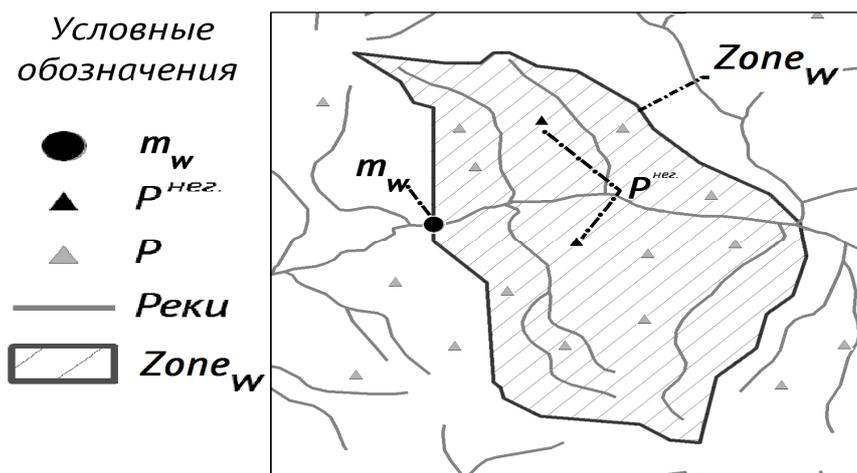


Рисунок 2 – Схема определения принадлежности промышленных предприятий водосборному бассейну точки забора воды в картографической форме

Разработан метод визуализации, позволяющий отобразить результаты измерений нескольких показателей на совокупности постов мониторинга для сокращения времени оценки воздействия промышленности на водные объекты путем определения зависимости между гидрологическим, гидрохимическими, микро- и гидробиологическими показателями за некоторый период на одном посту мониторинга или на некоторой совокупности постов мониторинга. Посты мониторинга выбираются пользователем на карте, после чего выбирается пара показателей, значения которых будут сравниваться, что позволяет экспертам определить причину превышения значения определенного загрязняющего вещества в водном объекте, которая может быть связана не со сбросом загрязнений, а с увеличением водопотребления некоторых предприятий.

В работе предложено описание постов мониторинга и результатов контроля за состоянием водных объектов в виде многомерных информационных объектов.

С целью повышения качества информационной поддержки процессов оценки и снижения вредного воздействия промышленности на водные объекты, предлагается расширить МИО информацией о пространственной принадлежности поста мониторинга определенному полигону административного района, субъекта, бассейнового водного управления, федерального округа, путем определения объектов точечного слоя постов мониторинга расположенных в соответствующих объектах полигональных слоев. То есть средствами геоинформационных технологий в многомерные информационные объекты вводится пространственная иерархия.

Автором предлагается объектно-полевое преобразование, заключающееся в переходе от объектной модели пространственных данных к полевой модели данных за счет использования известных методов интерполяции, позволяющий сократить время для оценки воздействия промышленности на качественные характеристики водных объектов за счет поддержки оперативного определения различных проекций многомерных информационных объектов.

На рис. 3 представлен фрагмент схемы объектной многомерной модели данных для оценки информации о многолетних наблюдениях за состоянием водных объектов на постах мониторинга. Мерами являются гидрохимические показатели различных веществ (фенолы, магний и другие), в свою очередь, в качестве измерений выступают бассейновые водные управления (Кубанское БВУ и др.) и политико-административные единицы (Федеральный округ, который включает субъекты, состоящие из районов, в которых размещены посты мониторинга) и временные ряды (2009-2010 годы).

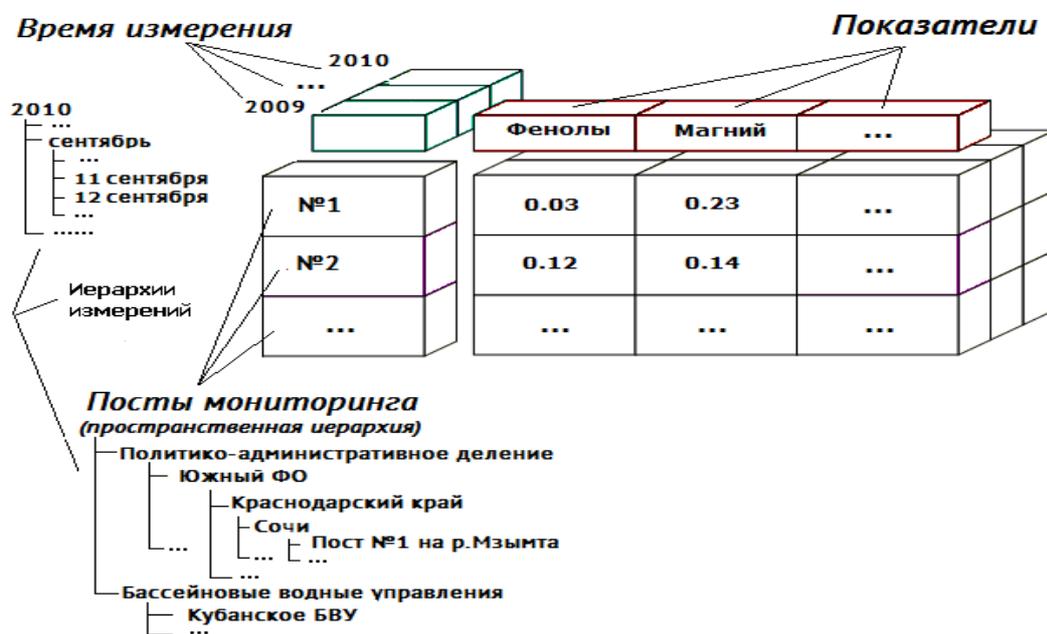


Рисунок 3 – Фрагмент многомерной модели данных для оценки качественных характеристик водных объектов

Третья глава посвящена разработке функциональной и информационной моделей процесса обработки пространственной информации для оценки воздействия промышленности на качественные характеристики водных объектов, также приведены разработанные алгоритмы, реализующие предложенные во второй главе методы.

Информационная модель описывает необходимую информацию по объектам промышленности, постам мониторинга, результатам мониторинга за состоянием водных объектов, информацию об объектах промышленности (водопользователях, зарегистрированных в Государственном водном реестре) и другую информацию необходимую для оценки воздействия промышленности на качественные характеристики водных объектов. На рис. 4 приведен фрагмент разработанной информационной модели. На рис. 5 продемонстрирована блок-схема алгоритма обработки пространственной и атрибутивной информации для оценки негативного воздействия промышленности на качественные характеристики водных объектов.

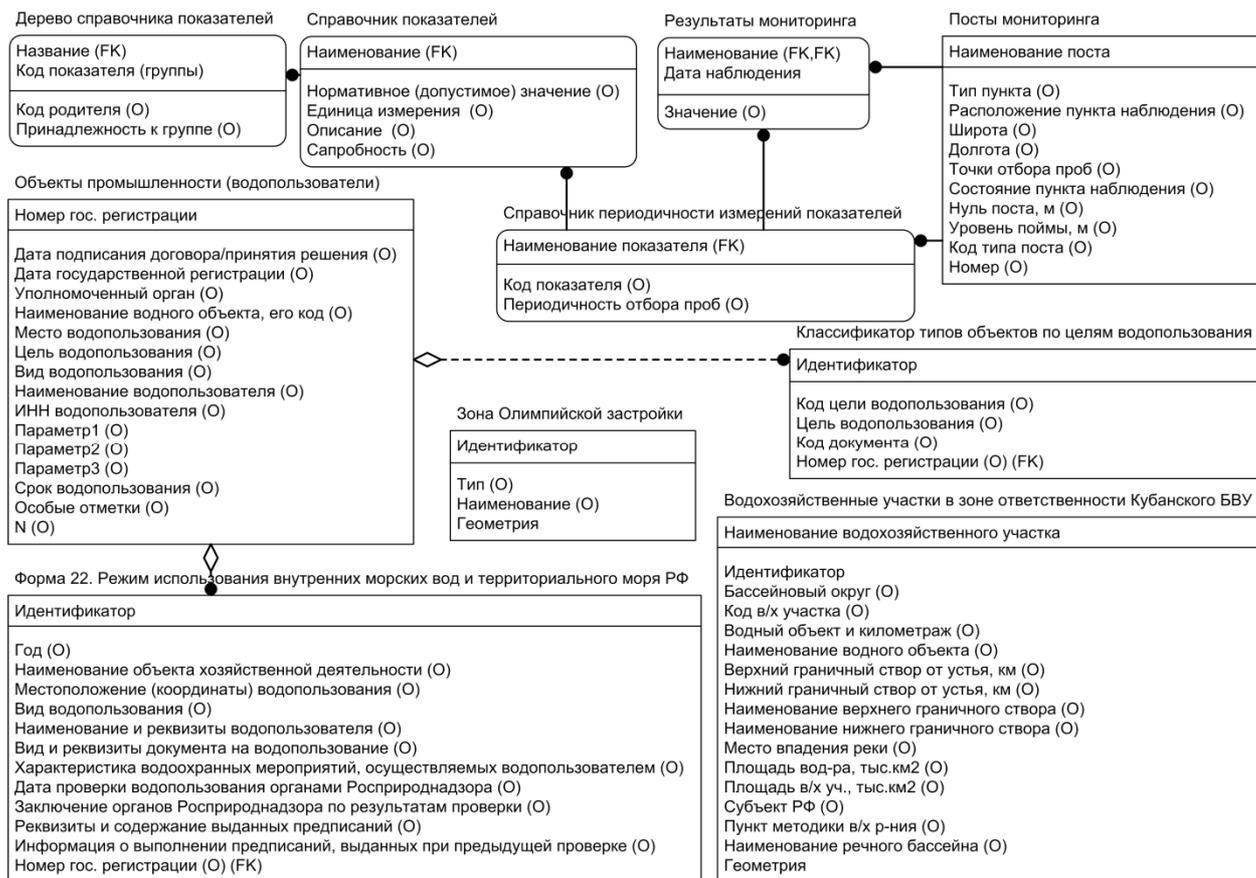


Рисунок 4 – Фрагмент информационной модели для оценки воздействия промышленности на водные объекты

В четвертой главе рассматривается реализация и внедрение ГИС Кубанского БВУ для информационной поддержки процессов оценки и снижения вредного воздействия промышленности на состояние водных объектов в период подготовки и проведения Олимпиады Сочи-2014. Определены основные требования для разрабатываемой геоинформационной системы, которая должна быть реализована в виде интернет-приложения и обеспечивать распределенную обработку пространственной информации для оценки воздействия промышленности на качественные характеристики водных объектов.

Выполнена программная реализация, разработанных методов и алгоритмов определения промышленности, негативно воздействующей на водные объекты на примере зоны проведения Олимпиады-2014 в составе геоинформационной системы «Олимп-Вода», промышленная эксплуатация которой показала адекватность

разработанных в диссертации методов и алгоритмов их использования, что подтверждается заключением специалистов Кубанского БУ.

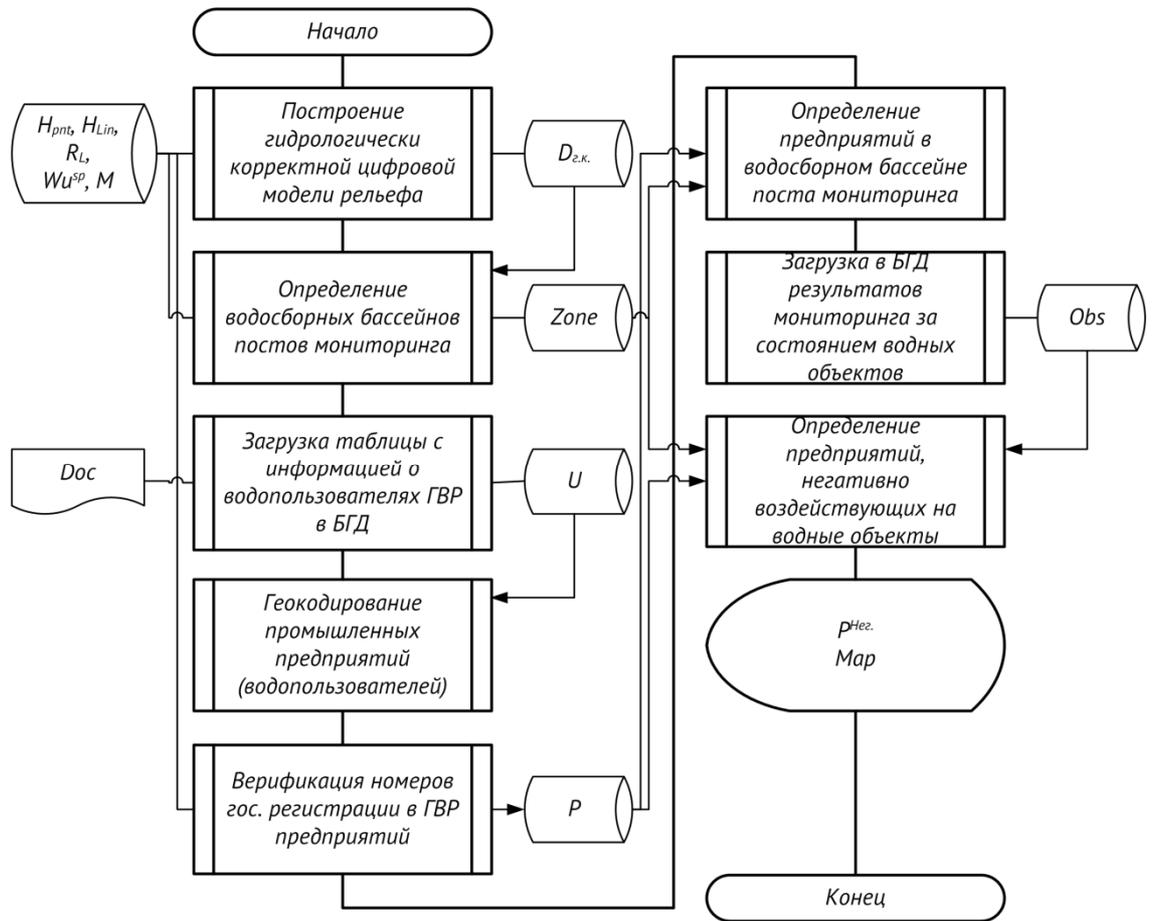


Рисунок 5 – Обобщенная блок-схема алгоритма обработки пространственной информации для оценки воздействия промышленности на водные объекты

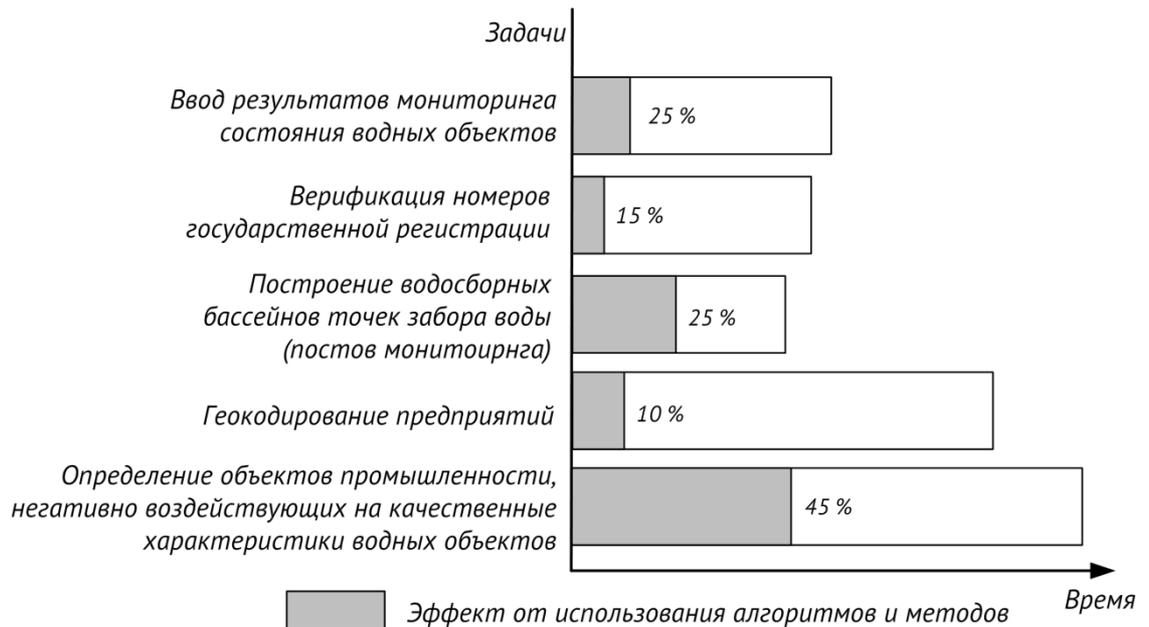


Рисунок 6 – Диаграмма эффективности внедрения алгоритмов и методов

Анализ эффективности внедрения разработанных алгоритмов и методов в составе геоинформационной системы «Олимп-Вода» показал, что удалось добиться повышения эффективности информационной поддержки процессов оценки воздействия промышленности на качественные показатели водных объектов путем сокращения сроков решения задач ввода результатов мониторинга состояния водных объектов, геокодирования предприятий (водопользователей), верификации номеров государственной регистрации водопользователей, построении водосборных бассейнов точек местности и определения объектов промышленности, негативно воздействующих на качественные характеристики водных объектов, в целом на 50–60 % (рис. 6).

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. На основе системного анализа процессов и информации, используемой для оценки воздействия промышленности на водные объекты в Российской Федерации были сформулированы требования к составу и виду пространственной и атрибутивной информации о воздействии промышленности на качественные характеристики водных объектов.

2. Разработан метод совместного описания и обработки пространственной информации для оценки воздействия промышленности на качественные характеристики водных объектов, позволяющий совместно описать разнородную (по типу, способу описания и формату) информацию из различных источников (Государственный водный реестр, документы статистической отчетности и др.), геокодировать информацию о водопользователях (в том числе, объектов промышленности), верифицировать номера государственной регистрации водопользователей, таким образом, получить актуальную, достоверную и полную пространственную информацию о воздействии промышленности на состояние водных объектов, для последующего определения объектов промышленности, оказывающих негативное воздействие на качественные характеристики водных объектов.

3. Разработан метод определения объектов промышленности, оказывающих негативное воздействие на качественные характеристики водных объектов, отличающийся построением границ водосборных бассейнов для любых точек забора воды, на которых было зарегистрировано превышение нормативного значения загрязняющего вещества, и определении потенциальных предприятий-загрязнителей, сбрасывающих данное вещество и входящих в границы соответствующего водосборного бассейна.

4. Разработан метод визуализации пространственной информации, представленной в виде многомерных информационных объектов, о результатах мониторинга состояния водных объектов, основанный на использовании предложенного в работе объектно-полевого преобразования многомерных информационных объектов, позволяющий сократить время для оценки воздействия промышленности на качественные характеристики водных объектов.

5. Разработаны функциональная и информационная модели процесса оценки воздействия промышленности на качественные характеристики водных объектов (на примере зоны проведения Олимпиады Сочи-2014), позволяющие разработать

алгоритмы и базу пространственных данных геоинформационной системы органов государственной власти, осуществляющих контроль состояния водных объектов.

6. Разработаны алгоритмы и их программная реализация в составе геоинформационной системы для Кубанского бассейнового водного управления Федерального агентства водных ресурсов для информационной поддержки процессов оценки и снижения вредного воздействия промышленности на состояние водных объектов (на примере зоны проведения Олимпиады Сочи-2014). Анализ эффективности внедрения разработанных алгоритмов и методов в составе геоинформационной системы «Олимп-Вода» показал, что время решения задач по обработке пространственной информации и определению объектов промышленности, негативно воздействующих на качественные характеристики водных объектов, сократилось на 50–60 %.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОПУБЛИКОВАНЫ В РАБОТАХ

В рецензируемых журналах из списка ВАК

1. Распределенная обработка и анализ пространственной информации о воздействии промышленности на водные объекты в зоне проведения Зимней Олимпиады 2014 г. / А. Р. Гизатуллин, С. В. Павлов, Р. А. Шкундина // Вестник УГАТУ : науч. журн. Уфимск. гос. авиац. техн. ун-та. Уфа : УГАТУ, 2010. Т. 14, № 4 (39). С.104–111.

В рецензируемых журналах из списка ВАК по смежным специальностям

2. Использование мобильных вычислительных средств в корпоративных геоинформационных системах предприятий нефтегазовой отрасли / С. В. Павлов, А. Р. Гизатуллин, О. С. Саубанов, Т. М. Усов // Нефтегазовое дело. Уфа : УГНТУ, 2008. Т. 6, № 2. С. 117–122.

В других изданиях

3. Разработка геоинформационной системы совместной обработки пространственной и технологической информации / А. Р. Гизатуллин, Г. М. Сайфутдинова // Геоинформационные технологии в проектировании и создании корпоративных информационных систем : межвуз. науч. сб. Уфа : УГАТУ, 2007. С.105–110.

4. Построение водосборных бассейнов рек Республики Башкортостан / А. Р. Гизатуллин // Информатика, управление и компьютерные науки : сб. ст. 3-й Всерос. зимн. шк.-сем. аспирантов и молодых ученых, 20–23 февраля 2008. Уфа : Диалог, 2008. Т. 1. С. 394–398.

5. Информационно-справочная подсистема федеральных водохранилищ в ГИС Росводресурсов / А. Р. Гизатуллин, Т. М. Усов, О. М. Бабин // Геоинформационные технологии в проектировании и создании корпоративных информационных систем : межвуз. науч. сб. Уфа : УГАТУ, 2008. С.161–166.

6. Опыт создания и перспективы развития корпоративных геоинформационных систем на предприятиях нефтегазовой отрасли / С. В. Павлов, О. С. Саубанов, А. Р. Гизатуллин, Т. М. Усов // *ArcReview*. Современные геоинформационные технологии. 2009. № 2 (49). С. 13–14.

7. Интеграция ГИС Росводресурсов с информационной системой ГВК «Водопользователи» / И. Г. Иванов, А. Р. Гизатуллин, Р. А. Шкундина // Геоинформационные технологии в проектировании и создании корпоративных информационных систем : межвуз. науч. сб. Уфа : УГАТУ, 2009. С. 15–19.

8. Перспективы внедрения *OLAP* в ГИС Росводресурсов / С. В. Павлов, А. Р. Гизатуллин, И. И. Касимов, О. И. Христодуло // Компьютерные науки и информационные технологии : 11-я Междунар. науч.-практ. конференция (Крит, Греция, 5–8 октября 2009). Сборник трудов в 3 т. Т. 1. –Уфа : УГАТУ, 2009. С. 244–247 (Статья на англ. языке).

9. Свид. об офиц. рег. программы для ЭВМ № 2009614389. Подсистема пространственного *OLAP*-анализа геоданных многолетних наблюдений по гидрохимическим показателям / С. В. Павлов, А. Р. Гизатуллин, Р. А. Шкундина, Д. И. Семёнов. М. : Роспатент, 2009.

10. Свид. об офиц. рег. программы для ЭВМ № 2009641665. Программа для построения водосборной территории по цифровой модели рельефа для заданной точки местности / С. В. Павлов, А. Р. Гизатуллин, Т. М. Усов, Р. А. Шкундина, А. Б. Яковлева. М. : Роспатент, 2009.

11. Использование ГИС-технологий для мониторинга состояния водных объектов в зоне проведения Олимпиады Сочи-2014 / А. Р. Гизатуллин, С. В. Павлов, Г. И. Радько, Р. А. Шкундина // Геоинформационные технологии в проектировании и создании корпоративных информационных систем: межвуз. науч. сб. Уфа : УГАТУ, 2010. С. 107–110.

12. Управление водными ресурсами с использованием сервис-ориентированных геоинформационных систем / С. В. Павлов, Р. А. Шкундина, А. Р. Гизатуллин, Т. М. Усов // Межвед. сб. тез. конф., посвященной Всемирному дню водных ресурсов. Уфа : Информреклама, 2010. С. 164–169.

13. Геоинформационная система для мониторинга состояния водных объектов в зоне олимпийских игр Сочи-2014 / С. В. Павлов, А. Р. Гизатуллин, Г. И. Радько, Р. А. Шкундина // Компьютерные науки и информационные технологии : 12-я Междунар. науч.-практ. конф. (Москва–Санкт-Петербург, 13–19 сентября 2010) : сб. тр. в 3 т. Уфа : УГАТУ, 2010. Т. 1. С. 131–136. (Статья на англ. языке).

ГИЗАТУЛЛИН Артур Римович

ОБРАБОТКА ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ИНФОРМАЦИИ
ДЛЯ ОЦЕНКИ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРОМЫШЛЕННОСТИ
НА КАЧЕСТВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОДНЫХ
ОБЪЕКТОВ (НА ПРИМЕРЕ ЗОНЫ ПРОВЕДЕНИЯ
ОЛИМПИАДЫ СОЧИ-2014)

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

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Подписано в печать 23.11.10. Формат 60x84 1/16.
Бумага офсетная. Печать плоская. Гарнитура Times New Roman.
Усл. печ. л. 1,0. Усл. кр.-отт. 1,0. Уч.-изд. л. 0,9.
Тираж 100 экз. Заказ № 479

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