На правах рукописи

Быстров Антон Юрьевич

Разработка методики геоинформационного обеспечения мониторинга водоохранных зон рек и водохранилищ

Специальность 25.00.35 – Геоинформатика

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва – 2018

Работа выполнена на кафедре информационно-измерительных систем Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет геодезии и картографии» (МИИГАиК).

Научный Руководитель: Майоров Андрей Александрович, доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты: Николаева Ольга Николаевна, доктор технических наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный университет геосистем и технологий» (СГУГиТ), кафедра экологии и природопользования, профессор

Никишин Дмитрий Александрович, кандидат технических наук, Федеральный исследовательский центр "Информатика и управление" Российской Академии Наук, ведущий научный сотрудник

Ведущая организация: Акционерное общество «Научно-исследовательский и производственный центр «Природа» (АО «НИиП центр «Природа»)

Защита диссертации состоится «20» декабря 2018 г. в 14.00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.143.03 при Московском государственном университете геодезии и картографии (МИИГАиК) по адресу: 105064, Москва, Гороховский переулок, д. 4., Зал заседаний Ученого совета.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Московского государственного университета геодезии и картографии и на сайте МИИГАиК (http://www.miigaik.ru/upload/iblock/ae0/ae0e40d36a53b0cf9e87cc36d4a99ec4.pdf).

Автореферат разослан «___» _____ 2018 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Вшивкова Ольга Владимировна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Прибрежные районы являются наиболее важными и интенсивно используемыми областями, заселенными людьми. Сохранение и поддержание режима прибрежных районов представляется главнейшим фактором для сохранения благоприятной экологической обстановки. Несмотря на ужесточение нормативно-правовых актов в сфере использования прибрежных территорий, их мониторинг продолжает оставаться наиважнейшей проблемой во всем мире.

Основным и наиболее действенным ресурсом для мониторинга водоохранных зон являются данные дистанционного зондирования Земли (далее – ДЗЗ). При этом для осуществления процессов наблюдения, оценки и прогноза необходимо использование геоинформационных систем (далее – ГИС). ГИС позволяют произвести интеграцию большого числа различных пространственных данных, иной пространственной и непространственной информации об исследуемых объектах и провести комплексный анализ полученных сведений. Технологии мониторинга являются основой при создании геоинформационного обеспечения, что делает возможным получение всего спектра информации об исследуемой области.

Однако анализ существующих в настоящее время технологических решений и методик показывает, что они обладают рядом недостатков, связанных с низкой оперативностью выявления нарушений, локальным характером работы и низким уровнем автоматизации.

Объектом диссертационного исследования является геоинформационный мониторинг водоохранных зон и применение геоданных для обеспечения принятия управленческих решений в сфере водоохранной деятельности.

Предмет исследования – функциональные блоки геоинформационных систем, обеспечивающие мониторинг водоохранных зон на основе данных

дистанционного зондирования Земли и других пространственных и непространственных данных, получаемых из различных источников.

Целью диссертационной работы является разработка методики геоинформационного обеспечения мониторинга водоохранных зон рек и водохранилищ, обеспечивающей комплексирование различных видов пространственных данных и поддержку принятия управленческих решений.

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

1) проанализировать и обобщить опыт по разработке систем мониторинга водоохранных зон и прибрежных территорий геоинформационными средствами в России и за рубежом;

2) разработать требования к системе геоинформационного мониторинга водоохранных зон и коррелировать их с нормативно-правовым законодательством Российской Федерации;

3) разработать концептуальную модель геоинформационного мониторинга водоохранной зоны рек и водохранилищ;

4) разработать архитектуру и методику геоинформационного мониторинга водоохранных зон рек и водохранилищ на базе предложенной концептуальной модели;

5) провести экспериментальные исследования методики посредством реализации блоков геоинформационной системы мониторинга водоохранной зоны.

Степень разработанности темы. Изучены исследования как российских, так и зарубежных ученых. Рассмотрены работы А. В. Гречищева, И. Г. Журкина, К. Я. Кондратьева, С. В. Бердникова, В. И. Кравцовой, А. А. Майорова, В. А. Малинникова, В. Я. Цветкова, Майка Кэри (Mike Carey), Магнуса Ларсона (Magnus Larson), Тайалана С. Калираджа (Thayalan S. Kaliraj), Джека Данджермонда (Jack Dangermond), ставящих своей целью обеспечение геоинформационного мониторинга территорий средствами ДЗЗ и ГИС-анализа,

а также проведение оценки состояния прибрежных зон, оценки состояния территорий при экологическом мониторинге. Вместе с тем отметим, что в части мониторинга водоохранных зон нерешенными или недостаточно исследованными остаются вопросы интеграции и комплексирования различных видов пространственных данных (особенно в связи с ростом новых источников геоданных) и вопросы поддержки принятия управленческих решений.

Методы исследования. В работе использованы методы системного и структурного анализа, ГИС-анализа, дешифрирования космических снимков, цифровой обработки изображений, распознавания образов, математической статистики. Для разработки концептуальной модели предметной области применялся метод объектно-ориентированного моделирования.

Научная новизна работы. Разработанная методика отличается от созданных ранее и используемых в настоящее время тем, что позволяет реализовать принцип дополнительного сбора уточняющих пространственных данных на водоохранные зоны и за счет этого повысить эффективность, оперативность и точность выявления результатов незаконной деятельности. Разработанная оригинальная архитектура системы включает в себя блоки, обеспечивающие возможность обработки большого объема разнородных пространственных и непространственных данных, получаемых из различных источников, блоки оценки текущего состояния территорий, дополнительного сбора данных, экспертной системы, использующей в базе знаний, как пространственные отношения между данными, так и нормативно-правовые акты. Реализация подобной архитектуры позволяет значительно повысить точность оценки состояния водоохранной зоны, увеличить скорость принятия управленческих решений и снизить количество ошибок по сравнению с результатами работы существующих систем.

Теоретическая значимость диссертационного исследования состоит в развитии метода геоинформационного мониторинга территорий, позволяющего производить обработку большого объема разнородных пространственных данных расширенного состава, обеспечивающего регулярное

уточнение данных об исследуемой территории посредством альтернативных средств сбора геоданных, и осуществляющего более полный учет пространственных отношений между объектами местности в водоохранных зонах и их корреляцию с нормативно-правовыми актами.

Практическая значимость исследования определяется тем, что полученные результаты могут быть использованы разработчиками систем геоинформационного мониторинга для надзорных и контрольных органов Российской Федерации в целях обеспечения мониторинга не только водоохранных зон крупных рек и водохранилищ в европейской части страны и густонаселенной местности, но и озер, морей и океанов.

Личный вклад. Автором лично получены все научные результаты, подготовлены основные публикации по выполненной работе. Соискатель принимал непосредственное участие на всех этапах процесса реализации диссертационного исследования, включая подготовку и обработку исходных данных и проведение экспериментальной части работ.

Основные положения и результаты, выносимые на защиту:

1) разработанная концептуальная модель, обеспечивает геоинформационный мониторинг водоохранных зон рек и водохранилищ, основываясь на принципе системного дополнительного сбора уточняющих пространственных данных и реализует функцию поддержки принятия управленческих решения;

2) разработанный алгоритм определения нарушения режима водоохранной зоны на основе оригинальной двухуровневой системы критериев для комплексной оценки состояния водоохранных зон позволяет реализовать принцип, заложенный в разработанную концептуальную модель и методику. На первом уровне обеспечивается первоначальная оценка состояния водоохранной зоны как на основе формализованных критериев пространственной информации, так и экологических параметров. Оценка второго уровня использует большее число критериев и учитывает ранг экологического параметра и его процентное превышение;

3) построенная содержательная часть блока экспертной системы, включая её архитектуру и логическую структуру, позволяет обеспечить функционал поддержки принятия управленческих решений, на основе экологических параметров, пространственных отношений и нормативно-правовой информации;

4) на основе предложенной концептуальной модели разработана архитектура и методика геоинформационного мониторинга водоохранных зон рек и водохранилищ.

Степень достоверности и апробация результатов. Достоверность научных и практических результатов подтверждается теоретическим обоснованием и экспериментальными исследованиями. Результаты исследования построены на анализе известных и проверяемых данных и фактах, опубликованных по теме диссертации или по смежным тематикам, связанным с геоинформационным мониторингом и состоянием водоохранных зон. В работе использованы современные и передовые методики и подходы, связанные с ГИС-анализом, обработкой и получением данных ДЗЗ, экспертными системами, системами хранения и представления геоданных.

Результаты проведенного диссертационного исследования были представлены автором в виде докладов на научно-технических конференциях:

– 67-й научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых МИИГАиК в рамках проводимого в Российской Федерации Года российской истории (г. Москва, 3–4 апреля 2012 г.); доклад «Создание модели ГИС для мониторинга незаконных построек в поймах рек»;

– 72-й научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых МИИГАиК, посвященной Дню космонавтики (г. Москва, 12–13 апреля 2017 г.); доклад «ГИС мониторинг водоохранных зон».

Публикации. Соискателем опубликовано 4 статьи по теме диссертационного исследования, из них в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК, – 3 работы.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка сокращений и библиографического списка. Общий объем диссертации составляет 118 страниц и содержит 102 страницы основного текста, 28 рисунков и 14 таблиц. Библиографический список включает 75 наименований, из них 35 публикаций на английском языке.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **Введении** описана основная цель исследования, задачи, актуальность, научная новизна, теоретическая и научная значимость проведенного исследования.

1. Анализ современных систем обеспечения геоинформационного мониторинга водоохранных зон

В главе проведен анализ действующих нормативно-правовых актов, регулирующих сферу надзора и контроля водоохранных зон в Российской Федерации. Обобщен российский и зарубежный опыт реализации систем обеспечения геоинформационного мониторинга прибрежных территорий рек, водохранилищ, морей и океанов, на основе которого построена обобщенная принципиальная схема мониторинга водоохранных зон (Рисунок 1). Описаны подходы по применению данных дистанционного зондирования Земли для обеспечения геоинформационного мониторинга водоохранных зон.

В разделе «Общие принципы и подходы по обеспечению геоинформационного мониторинга водоохранных зон» сделан вывод о том, что большинство систем мониторинга водоохранных зон базируются на едином принципе:

1) точном определении водоохранной зоны;

2) коррекции, полученного результата на основе таких пространственных и непространственных данных, как типы землепользования, планы по охране окружающей среды, транспортные планы, городские планы, административные границы, кадастровые карты, данные об экологической

безопасности, метеорологические данные, данные о качестве воды, данные по окружающей среде, данные о населении и другие данные;

3) регулярном мониторинге территории водоохранной зоны на основе данных дистанционного зондирования Земли и данных наземного контроля;

4) применении системы принятия решения для оперативного реагирования.

При этом в разделе отмечено, что, как правило, определение границ водоохранной зоны не проводится на регулярной основе, а это с течением времени приводит к уменьшению точности выявления нарушений и проблем в таких зонах.

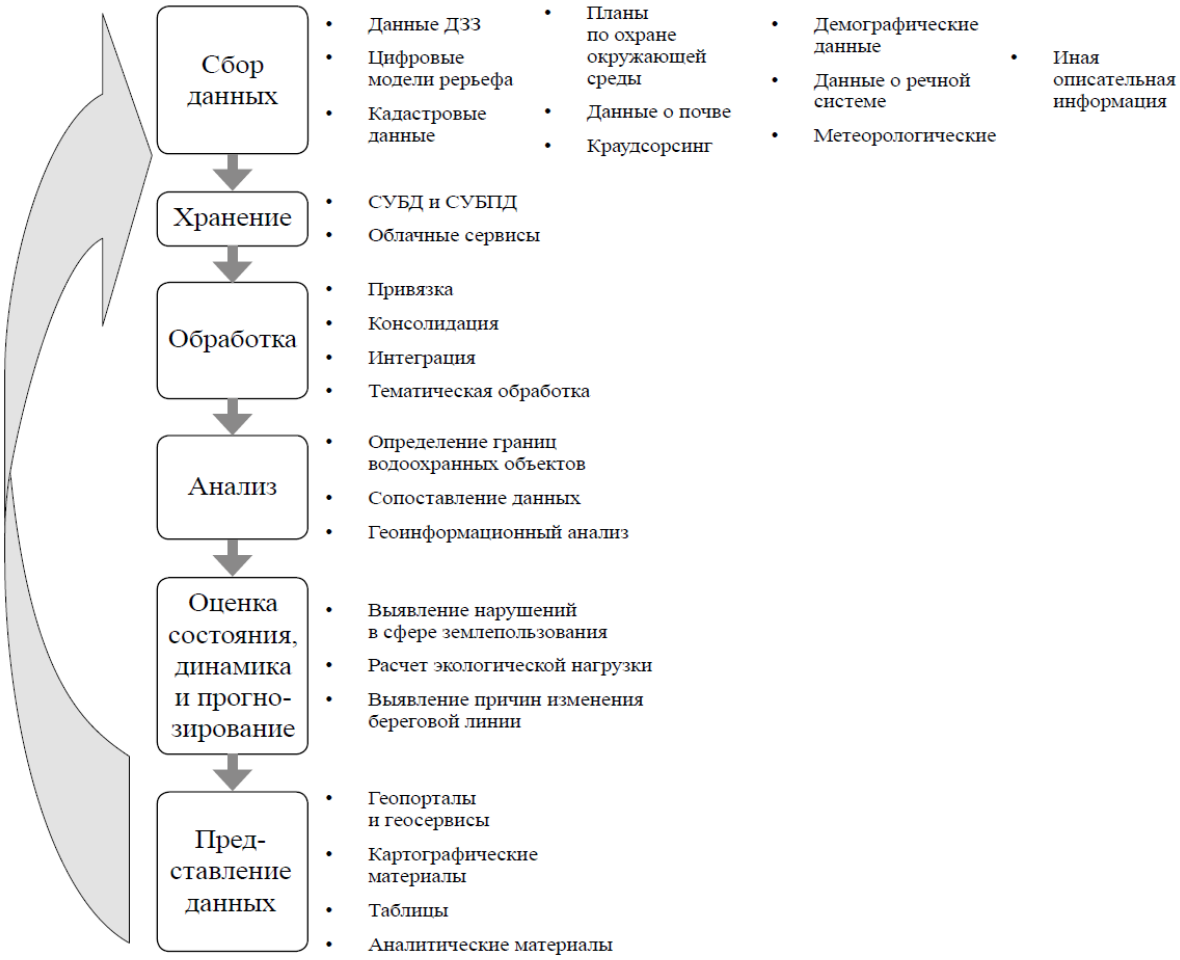

Рисунок 1 – Принципиальная схема мониторинга водоохранных зон

В разделе «Применение данных дистанционного зондирования Земли для обеспечения геоинформационного мониторинга водоохранных зон» сделан вывод о том, что наиболее информативными для выявления границ

водоохранной зоны и первичной оценки местности являются оптические данные среднего пространственного разрешения, получаемые космическими аппаратами SPOT 2/4 (10 м/пиксель), Landsat 5/7 (15 м/пиксель), Landsat 8 (15 м/пиксель), UK-DMC2 (22 м/пиксель), Terra/ASTER (15 м/пиксель), Sentinel 2A (10 м/пиксель). По этим данным с использованием различных алгоритмов тематической классификации выделяются границы водных объектов. Как правило, используются необучаемые алгоритмы с выделением границы водных объектов, так как в среднем ИК-диапазоне излучение практически полностью поглощается водой. Это позволяет очень четко выделить береговую линию и подчеркнуть водные объекты на снимке. Затем с помощью построения объектов отступа создается буферная водоохранная зона. В зависимости от решаемых задач проводится тематическая обработка данных и анализ, после чего на местах, где были выявлены возможные нарушения, проводится обработка съемки высокого и сверхвысокого разрешения, позволяющая с высокой точностью провести оценку состояния водоохранной зоны.

2. Разработка концептуальной модели системы геоинформационного обеспечения мониторинга водоохранных зон рек и водохранилищ

В главе описана разработанная впервые концептуальная модель системы мониторинга в водоохранных зонах (Рисунок 2). Она включает в себя следующие блоки и модули: 1) блок сбора и первичной обработки данных, в котором выполняются все функции, связанные со сбором, визуализацией непространственных данных и подготовкой информации для дальнейшей обработки; 2) блок геоинформационной обработки, включающий в себя модуль интеграции большого объема различных (разноформатных, разномасштабных и др.) данных, модуль хранения и модуль определения и уточнения границ водоохранной зоны по данным ДЗЗ, модуль текущего состояния территории, в котором на основе комплексной оценки состояния водоохранной зоны определяются наличие или отсутствие нарушений для исследуемого объекта и необходимость получения уточненных данных; 3) блок дополнительного сбора

данных, который обеспечивает получение уточненных данных на основе автоматизированной топографической съемки с помощью беспилотных летательных аппаратов (далее – БПЛА) или полевого сбора геоданных; 4) блок экспертной системы, где проводится анализ текущего состояния территории; с помощью базы знаний формируются рекомендации по управлению данной территорией и приведению ее в благоприятное состояние; 5) блок представления данных, где формируются выходные слои, карты, графики и др.

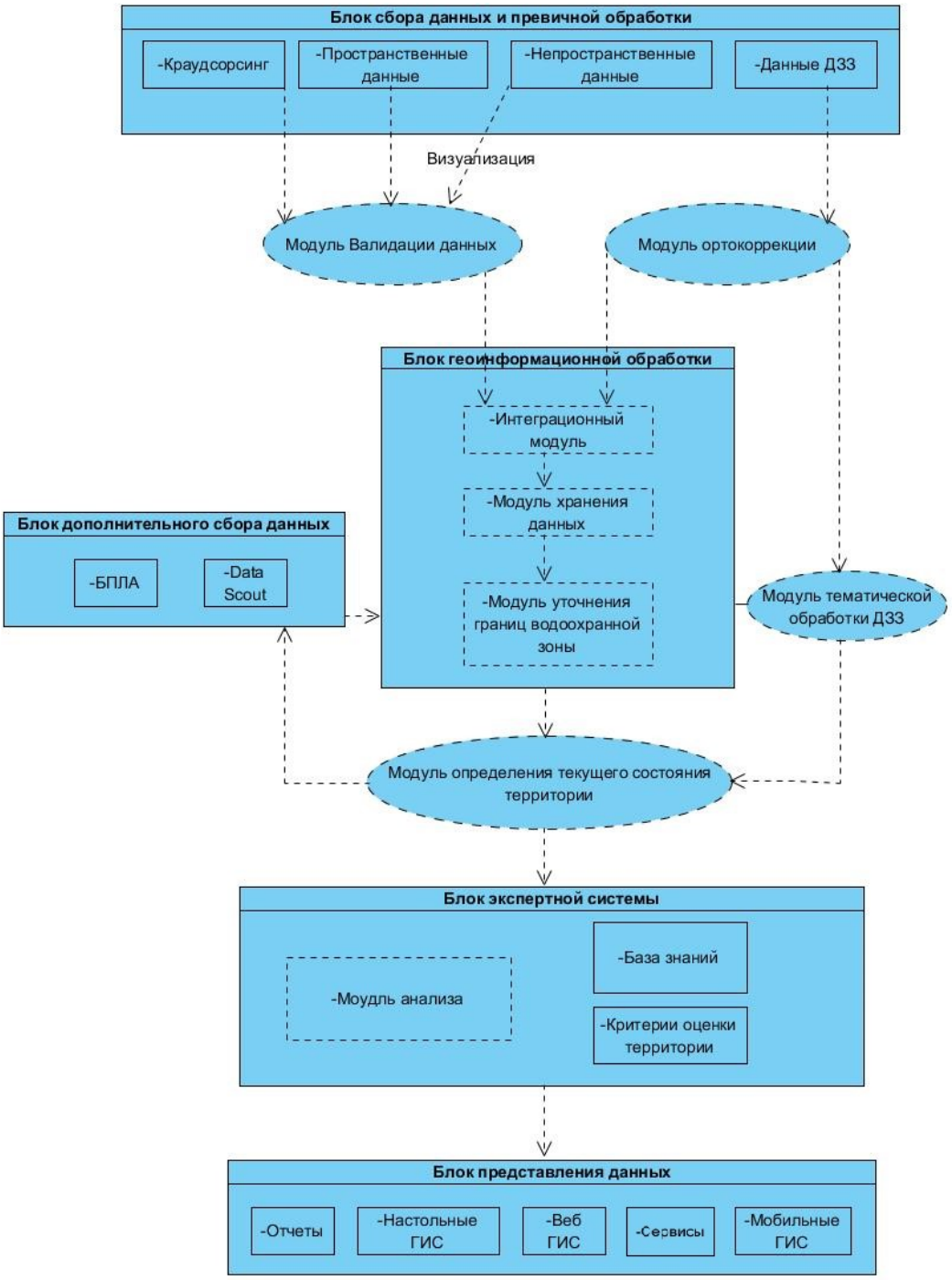

Рисунок 2 – Концептуальная модель системы геоинформационного мониторинга в водоохранных зонах

Далее более подробно рассмотрены блоки, определяющие новизну предложенного в диссертационном исследовании подхода.

Блок сбора и первичной обработки данных обеспечивает накопление различных типов данных, включая пространственные (открытые геоданные, информацию о землепользовании, векторные и растровые данные и др.), непространственные (демографическая, экологическая и другая информация). Блок данных ДЗЗ и блок краудсорсинга, обеспечивающий накопление информации с различных профильных сервисов (таких как OSM, Wikimapia, Добродел и др.), а также социальных сетей, вынесены отдельно от пространственных данных, так как требуют специализированного метода сбора и обработки данных. В блоке сбора данных обеспечивается визуализация непространственных данных, а именно добавление данной информации в качестве атрибутивной соответствующим пространственным данным по ключевым полям (одно или несколько полей, значение в которых однозначно определяет каждую запись в таблице).

В качестве входных данных в модуле определения и уточнения границ водоохранной зоны используются результаты тематической классификации данных ДЗЗ. Затем с помощью инструментов ГИС-анализа, таких как построение буферного полигона, пространственное пересечение объектов и др., определяется граница водоохранной зоны и выявляются объекты незаконной деятельности, попадающие в нее. Атрибутивная информация, относящаяся к объектам незаконной деятельности, включая их геометрические характеристики, а также экологические измерения, передается в модуль текущего состояния территории. Модуль может базироваться как на базе экспертной системы, так и на базе ГИС, так как оценка системы является промежуточной и не обеспечивает функцию поддержки принятия управленческих решений, а предоставляет промежуточный результат, на основе которого определяется необходимость дальнейшего исследования территории.

Блок дополнительного сбора данных обеспечивает получение уточненных данных на основе автоматизированной топографической съемки с помощью БПЛА или полевого сбора геоданных. Автоматизированная топографическая съемка местности выполняется посредством использования автономных беспилотных летательных аппаратов, ориентирующихся с помощью данных GPS/ГЛОНАСС на основе полетного задания. За счет алгоритмов фотограмметрической обработки материалов аэрофотосъемки обеспечивается построение ортофотоплана. Для сбора полевых данных используется методика, основанная на тематических формах и географической привязке на базе данных глобальных навигационных спутниковых систем (далее – ГНСС). Полученные данные поступают в блок геоинформационной обработки, после чего проводится повторная оценка состояния водоохранной зоны. Результаты оценки, атрибутивная информация и информация смежности между пространственными объектами в форме фактов поступает в экспертную систему, где на основе базы знаний, включающей в себя нормативно-правовые и экологические правила, формируются оценка о состоянии территории и рекомендации по управлению данной территорией и приведению ее в благоприятное состояние.

На основе алгоритма DRASTIC предложена собственная двухуровневая система критериев для комплексной оценки состояния водоохранных зон.

С помощью показателя первого уровня проводится первичная оценка территории, на основании которой определяется необходимость дальнейшего исследования зоны, включающего в себя уточнение границ водоохранной зоны и оценку по уточненным экологическим показателям.

В работе предложена универсальная система, позволяющая использовать оценку, основанную на различных экологических показателях. В качестве основных НПА взяты СанПиН 2.1.7.1287–03 и Гигиенические нормативы ГН 2.1.7.2041–06.

Интегральный показатель первого уровня рассчитывается на основе коэффициента K, задаваемого в зависимости от размера водоохранной зоны;

показателя *E*, свидетельствующего об отсутствии или наличии превышения допустимой нормы для экологического показателя, коэффициента *q*, устанавливаемого в зависимости от уровня превышения допустимой нормы (незначительное превышение, в 2 раза выше нормы и значительное превышение (более чем в 2 раза)), и размера антропогенного нарушения (нет, 30 м, от 30 до 60 м, свыше 60 м) (1).

$$Spz1 = K_n \cdot \left(\left(\sum_{i=1}^{m} E \cdot q_n \right) + r_n \right) \quad (1)$$

Интегральный показатель второго уровня определяется по уточненным данным и использует коэффициент процентного превышения предельно допустимой концентрации (далее – ПДК) *Qa* и ранг экологического показателя (химическим веществам в почте) *Ke*, а также используется непосредственно размер антропогенного нарушения *Ra*, полученный по уточненным данным (2).

$$Spz2 = Ka_n \cdot \left(\left(\sum_{i=1}^{m} E2 \cdot Ke_n \cdot Qa_n \right) + Ra_n \right) \quad (2)$$

Был разработан алгоритм определения нарушения режима водоохранной зоны на основе двухуровневой системы критериев (Рисунок 3), обеспечивающий достоверное и оперативное определение территорий, требующих дополнительного сбора данных или срочного реагирования надзорных и контрольных органов. При этом важной особенностью системы оценки является то, что она не привязана к конкретным экологическим параметрам и позволяет оценивать объем нарушения уже на основании показателя первого уровня.

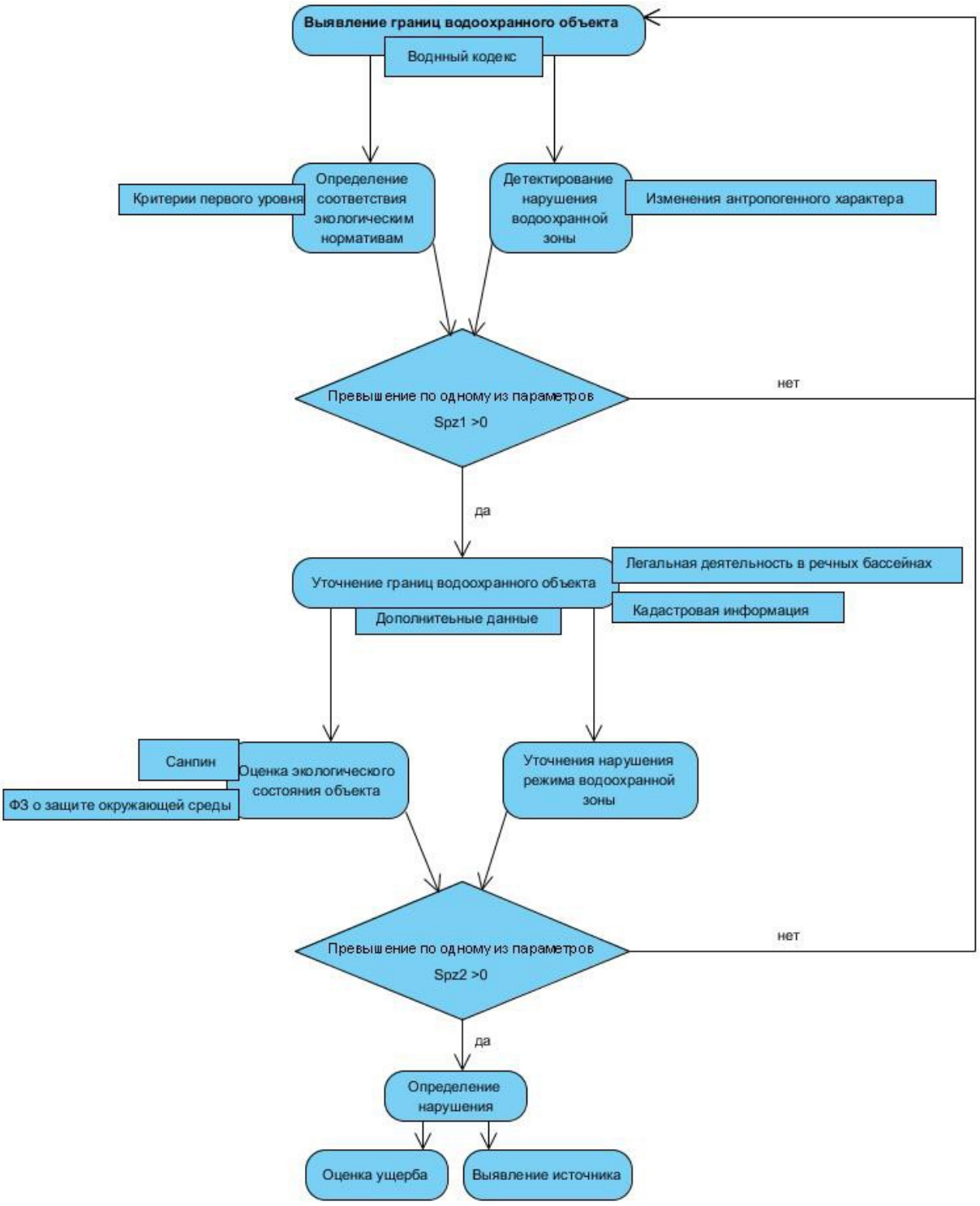

Рисунок 3 – Алгоритм определения нарушения режима водоохранной зоны

3. Разработка архитектуры геоинформационной системы мониторинга водоохранных зон рек и водохранилищ

В главе описана архитектура, построенная на основе разработанной в предыдущей главе концептуальной модели системы геоинформационного мониторинга в водоохранных зонах (Рисунок 4). В качестве наиболее

подходящих решений для создания системы выбраны ArcGIS и российская NextGIS QGIS как продукты, обладающие широким функциональным наполнением, допускающие загрузку дополнительных модулей, необходимых для интеграции, визуализации, хранения, обработки и анализа пространственных данных. Важной особенностью продуктов является возможность написания собственных модулей на языках Python и C++, что позволяет автоматизировать работу, в том числе в части взаимодействия со сторонним программным обеспечением, используемым в разрабатываемой системе.

Важной частью создаваемой ГИС мониторинга водоохранных зон рек и водохранилищ является блок дополнительного сбора данных, каждый из подблоков которого представляет собой отдельную систему. В главе формализована архитектура подблока дополнительного сбора данных с помощью БПЛА, основанная на технологии автоматизированной аэрофотосъемки водоохранной зоны. Также формализована архитектура подблока сбора геоданных на местности (Data Scout), обеспечивающего оперативный сбор экологических показателей. Использование подблока позволяет непрофессиональным пользователям в сфере ГИС собирать массивы данных для оценки состояния водоохранной зоны.

Разработана архитектура блока экспертной системы (Рисунок 5), представляющего собой основанную на пространственных данных систему поддержки принятия решений и обеспечивающего следующие действия:

– сравнение текущих параметров места с допустимыми условиями, определенными нормативно-правовыми актами, и предельно допустимыми концентрациями веществ, хранящимися в базе знаний системы;

– выявление факта и объемов нарушения режима водоохранной зоны и уведомление пользователя;

– выработка проекта решения по восстановлению состояния водоохранной зоны в соответствии с действующими правилами.

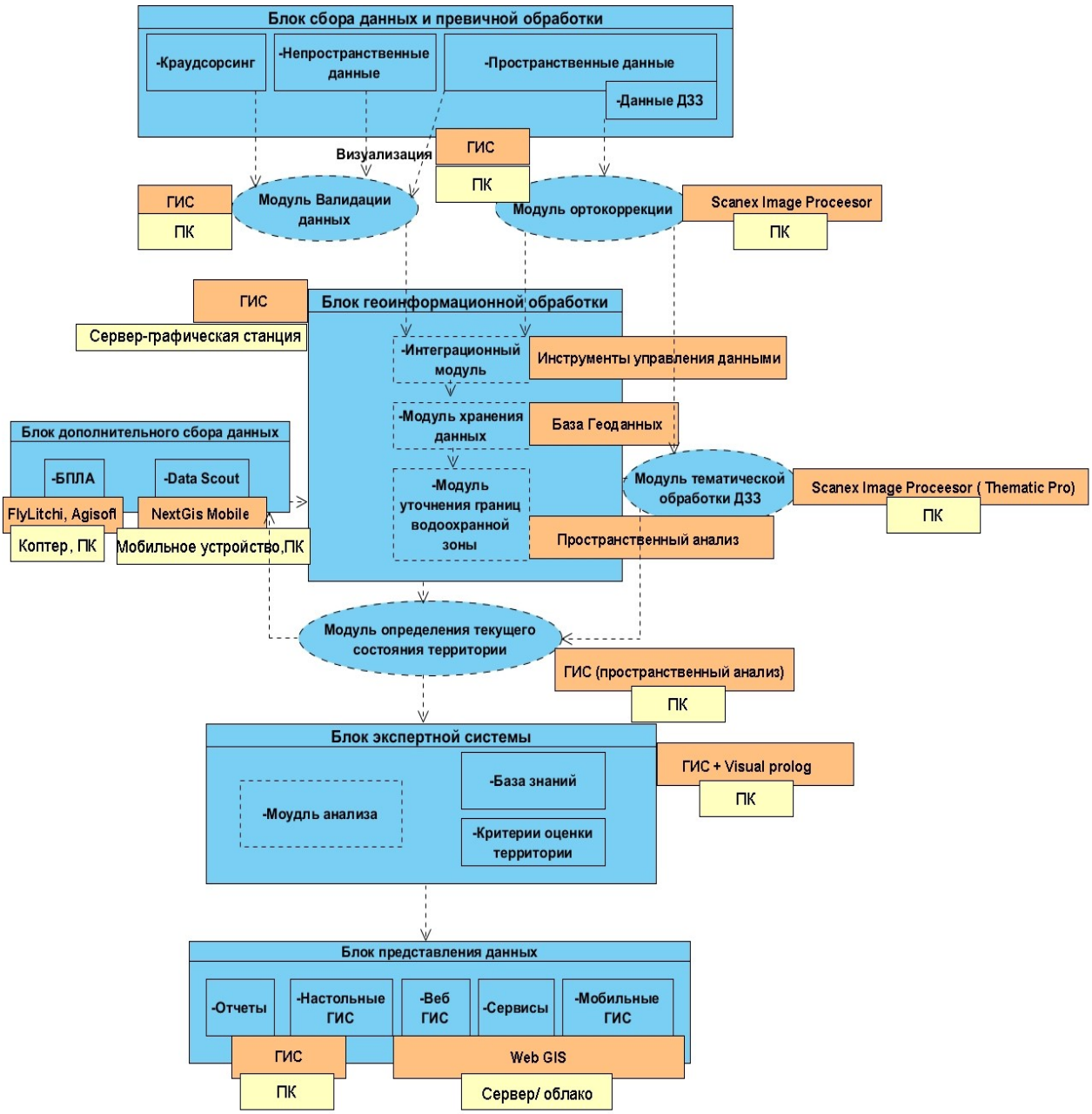

Рисунок 4 – Архитектура геоинформационной системы мониторинга водоохранных зон рек и водохранилищ

База знаний представляет собой совокупность знаний, формализованных в правила о принципах надзора и контроля в водоохранных зонах, а также знания о допустимых экологических параметрах в прибрежных зонах.

Основой базы фактов является пространственная информация (геометрические свойства объектов и их расположение относительно друг друга), полученная в результате обработки данных и ГИС-анализа. Так, пресечение, примыкание объектов различных классов, а также их атрибутивная информация формируют факты и обеспечивают на основе данных, внесенных

в базу знаний, поддержку принятия управленческих решений для водоохранных зон.

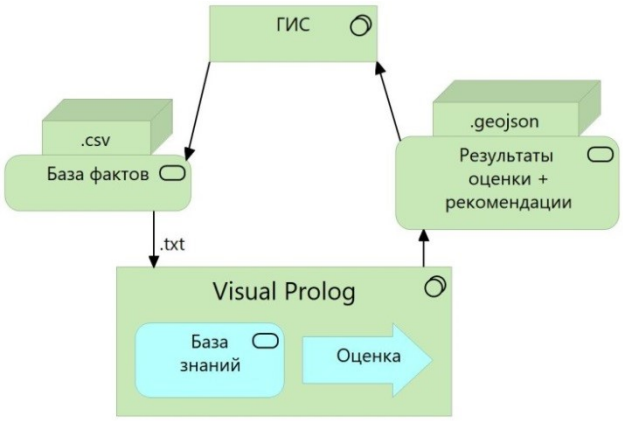

Рисунок 5 – Архитектура блока экспертной системы

В качестве входных данных базы фактов используют пространственные данные в формате CSV (текстовый формат, предназначенный для представления табличных данных), конвертируемые в формат базы текстовых данных (TXT), на основе которых формируются входные факты для экспертной системы. Правила базы знаний оформляются в самой среде Visual Prolog. В результате анализа данных на основе введенных правил формируется файл в формате GEOJSON с описанием состояния водоохранной зоны, а также предложениями по восстановлению ее состояния.

Разработана логическая схема работы экспертной системы, использующей прямой логический вывод, стратегию в глубину и направление поиска от данных задачи к цели (Рисунок 6).

На основе описанных в работе алгоритмов и архитектур впервые предложена методика работы по обеспечению геоинформационного мониторинга водоохранных зон и водохранилищ (Рисунок 7). В качестве объекта исследования рассматривается водоохранная зона рек, водохранилищ, а также других водных объектов. Методика не накладывает ограничения на размеры водоохранной зоны. Рост размеров объекта мониторинга предполагает либо больший объем данных и аппаратно-программных средств, либо уменьшение скорости мониторинга исследуемой территории. Эффективность работы методики зависит от числа

нарушений, а следовательно, необходимости сбора дополнительных данных с целью уточнения реального состояния водоохранной зоны.

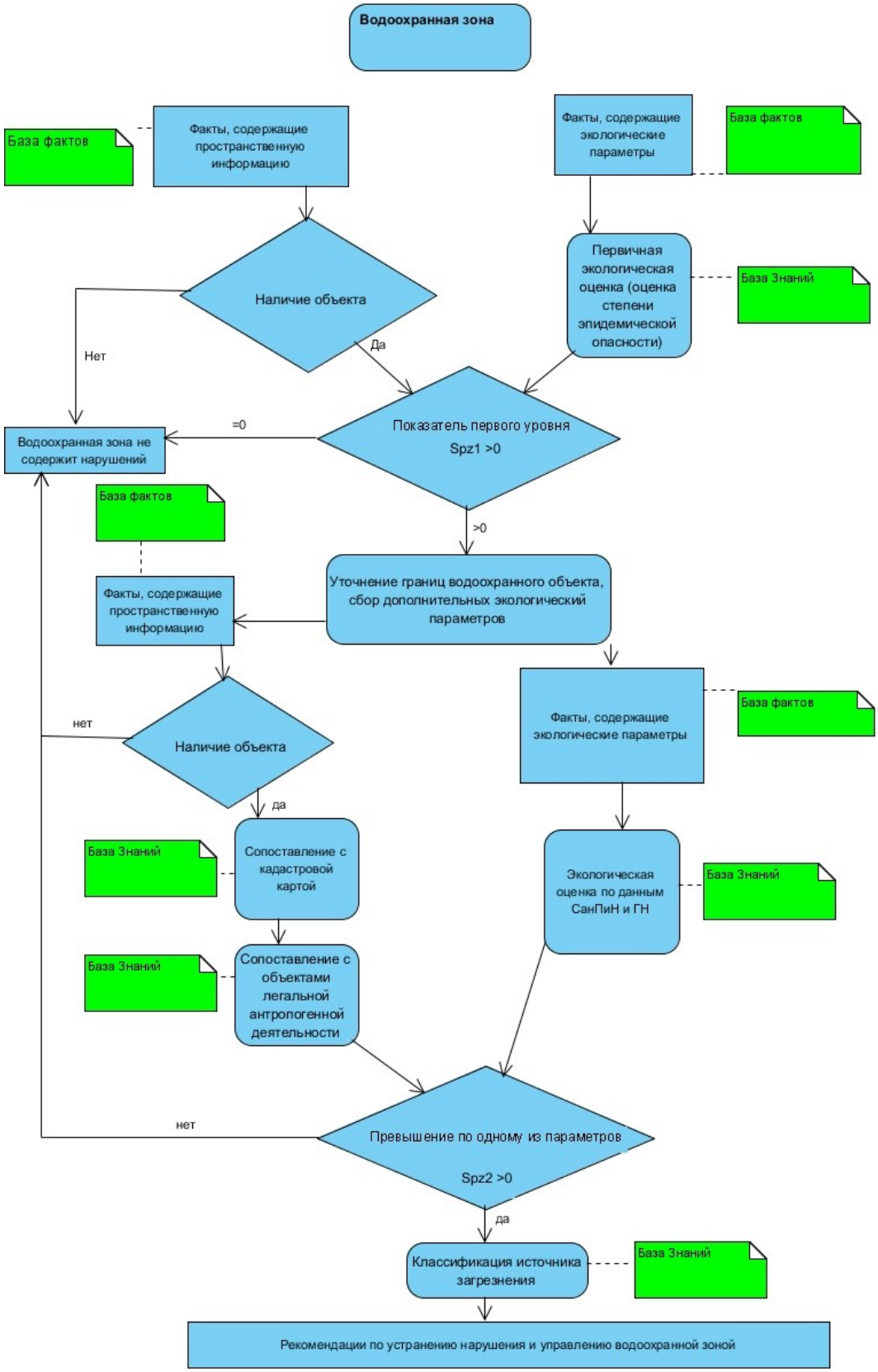

Рисунок 6 – Логическая схема работы экспертной системы

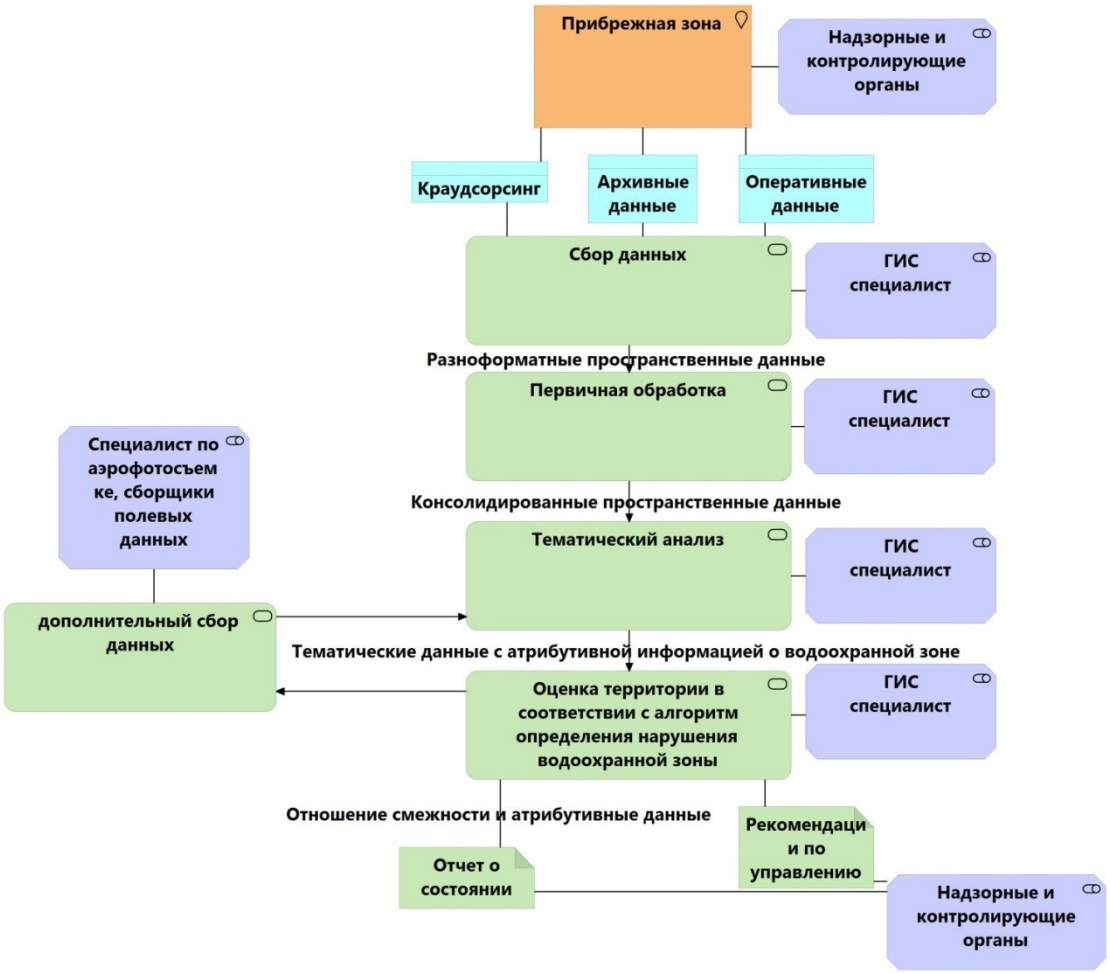

Рисунок 7 – Методика обеспечения геоинформационного мониторинга водоохранных зон и водохранилищ

4. Экспериментальная апробация разработанной архитектуры и методики геоинформационного обеспечения мониторинга водоохранных зон рек и водохранилищ

Архитектура подблока сбора геоданных на местности полностью реализована в рамках проектах «Экоквест». Одной из основных задач при экспериментальной апробации была отработка быстрого развертывания эффективной инфраструктуры по сбору экологических данных в водоохранных зонах, задействующей большое число непрофессиональных пользователей.

Проект по созданию геоинформационной системы мониторинга прибрежной зоны Всероссийский детского центра «Орленок» полностью базируется на разработанной в диссертационном исследовании архитектуре. В рамках данного проекта реализован блок сбора данных и первичной

обработки, блок геоинформационной обработки, блок дополнительного сбора данных, блок представления данных и отлажено взаимодействие между этими блоками. В результате удалось создать доступное решение, обеспечивающее высокую эффективность мониторинга водоохранной зоны моря, что подтверждает высокий потенциал предлагаемого решения не только для рек и водохранилищ. При реализации модуля экспертной системы система позволит на высоком уровне обеспечивать поддержку принятия решений.

В рамках реализации проекта были собраны исходные данные на объект исследования: векторные данные с портала OSM, разновременные данные с космических аппаратов Sentinel 2, Landsat 7/8, Метеор-М2, различные тематические данные с публичных сервисов и социальных сетей, сервисы со слоями космической съемки с геопорталов, WMS-сервис публичной кадастровой карты, дополнительные тематические картографические веб-сервисы с топокартами, данными о рельефе и др. Для данных космической съемки была выполнена ортокоррекция. Проведена визуализация непространственных данных. Затем проводилась валидация собранных данных. Для выявления границ водоохранной зоны и первичной оценки местности по данным ДЗЗ использовался необучаемый алгоритм Isodata.

Следующим этапом проводилась оценка водоохранной зоны на предмет замутненности воды и наличия стоков. На основе архитектуры подблока дополнительного сбора данных с помощью БПЛА был получен ортофотоплан зоны исследования с выходным размером пикселя 0,1 м. Была развернута система тематического сбора данных с помощью электронных измерителей кислотности, влажности, температуры и освещенности почвы, а также с помощью измерителя концентрации углекислого газа было собрано более 200 точек по всей исследуемой территории.

Для оперативной обработки и анализа данных слой с собираемыми точками был представлен в виде WMS (Рисунок 8). Вся атрибутивная и пространственная информация была проанализирована, средствами ГИС-

анализа выявлялись объекты незаконной антропогенной деятельности в водоохранной зоне, а также выбрасываемые волнами на берег объекты ТБО.

а б

Рисунок 8 – Интерфейс мобильной ГИС с собранными точками замеров.
Сравнение векторов береговой линии, полученных по данным Landsat 8 (голубая), Sentinel 2 (бирюзовая), OSM (черная).

Представленные в 4-й главе практические исследования показывают состоятельность и реализуемость разработанных в диссертации архитектур и методик, а также их гибкость.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные выводы и **итоги** диссертационного исследования: проанализированы нормативно-правовые акты РФ, регулирующие деятельность, связанную с надзором и контролем водоохранных зон; проведен комплексный анализ российского и зарубежного опыта по разработке систем мониторинга водоохранных зон и прибрежных территорий геоинформационными средствами в России и за рубежом, на основе которого построена обобщенная принципиальная схема мониторинга водоохранных зон. Определены средства и данные, необходимые для обеспечения эффективного мониторинга водоохранных зон; разработана концептуальная модель, обеспечивающая геоинформационный мониторинг водоохранных зон рек и водохранилищ, основанная на принципе дополнительного сбора уточняющих пространственных данных и обеспечивающая функцию поддержки принятия управленческих решений; разработан алгоритм определения нарушения

режима водоохранной зоны на основе двухуровневой системы критериев, обеспечивающей комплексную оценку состояния водоохранных зон; описана и построена содержательная часть блока экспертной системы, включая архитектуру и логическую схему экспертной системы; на основе концептуальной модели разработана архитектура и методика геоинформационного мониторинга водоохранных зон рек и водохранилищ. Детально описана архитектура подблоков, обеспечивающих дополнительный сбор данных; произведены экспериментальные исследования основных частей методики и архитектуры.

Перспективы дальнейших исследований: интеграция в архитектуру средств автоматизированной агрегации открытых данных и сервисов доступа к данным ДЗЗ; обеспечение автоматизации взаимодействия между блоками и модулями разработанной системы мониторинга водоохранных зон рек и водохранилищ; практическая реализация всех модулей разработанной архитектуры; доработка методики с целью возможности анализа волновых и других процессов, необходимых для всестороннего мониторинга водоохранных зон морей и океанов.

Рекомендации по использованию результатов: полученные результаты могут быть использованы разработчиками геоинформационных систем и других мониторинговых информационных систем, ведомствами, обеспечивающими надзор и контроль за водоохранными зонами, органами экологического мониторинга, а также частными компаниями, работающими в данной сфере.

СПИСОК ОСНОВНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ АВТОРА ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК:

1. Быстров, А. Ю. Современные системы геоинформационного мониторинга водоохранных зон рек и водохранилищ / А. Ю. Быстров,

А. А. Майоров // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2017. – Т. 61, № 2. – С. 80–86.

2. Быстров, А. Ю. Разработка концептуальной модели геоинформационного обеспечения мониторинга водоохранных зон рек и водохранилищ / А. Ю. Быстров, А. А. Майоров // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2017. – № 5. – С. 116–121.

3. Быстров, А. Ю. Разработка архитектуры геоинформационной системы мониторинга водоохранных зон рек и водохранилищ / А. Ю. Быстров // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2018. – № 1. – С. 109–114. DOI: 10.30533/0536-101X-2018-62-1-114-119.

Статьи в других научных изданиях:

4. Методика оперативного сбора экологических геопривязанных данных непрофессиональными пользователями / А. Ю. Быстров, С. С. Груздев, А. А. Майоров, Е. В. Семенов, А. А. Фоминых // Геопрофи. – 2018. – № 1. – С. 44–47.