

На правах рукописи



**Донцов Александр Андреевич**

**ГЕОИНФОРМАЦИОННАЯ ВЕБ-СИСТЕМА СБОРА И ОБРАБОТКИ  
ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ И ГИДРОБИОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ  
О СОСТОЯНИИ ВОДОЁМОВ**

Специальность:

05.25.05 — Информационные системы и процессы.

Автореферат

диссертации на соискание учёной степени

кандидата технических наук

Новосибирск — 2022

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте водных и экологических проблем Сибирского отделения Российской академии наук, г. Барнаул.

Научный руководитель: доктор физико-математических наук, профессор  
**Суторихин Игорь Анатольевич**

Официальные оппоненты: **Массель Людмила Васильевна**,  
доктор технических наук, профессор,  
Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН,  
г. Иркутск, заведующий отделом

**Якубайлик Олег Эдуардович**,  
кандидат физико-математических наук,  
Институт вычислительного моделирования СО РАН – обособленное  
подразделение Федерального исследовательского центра  
«Красноярский научный центр Сибирского отделения РАН»,  
г. Красноярск, заведующий отделом

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт мониторинга климатических и экологических систем  
Сибирского отделения Российской академии наук,  
г. Томск

Защита состоится 22 апреля 2022 г. в 10:00 на заседании диссертационного совета Д 999.141.03 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института динамики систем и теории управления им. В.М. Матросова Сибирского отделения Российской академии наук, Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий», федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» по адресу 630090, г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 6, конференц-зал ФИЦ ИВТ.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий»:  
<http://www.ict.nsc.ru/ru/structure/discouncil/donsov-aa>

Автореферат разослан «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2022 г.

Учёный секретарь диссертационного совета, кандидат физико-математических наук, доцент  
Лебедев А.С.



## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность исследования.** В последние десятилетия под влиянием глобальных и региональных изменений в климатической системе и воздействия антропогенных факторов на территории Российской Федерации наблюдаются значительные изменения состояния и гидрологического режима водных объектов. Известно, что фундаментальное значение для понимания и оценки степени воздействия климатических изменений и антропогенной деятельности на водные ресурсы имеют характеристики водоёмов и водотоков, такие как площадь водного зеркала, уровень и объем воды, концентрация хлорофилла «а» в поверхностном слое, а также процессы оледенения. В настоящее время для большинства регионов России проведение наземных измерений указанных характеристик не представляется возможным ввиду отсутствия стационарных пунктов наблюдения. Поэтому в последнее время для определения параметров водных объектов широко используются данные дистанционного зондирования Земли, которые во многом являются единственным актуальным источником информации. Однако необходимо отметить, что полная и всесторонняя информация о состоянии водных объектов может быть получена только путем интеграции разных способов измерений, таких как спутниковый мониторинг, наземные измерительные комплексы и экспедиционные исследования. Исходя из этого, актуальна разработка интегрированных модульных геоинформационных систем, реализующих в себе интерфейсы для обработки, хранения и анализа всех трёх вышеназванных способов измерений.

Довольно большие по площади водные объекты, такие как моря и океаны, хорошо изучены при помощи систем и методов дистанционного зондирования из космоса, созданы обширные базы данных параметров таких объектов, однако внутриконтинентальные водные объекты в этом плане менее исследованы. Изучение состояния водных объектов типа озёр, водотоков и водохранилищ трудно представить без хорошо структурированной базы данных площадных, гидрологических и гидробиологических параметров. Отмечается недостаток информации о внутриконтинентальных водных объектах в виде ГИС, электронных атласов и справочников.

Теме разработки геоинформационных систем для решения различных научно-прикладных задач посвящено довольно много работ, получены значимые результаты. Среди работ, посвященных теме разработки веб-ориентированных геоинформационных систем в виде геопорталов, можно выделить работы коллективов Института Космических Исследований РАН (Е. А. Лупян, С. А. Барталев, В. А. Толпин, В. О. Жарков), Института Вычислительных технологий СО РАН (Ю. И. Шокин, В. П. Потапов, И. А. Пестунов) и Института вычислительного моделирования СО РАН (О. Э. Якубайлик, А. А. Кадочников, В. Г. Попов). В Институте динамики систем и теории управления СО РАН (И. В. Бычков, Г. М. Ружников, А. Н. Бешенцев) разработаны и разрабатываются специализированные ГИС для изучения водных систем. В Институте водных и экологических проблем СО РАН (А. Т. Зиновьев, В. А. Жоров, И. Н. Ротанова) были созданы ГИС для

решения гидрологических и экологических задач внутриконтинентальных водных объектов. Однако в настоящее время отсутствуют веб-ориентированные ГИС, предназначенные для решения гидрологических и гидробиологических задач внутриконтинентальных водных объектов с применением в рамках одной информационной системы разных способов измерений, таких как данные спутникового мониторинга, наземных измерительных комплексов и натурных измерений. Такой подход обеспечивает возможность предоставления полной и всесторонней информации о состоянии водных объектов широкому кругу пользователей.

В связи с этим актуальной является задача разработки интегрированной ГИС в виде геопортала для решения гидрологических и гидробиологических задач озер и водохранилищ.

**Целью исследования** является разработка геоинформационной веб-системы сбора и обработки гидрологических и гидробиологических данных о состоянии водоёмов.

Для достижения поставленной цели были решены следующие **задачи**.

1. Сформулировать функциональные требования для геоинформационной системы регистрации параметров внутриконтинентальных водных объектов.
2. Разработать модель интегрированной информационной системы сбора хранения и анализа данных о состоянии параметров водных объектов, получаемых из распределенных источников.
3. Построить схему интеграции вычислительных модулей, системы хранения и средств визуализации данных в рамках информационной системы, позволяющей организовывать эффективные процессы обработки и представления пространственных данных водной тематики в рамках единого приложения.
4. Разработать вычислительные модули для определения параметров внутриконтинентальных водных объектов для решения следующих задач:
  - 1) определение площади акватории озер и водохранилищ;
  - 2) определение установления и схода льда на водоемах;
  - 3) оценка концентрации содержания хлорофилла «а» в поверхностном слое водоемов.

**Объект исследования.** Теоретические и информационные процессы формирования единого информационного пространства, реализация механизмов сбора, хранения, обработки и представления информации для решения задач мониторинга параметров малых озёр и водохранилищ.

**Предмет исследования.** Методы, модели описания информационных процессов и ресурсов, а также технология создания автоматизированных геоинформационных систем.

**Методы исследований:** информационное моделирование, обработка и проектирование баз данных, проектирование пространственных информационных систем.

**Научная новизна исследования** представленных в диссертационной работе результатов состоит в следующем:

1. Исследован и сформирован перечень требований к геоинформационной системе регистрации параметров внутриконтинентальных водных объектов, информационной основой которой являются пространственные данные, представленные в разных форматах.
2. Предложена новая информационная модель ГИС, отличающаяся возможностью комплексно решать вопросы сбора, хранения и анализа пространственной информации по водной тематике для последующего решения фундаментальных и прикладных гидрологических и гидробиологических задач.
3. Создана современная программная платформа, основанная на объединении вычислительных модулей, и обеспечивающая последовательную обработку, хранение и представление данных дистанционного зондирования Земли, наземных измерительных комплексов и натуральных наблюдений.
4. Разработан оригинальный программный комплекс для определения параметров внутриконтинентальных водных объектов с применением спутниковых данных, данных автоматизированных измерительных комплексов и натуральных наблюдений.

#### **На защиту выносятся:**

1. Перечень функциональных требований к геоинформационной системе регистрации параметров водных объектов, основанной на применении данных разных типов и форматов.
2. Информационная модель интегрированной ГИС, обеспечивающая сбор, хранение и анализ разнородной пространственной информации по водной тематике.
3. Архитектура информационной системы, в том числе: система хранения и средства визуализации данных, позволяющая организовывать эффективные процессы обработки и представления пространственных данных водной тематики.
4. Программный комплекс для определения параметров внутриконтинентальных водных объектов (площадь акватории, площадь ледового покрова водоёма, концентрация хлорофилла «а» в поверхностном слое) с применением спутниковых данных, данных автоматизированных измерительных комплексов и натуральных наблюдений.

#### **Практическая ценность работы.**

Созданная геоинформационная система позволяет производить регулярный мониторинг параметров внутриконтинентальных водных объектов по данным оптической и радиолокационной спутниковой съемки с космических аппаратов Sentinel-2 и Landsat-8, а также систем наземного мониторинга и результатов экспедиционных работ. Указанная ГИС может быть использована для решения широкого спектра фундаментальных и прикладных задач гидрологии внутриконтинентальных водных ресурсов. Получены свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ и справки об использовании результатов диссертационного исследования и их практической реализации в виде программного комплекса геоинформационной системы в Верхне-Обском

бассейновом водном управлении Федерального агентства водных ресурсов и ООО «Центр инженерных технологий».

Работа выполнена в рамках следующих проектов:

1. Проект СО РАН № 0383-2016-0002 «Изучение гидрологических и гидрофизических процессов в водных объектах и на водосборах Сибири и их математическое моделирование для стратегии водопользования, и охраны водных ресурсов», руководитель д.т.н. А. Т. Зиновьев
2. Проект Президиума РАН (грант № 0316-2015-0006, координатор: академик Ю. И. Шокин).

**Достоверность полученных результатов** обеспечивается использованием проверенных методов и теорий объектно-ориентированного анализа и проектирования информационных систем и баз данных, методов сбора, хранения и обработки пространственных данных. Полученные результаты сравнивались как с натурными данными, так и с данными, полученными при помощи других программных систем.

**Апробация работы.** Результаты исследований апробированы на научно-технических и научно-практических конференциях различного уровня: Молодёжной школе-семинаре «Дистанционное зондирование Земли из космоса: алгоритмы, технологии, данные» (Барнаул, 2013), Всероссийской конференции «Обработка пространственных данных и дистанционный мониторинг природной среды и масштабных антропогенных процессов» (Барнаул, 2013), Двенадцатой Всероссийской открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса» (Москва, 2014), Международной научной конференции «Региональные проблемы дистанционного зондирования Земли» (Красноярск, 2014), Международной научно-практической конференции «Виртуальные и интеллектуальные системы» (Барнаул, 2016), Международной конференции «Экологически безопасные технологии природообустройства и водопользования: теория и практика» (Новосибирск, 2017), Всероссийской конференций с международным участием «Обработка пространственных данных в задачах мониторинга природных и антропогенных процессов» (Бердск, 2019).

**Соответствие диссертации специальности.** В соответствии с паспортом научной специальности 05.25.05 - «Информационные системы и процессы» диссертационная работа автора охватывает исследования и разработки в области программных, информационных, аспектов обеспечения функционирования систем и реализации процессов генерации, сбора, хранения, обработки, поиска, передачи, представления и воспроизведения информации. Отраженные в диссертации положения соответствуют следующим пунктам:

2. Техническое обеспечение информационных систем и процессов, в том числе новые технические средства сбора, хранения, передачи и представления информации. Комплексы технических средств, обеспечивающих функционирование информационных систем и процессов, накопления и оптимального использования информационных ресурсов.

5. Организационное обеспечение информационных систем и процессов, в том числе новые принципы разработки и организации функционирования

информационных систем и процессов, применения информационных технологий и систем в принятии решений на различных уровнях управления. Общие принципы и основы организации информационных служб и электронных библиотек.

7. Прикладные автоматизированные информационные системы, ресурсы и технологии по областям применения, форматам обрабатываемой, хранимой, представляемой информации (табличная, текстовая, графическая, документальная, фактографическая, первичная или вторичная).

**Публикации.** Результаты диссертационного исследования представлены в 22 печатных работах, в том числе в 5 статьях в изданиях, рекомендованных ВАК для публикации результатов диссертационных работ. Получены свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ «ML Geo processing», баз данных «Гидрологические параметры рек и водоемов Западной Сибири» и «Гидрооптические параметры водоемов Западной Сибири».

**Личный вклад автора состоит в следующем [в скобках указаны ссылки на статьи, где опубликован результат].**

1. Создана специализированная геоинформационная веб-система, в виде геопортала, для регистрации параметров состояния внутриконтинентальных водных объектов на основе спутниковых данных и данных, получаемых с наземных приборов. Реализован пользовательский веб-интерфейс и программные интерфейсы для взаимодействия с настольными ГИС, такими как GRASS, QGIS и др. Разработан RESTfull WEB-API для интеграции с наземными измерительными комплексами.  
[1, 2].
2. Разработана информационная модель сбора и хранения спутниковых данных, данных наземных измерительных комплексов и натуральных наблюдений, представленных в разных форматах [1, 2].
3. Разработаны программные модули, обеспечивающие обработку спутниковых данных и привязку к ним результатов локальных, наземных измерений [1, 2, 3, 4, 5].
4. Разработаны графические и консольные пользовательские интерфейсы для организации работы пользователей с ГИС, интеграция разработанных программных модулей в единую модульную ГИС [4, 5].
5. Проверена и протестирована работоспособность интегрированной ГИС для ряда конкретных задач гидрологии и гидробиологии внутриконтинентальных водных объектов, таких задач как оледенение водохранилища, определение площадей водоёмов, определение концентрации хлорофилла в поверхностном слое водоёма [9, 10, 12].
6. Сделана оценка точности определения параметров водных объектов по спутниковым данным, а именно, таких параметров как определение площади акватории озёр и водохранилищ; определение установления и

схода ледового покрова на водоёмах; оценка концентрации содержания хлорофилла «а» в поверхностном слое водоемов [3, 11].

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка литературы, содержащего 146 наименований и приложения. Общий объем работы 117 страниц, в том числе 45 рисунков и 10 таблиц.

## **КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цель и решаемые задачи, установлена научная новизна и практическая значимость полученных результатов.

**В первой главе** рассмотрены существующие источники информации о состоянии внутриконтинентальных водных объектов. Данные источники информации можно разделить на следующие категории.

1. Спутниковые данные.
2. Данные наземных измерительных комплексов.
3. Данные натурных наблюдений и экспедиционных работ.

Применение в рамках ГИС результатов спутниковой съемки и наземных измерений обеспечивает предоставление разноплановой информации о состоянии водных объектов пользователям ГИС. В работе, в качестве данных наземных измерительных комплексов, используются данные, полученные при помощи автоматизированного атмосферно-почвенного измерительного комплекса АПИК, который установлен на берегу озера Красиловское в Алтайском крае. Измерительный комплекс позволяет получать информацию о метео параметрах атмосферы, солнечной радиации, уровнях озерных и грунтовых вод, температуре и кислотности вод. АПИК состоит из трех автономных блоков, специально подготовленных для установки на акватории озера на плоту, на дне недалеко от уреза воды и стационарно на берегу. Измерительный комплекс снабжен GSM модемом для передачи данных. В рамках работы по созданию геоинформационной системы для обеспечения автоматизированного получения данных измерительного комплекса АПИК был разработан специальный программный интерфейс. Результаты измерений передаются в формате JSON и после валидации записываются в базу данных ГИС. Результаты экспедиционных работ также могут быть добавлены посредством программного интерфейса или веб-интерфейса с формой добавления и импорта файлов.

Учитывая специфику получения и обработки гидрологических и гидробиологических данных о состоянии водоёмов, государственные стандарты Российской Федерации (ГОСТ) и международные стандарты разработки информационных систем (IEEE) был сформулирован ряд требований к создаваемой ГИС, который был разделён на три категории. Ниже представлены основные требования.



### **Общие требования.**

1. Применение принципов построения современных информационных систем (расширяемость, модульность, масштабируемость, переносимость и т.д.).
2. Использование разработанных Открытым геопространственным консорциумом (Open Geospatial Consortium, OGC) протоколов для публикации и обработки пространственных данных в сети Интернет.
3. Возможность функционирования в виде интернет-сервиса.
4. Модульность, основные компоненты должны иметь возможность работать как в виде независимых приложений, так и в составе единой системы.
5. Наличие программных интерфейсов для интеграции с настольными ГИС, такими как GRASS, QGIS, ENVI и т.д. и измерительными комплексами.
6. Наличие механизмов разграничения доступа к разным компонентам информационной системы и наборам данных.
7. Возможность адаптации. Имеется в виду гибкость настройки программного обеспечения системы под специфику деятельности конкретной организации.
8. Эргономичность интерфейса. По возможности в системе должны применяться стандартизированные средства интерфейса пользователя, соответствующие характеру выполняемых человеком операций. Веб-интерфейс должен корректно отображаться на устройствах с различными параметрами экрана (планшеты, ноутбуки, персональные компьютеры).
9. Соответствие с ГОСТ Р 52155-2003 (Географические информационные системы федеральные, региональные, муниципальные. Общие технические требования).
10. Соответствие со спецификацией реализации пространственной информации (OpenGIS Implementation Specification for Geographic information - Simple feature access - Part 1: Common architecture).

### **Требования к подсистеме сбора данных.**

1. Загрузка, как по расписанию, так и по запросу пользователя гидрологических данных из удаленных источников, с последующей обработкой и каталогизацией их в базе данных.
2. Фильтрация гидрологических данных по произвольным пользовательским запросам, где в качестве параметров запроса могут быть:
  - название водного объекта;
  - измеряемая величина;
  - дата измерения;
  - параметр водного объекта;
  - широта и долгота;
  - пространственные характеристики — в случае с результатами обработки спутниковых данных.

3. Хранение собираемых данных с привязкой к источнику их получения и предоставление к ним доступа через веб-интерфейс пользователя и программные интерфейсы.

**Требования к вычислительным модулям.**

1. Использование алгоритмов выделения водных объектов на спутниковых снимках.
2. Реализация каждого алгоритма обработки данных как независимой процедуры для построения последовательной обработки гидрологических данных из отдельных вычислительных модулей.
3. Предоставление доступа к управлению модулям ГИС через веб-интерфейс панели администратора и консольные команды на сервере ГИС.
4. Отображение полученных результатов расчетов на электронной карте, если они являются пространственными данными.

В рамках диссертационного исследования были рассмотрены различные проекты, и работы связанные с определением и мониторингом параметров водных объектов. Они рассматривались с точки зрения предложенных требований. Проведенный анализ показал, что в настоящее время не существует систем, полностью удовлетворяющих этим критериям, следовательно, разработка новой геоинформационной системы является актуальной задачей.

Во **второй главе** на основе представленных ранее требований разработана концептуальная архитектура информационной системы (рисунок 1). Предложенная ГИС взаимодействует с удаленными источниками данных с целью получения информации о выбранном водном объекте. Главным потребителем результатов работы ГИС выступает пользователь, на основе запросов которого осуществляется поиск, обработка и отображение результатов вычислений. Исходя из этого, ГИС предоставляет ряд сервисов: «Каталог спутниковых данных», «Сервис обработки данных» и «Средства экспорта и визуализации данных».

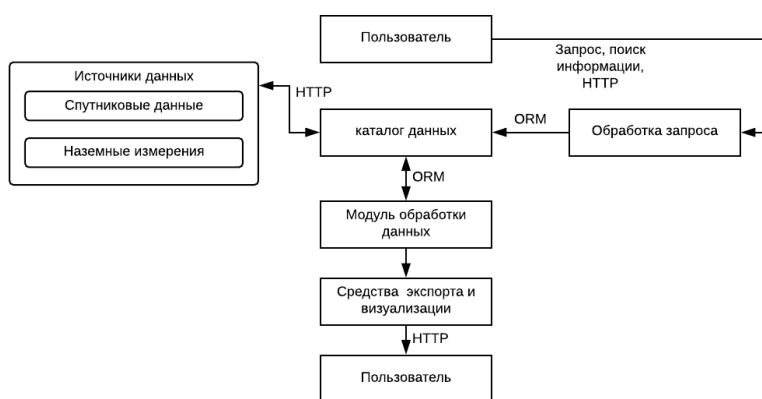


Рисунок 1. Концептуальная архитектура ГИС

Одним из основных компонентов ГИС является каталог данных. Главным критерием создания каталога является специфика хранимых данных, которые имеют географическую привязку, результаты обработки спутниковых снимков записываются в каталог в виде векторных полигонов, результаты наземных

измерений выражены в виде точек. Согласно специфике и организации поступления данных в каталог предложена следующая схема его реализации. На рисунке 2 показаны этапы создания каталога пространственных данных.

*Сбор данных* для хранилища данных водной тематики представляет собой низовой уровень аккумуляции в одном месте «сырой» информации. В качестве источников информации выступают традиционные карты разных масштабов, ДДЗ, данные мониторинга и натуральных наблюдений.

*Обработка* предполагает согласование данных для обеспечения их целостности и непротиворечивости, т.е. приведение к единому формату представления. В итоге формируется база данных векторных материалов, ДДЗ, а также атрибутивных данных.

На этапе *загрузки в систему* подготовленных пространственных данных происходит проверка на повторяемость материалов, связка таблиц данных по первичным и вторичным ключам. Помимо визуализации присутствует функция экспорта файлов в виде векторных полигонов.

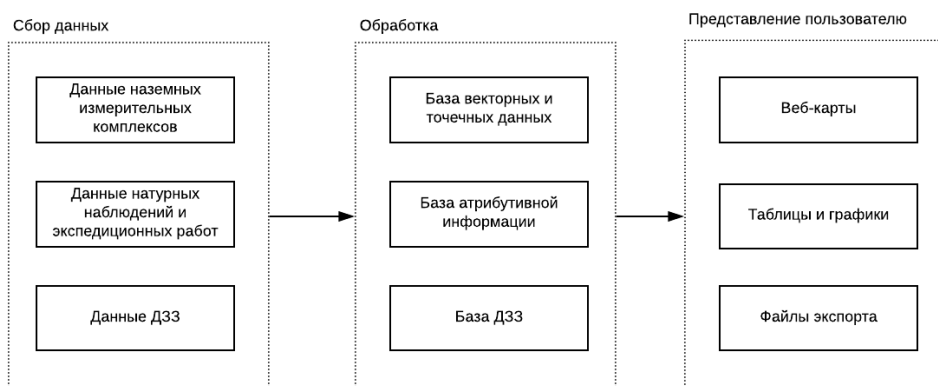


Рисунок 2. Этапы создания каталога пространственных данных

На рисунке 3 показана схема операций обработки данных и ГИС. Пользователь может запросить как результаты обработки спутниковых снимков, так и данные экспедиционных работ или измерительных комплексов, при этом схема работы системы не меняется, но меняются модули, реализующие тот или иной алгоритм или операцию. В первую очередь пользователю необходимо выбрать водный объект, источник данных, диапазон дат за который нужно получить информацию. Если в базе данных ГИС есть необходимые исходные данные, то в зависимости от задачи происходит выбор алгоритма обработки данных и непосредственно сама обработка. Если в базе данных ГИС нет необходимых исходных данных, то формируется запрос на получение данных из удаленных источников (архивов спутниковой информации, измерительных комплексов). Если данные в удаленных источниках не найдены, то система выведет сообщение пользователю. Если данные в удаленных источниках найдены, то происходит их скачивание и распаковка. Затем в зависимости от задачи происходит выбор алгоритма обработки данных с последующей обработкой. Результаты вычислений записываются в базу данных и доступны пользователю посредством веб-интерфейса. В завершении работы система предоставляет пользователю ГИС сводный отчет о выполненных процедурах.

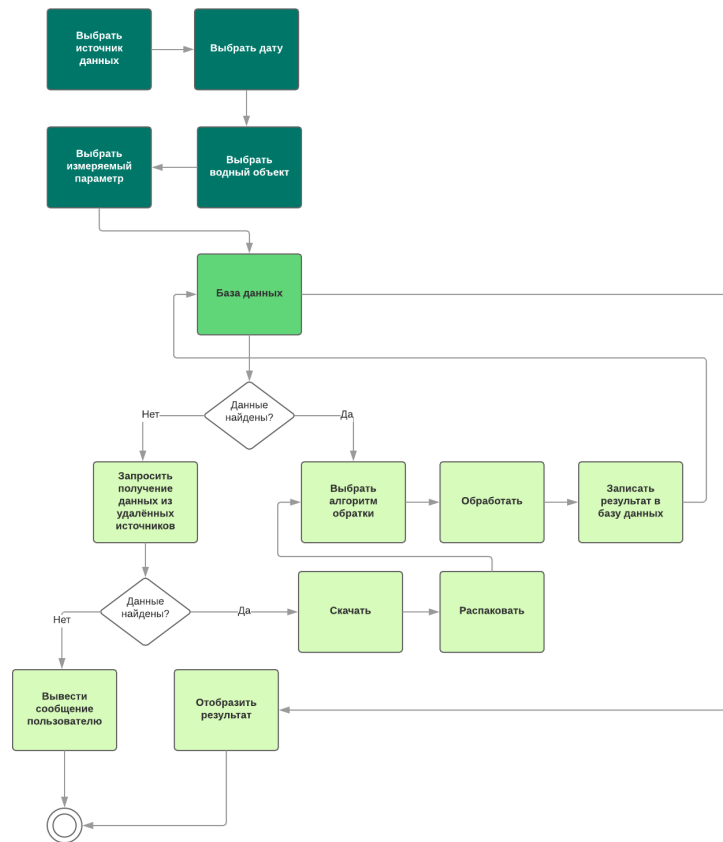


Рисунок 3. Последовательность операций обработки данных в информационной системе

На рисунке 4 показаны потоки данных в ГИС от источников данных к пользователю, данные поступают через программные интерфейсы, на этом этапе необходима валидация, наиболее сложной в технологическом плане является проверка спутниковых снимков, так как необходимо убедиться, что архивы были полностью скачаны на сервер ГИС, затем их нужно распаковать и сохранить. В случае с результатами измерений автоматизированных комплексов и натурных наблюдений то происходит проверка файлов на целостность, формат. Затем спутниковые данные проходят атмосферную коррекцию и тематическую обработку, после сохранения результатов вычислений и импорта данных, они доступны пользователям.

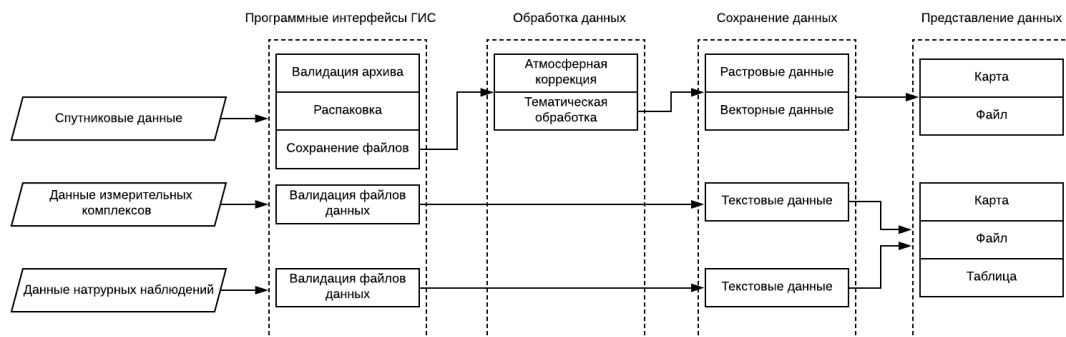


Рисунок 4. Потоки данных в информационной системе

**Третья глава** посвящена созданию геоинформационной системы. Геоинформационные веб-приложения состоят из клиентской и серверной части, реализуя тем самым технологию «клиент – сервер». ГИС разработана на основе веб-платформы Django, которая предназначена для создания веб-проектов с использованием языка программирования Python. Главные компоненты Django включают в себя подсистему объектно-реляционного отображения, автоматически генерируемый веб-интерфейс администратора, гибкий маршрутизатор URL-адресов и систему шаблонной обработки.

На рисунке 5 представлена структурная схема ГИС. Был разработан веб-интерфейс и WMS/WPS-интерфейс для взаимодействия с настольными ГИС. Также реализован интерфейс интеграции с системами наземного мониторинга водных объектов.

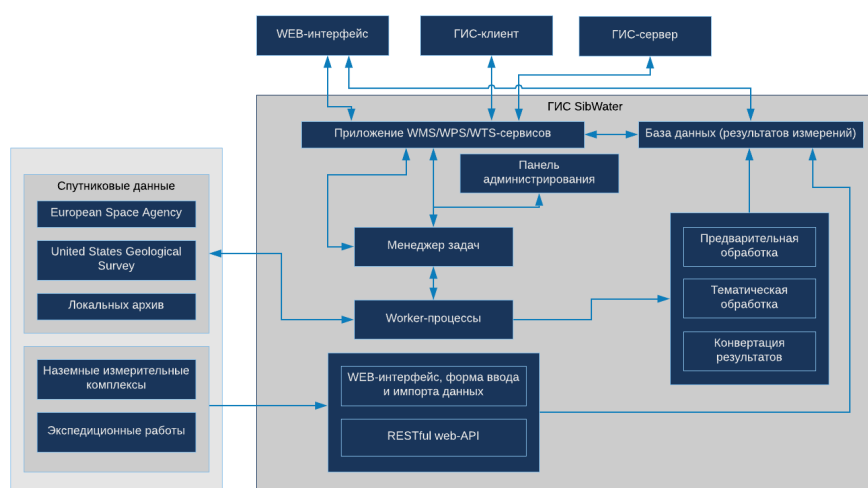


Рисунок 5. Структурная схема ГИС

Рассмотрим основные модули ГИС. Ядром является модуль Application, который реализует связи между остальными компонентами и отвечает за формирование панели администрирования, в которой устанавливаются основные настройки. Компоненты ГИС, доступные через панель администрирования представлены ниже. Модуль управления вычислительными задачами (Periodic Tasks).

1. Модуль управления векторными полигонами, загруженными в базу данных.
2. Компонент, позволяющий осуществлять управление пользователями и группами пользователей, а также настройку разграничения прав доступа к разделам ГИС (Пользователи и группы).
3. Модуль «Приложение» является основным компонентом, его главные функции заключаются в следующем: администрирование перечня водных объектов, для которых осуществляется мониторинг; управление данными загруженными в систему; администрирование перечня измеряемых параметров водных объектов; настройка доступа к удаленным источникам данных; управление результатами обработки данных.

Блок тематической обработки спутниковых данных включает в себя набор программных модулей для работы с данными оптического диапазона. На этапе предварительной обработки осуществляется атмосферная коррекция. Для реализации атмосферной коррекции используется программный модуль, базирующийся на основе пакета Sen2Cor. Sen2Cor предназначен для генерации и форматирования продукта Sentinel-2 Level 2A и содержит систему атмосферной коррекции ATCOR, которая генерирует продукты уровня 2A и включает дополнительные функции, такие как создание карты классификации, обнаружение и удаление дымки перистых облаков, топографическую коррекцию, теневую компенсацию и т.д.

Если отмеченный водный объект перекрывается маской облачности, то обработка снимка не проводится. С помощью предварительной маски воды определяются границы анализируемого водоема, на основе которых из целого изображения вырезается фрагмент, содержащий рассматриваемый водоем. После предварительной и тематической обработки осуществляется выделение водной поверхности, при помощи, в случае с данными оптического диапазона, водных индексов, которые усиливают контраст между водной поверхностью и другими объектами. Полученные результаты в виде векторных полигонов записываются в базу данных.

**В четвертой главе** приводятся результаты использования разработанной ГИС в ряде конкретных задач гидрологии и гидробиологии внутриконтинентальных водных объектов.

**Определение площади водоёмов и изменения береговой линии.** Для выделения водной поверхности на спутниковых снимках оптического диапазона используется алгоритм расчёта спектрального индекса NDWI. Водным объектам соответствует положительное значение индекса, а остальным отрицательное. На рисунке 6 представлен результат определения площади акватории озера Красиловское по данным КА Sentinel-2. Слева исходный снимок, справа комбинация результата классификации в векторном формате и исходного снимка. Результаты определения площади записываются в базу данных ГИС в виде полигонов и в дальнейшем могут использоваться для определения динамики площади водного объекта в произвольный период.



Рисунок 6. Озеро Красиловское, Sentinel-2

На рисунке 7 показана изменение площади озера Красиловское в течении 2017 года (А), эту информацию дополняет график изменения уровня воды в этот же период (Б).

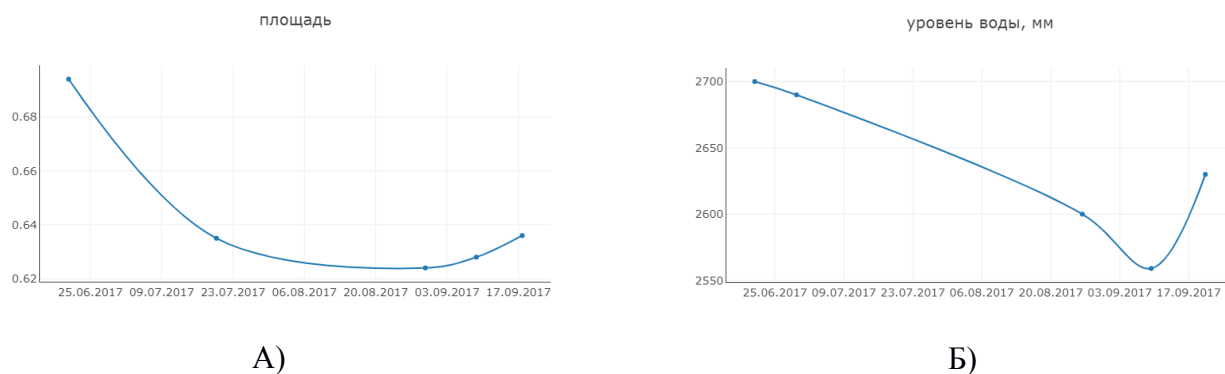


Рисунок 7. А – изменение площади озера Красиловское в течение 2017 года.  
Б – Изменение уровня воды озера Красиловское

**Определение установления и схода ледового покрова.** Определение установления и схода ледового покрова является важной и актуальной задачей гидрологии, технологически эта задача, в рамках ГИС, решается следующим способом. В межевой период определяется площадь водного объекта, результат вычислений в виде векторного полигона записывается в базу данных. Затем в период установления или схода ледового покрова этот полигон используется для того, чтобы ограничить им область обработки спутниковых данных. Для этой области вычисляется спектральный индекс NDSI, значения индекса 0.42 и более – лед, значения меньше – открытая вода. На рисунке 8 показаны этапы определения площади ледового покрова.

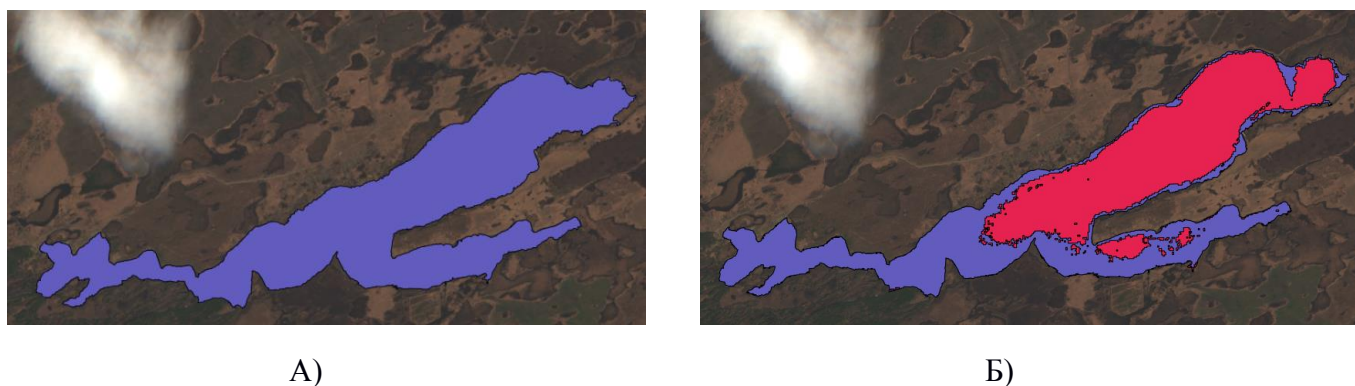


Рисунок 8. А – спутниковый снимок и векторный полигон, ограничивающий область вычислений. Б – результат выделения ледового покрова.

**Оценка концентрации содержания хлорофилла «а» в поверхностном слое водоёмов.** Определение в водоемах концентраций хлорофилла «а» – фотосинтетического пигмента растительной клетки, позволяет получить однозначную информацию об интенсивности фотосинтеза и биомассе фитопланктона, характеристиках качества воды, наличие химических

загрязнений. Мультиспектральные данные позволяют производить оценку концентрации хлорофилла «а» в поверхностном слое водоёмов при помощи расчета спектрального индекса *NDCI* (Normalized Difference Chlorophyll Index). Для определения концентрации хлорофилла «а» в поверхностном слое Новосибирского водохранилища данным КА Sentinel-2 был использован модуль *chl\_o2* вычислительного пакета *ACOLITE*, который реализует алгоритм отношения синего и зелёного спектральных каналов. Результаты определения хлорофилла по спутниковым данным и результаты вычисления *NDCI* сравнивались с данными экспедиционных измерений, которые проходили 16.08.2017. Сравнение показало высокий коэффициент корреляции между результатами обработки спутниковых данных и экспедиционными измерениями  $R_{NDCI} = 0.93$  и  $R_{Sentinel-2} = 0.95$ . На рисунке 9 показан пример визуализации результатов вычисления концентрации хлорофилла «а» при помощи веб-интерфейса ГИС. Красными точками показаны места экспедиционных измерений концентрации содержания хлорофилла «а» в поверхностном слое водохранилища

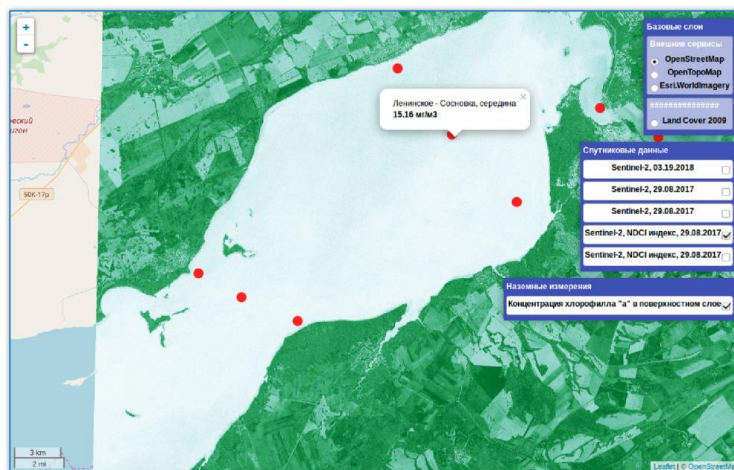


Рисунок 9. Результат вычисления индекса *NDCI* по данным Sentinel-2, 29.08.2017. Красными маркерами показаны места экспедиционных измерений концентрации содержания хлорофилла «а» в поверхностном слое.

**В заключении** сформулированы основные результаты работы.

1. Выделен перечень функциональных требований для геоинформационной веб-системы, позволяющей в автоматизированном режиме производить сбор и обработку гидрологических и гидробиологических данных о состоянии водоёмов.
2. Предложена новая модель ГИС, отличающаяся возможностью комплексно решать вопросы сбора, хранения и анализа пространственной информации по водной тематике для последующего решения фундаментальных и прикладных гидрологических задач.
3. Построена схема интеграции вычислительных модулей, системы хранения и каталогизации, средств визуализации в единую



информационную систему, позволяющая организовывать эффективные процессы обработки и представления пространственных данных водной тематики.

4. Создана информационная система, позволяющая предоставлять разноплановую информацию пользователям о состоянии водных объектов. Она была апробирована на примере решения актуальных задач гидрологии и гидробиологии: определение площади водоёмов, определение установления и схода льда на водоемах, оценка концентрации содержания хлорофилла «а» в поверхностном слое водоемов.

Разработанная геоинформационная система используется в Верхне-Обском бассейновом водном управлении Федерального агентства водных ресурсов и в ООО «Центр инженерных технологий». Программный комплекс показал высокую эффективность при решении задач, связанных с определением параметров водоёмов.

### **Основные публикации по теме диссертации**

#### Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК:

1. **Донцов, А.А.** Специализированная геоинформационная система автоматизированного мониторинга рек и водоемов / **А.А. Донцов, И.А. Суторихин** // Вычислительные технологии. — 2017. — Т. 22, № 5 — С. 39-46.
2. **Донцов, А.А.** Региональная геоинформационная система оперативного космического мониторинга/ **А.А. Донцов, Н.В. Волков, А.А. Лагутин** // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Техника и технологии. — 2015. — Т. 8(6). — С. 763-769.
3. **Донцов, А.А.** Разработка технологии организации каталогов спутниковых данных / **А.А. Донцов, Н.В. Волков, А.А. Лагутин** // Известия Алтайского государственного университета. — 2014. — № 1-2. — С. 172-175.
4. **Волков, Н.В.** Разработка геопортальной системы для решения задач регионального космического мониторинга / **Н.В. Волков, А.А. Донцов, А.А. Лагутин** // Известия Алтайского государственного университета. — 2013. — № 1-2 (77). — С. 151–156.

#### Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК по другим специальностям:

5. **Донцов, А.А.** Определение площади акватории озер по данным дистанционного зондирования Земли и ГИС-технологий / **А.А. Донцов, И.А. Суторихин** // Естественные и технические науки. — 2016. — № 11 (101). — С. 106–109.

#### Свидетельства о регистрации программ для ЭВМ и баз данных:

6. **Донцов, А.А., Суторихин, И.А.,** Гидрологические параметры рек и водоёмов Западной Сибири. Свидетельство о государственной регистрации базы

данных № 2018621130, заявка 2018620418, дата рег. 24.07.2018. — М.: Роспатент, 2018.

7. *Суторихин, И.А., Донцов, А.А., Коломейцев, А.А.*, Гидрооптические параметры водоемов Западной Сибири. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2018621910, заявка 2018621374, дата рег. 03.12.2018. — М.: Роспатент, 2018.
8. *Донцов, А.А., Суторихин, И.А.*, ML Geo processing. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2017617154, заявка 2017611248, дата рег. 27.05.2017. — М.: Роспатент, 2017.

Статьи, доклады в сборниках научных трудов и журналах:

9. *Dontsov, A.A.* Geographi information system for bloom monitoring inland water bodies / A.A. Dontsov, I.A. Sutorihin, I.M. Frolenkov // *Limnology and Freshwater Biology*. — 2020. — no. 4 (SI:7VBC). — Pp. 914-915.
10. *Донцов, А.А.* Интегрированная геоинформационная система мониторинга состояния внутриконтинентальных водных объектов / А.А. Донцов, И.А. Суторихин, А.А. Коломейцев // *Обработка пространственных данных в задачах мониторинга природных и антропогенных процессов (SDM-2019) [Электронный ресурс]: Сборник трудов всероссийской конференции с международным участием. Новосибирск: ИВТ СО РАН. — 2019. — С. 99-103.*
11. *Донцов, А.А.* Мониторинг цветения внутриконтинентальных водных объектов по спутниковым данным / А.А. Донцов, И.А. Суторихин, И.М. Фроленков // *Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы: Материалы XXV Международного симпозиума (С). — 2019. — С. 406-409.*
12. *Донцов, А.А.* Геоинформационная система определения состояния внутриконтинентальных водных объектов / А.А. Донцов, И.А. Суторихин // *Ползуновский альманах. — 2018. — № 4. — С. 118-122.*
13. *Донцов, А.А.* Геоинформационная система регистрации гидрологических параметров внутриконтинентальных водных объектов / А.А. Донцов, И.А. Суторихин // «Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология»: сб. материалов в 2 т. — Новосибирск: СГУГиТ. — 2018. — Т. 1 — С. 74-80.
14. *Донцов, А.А.* Данные дистанционного зондирования земли и ГИС технологии в задачах регистрации параметров внутриконтинентальных водных объектов / А.А. Донцов, И.А. Суторихин // *Обработка пространственных данных в задачах мониторинга природных и антропогенных процессов [Электронный ресурс]: Труды всероссийской конференции (29-31 августа 2017 г.). Новосибирск — 2017. — С. 172-175.*
15. *Донцов, А.А.* Спутниковая информация и ГИС технологии в задачах регистрации гидрологических параметров внутриконтинентальных водных объектов / А.А. Донцов, И.А. Суторихин // *Материалы XVII конференции молодых ученых ИВЭП СО РАН «Шаг в науку». Ответственный редактор:*

- В.И. Букатый, редколлегия: Д.М. Безматерных и другие; Институт водных и экологических проблем СО РАН. — 2017. — С. 34-39.
16. **Донцов, А.А.** Данные дистанционного зондирования земли в задачах регистрации гидрофизических параметров внутриконтинентальных водных объектов / **А.А. Донцов**, И.А. Суторихин // Труды III Всероссийской научной конференции с международным участием «Водные и экологические проблемы Сибири и Центральной Азии» в 4 томах. — 2017. — С. 53-57.
  17. **Донцов, А.А.** ГИС технологии и данные дистанционного зондирования земли в задачах регистрации гидрологических параметров внутриконтинентальных водных объектов / **А.А. Донцов**, И.А. Суторихин // Труды VI Международной научно-практической конференции «Современные проблемы водохранилищ и их водосборов» в 3-х томах. Научные редакторы А.Б. Китаев, О.В. Ларченко, С.А. Двинских. — 2017. — С. 56-59.
  18. **Донцов, А.А.** Автоматизированный мониторинг площадей акваторий озер и водохранилищ по спутниковым данным / **А.А. Донцов**, И.А. Пестунов, С.А. Рылов, И.А. Суторихин // Интерэкспо Гео-Сибирь. — 2017. — Т. 4. № 2. — С. 38-45.
  19. **Донцов, А.А.** Спутниковая информация и гис в задачах экологического мониторинга внутриконтинентальных водоемов / **А.А. Донцов**, И.А. Суторихин // Материалы Международной конференции "Экологически безопасные технологии природообустройства и водопользования: теория и практика", посвященной 25-летию программы УНИТВИН / Кафедры ЮНЕСКО. — 2017. — С. 76-81.
  20. **Донцов, А.А.** Геоинформационная система для определения площади акватории озёр / **А.А. Донцов**, И.А. Суторихин // Ползуновский альманах. — 2016. — № 2. — С. 93-95.
  21. **Донцов, А.А.** Технологии разработки геопортальной системы спутникового мониторинга / **А.А. Донцов**, Н.В. Волков, А.А. Лагутин // Двенадцатая Всероссийская открытая конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». — 2014. — С. 109.
  22. **Донцов, А.А.** Разработка геопортальной системы регионального космического мониторинга / **А.А. Донцов**, Н.В. Волков, А.А. Лагутин // Всероссийская конференция Обработка пространственных данных и дистанционный мониторинг природной среды и масштабных антропогенных процессов. — 2013. — С. 71.