

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт водных и экологических проблем
Сибирского отделения Российской академии наук

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»

Диссертация на соискание учёной степени
кандидата технических наук

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

Барнаул — 2021

Оглавление

	Стр.
ВВЕДЕНИЕ	4
Глава 1. Данные о состоянии внутриконтинентальных водных объектов и информационные системы их обработки . .	11
1.1 Источники данных о состоянии водных объектов	11
1.1.1 Спутниковые данные	12
1.1.2 Натурные наблюдения и экспедиционные работы	15
1.1.3 Автоматизированные наземные измерительные комплексы	18
1.2 Организация автоматизированного получения спутниковых данных из специализированных центров архивации и распространения	21
1.3 Современные геоинформационные системы мониторинга гидрологических объектов	26
1.4 Требования к геоинформационной системе	29
Выводы	34
Глава 2. Подходы к реализации геоинформационных систем сбора и обработки гидрологических данных	35
2.1 Общая информационная модель и компоненты ГИС	35
2.1.1 Каталог данных	37
2.1.2 Средства импорта данных	40
2.1.3 Сервис обработки данных	41
2.1.4 Средства экспорта и визуализации данных	43
2.2 Варианты взаимодействия пользователей с ГИС	44
2.3 Информационные потоки и схемы обработки данных	48
2.4 Архитектура геоинформационной системы	52
Выводы	56
Глава 3. Реализация геоинформационной системы	57
3.1 Серверная часть геоинформационной системы	57
3.2 Реализация каталога и базы данных	59
3.3 Формирование карт	63
3.4 Подсистема сбора данных	66

	Стр.
3.5 Управление вычислительными процессами	67
3.6 Веб-интерфейс	69
3.7 Интеграция с наземными измерительными комплексами	72
Выводы	75
Глава 4. Решаемые при помощи геоинформационной системы	
задачи	76
4.1 Определение площади акватории водоёмов	76
4.2 Оценка концентрации содержания хлорофилла «а» в поверхностном слое водоёмов	81
4.3 Определение установления и схода льда на водоемах	85
Выводы	87
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	88
Список литературы	89
Приложение А. Информационная система	106
Приложение Б. Акты и свидетельства	113

ВВЕДЕНИЕ

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 [1]. Известно [2, 3], 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 объём 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 путём интеграции разных способов измерений воедино, 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, гидробиологических и гидрохимических 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) [4], 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) [5]. 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 [6], 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 [7–9]. Однако, в настоящее время, отсутствуют веб-ориентированные ГИС, предназначенные для решения гидрологических и гидробиологических задач внутриконтинентальных водных объектов с применением спутниковых снимков, данных 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 сформулированы и 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:

- Определение площади акватории озер и водохранилищ.
- Определение установления и схода льда на водоемах.
- 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 внутриконтинентальных водных объектов.

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

Методы исследования. 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 натурных наблюдений.

4. Разработан оригинальный программный комплекс для определения параметров внутриконтинентальных водных объектов с применением спутниковых данных, данных автоматизированных измерительных комплексов и натурных 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 натурных 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 свидетельства о государственной регистрации баз данных и программы для ЭВМ. Получены 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.

- 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.

- 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 подтверждается тестовой проверкой конкретных расчетных методов. 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, 2017), Всероссийской конференций с международным участием «Обработка пространственных данных в задачах мониторинга природных и антропогенных процессов» (Бердск, 2019), VII Международной Верещагинской Байкальской Конференции (Иркутск, 2020), V ежегодном международном Семинаре Сибирской Сети по изучению изменений окружающей среды (SecNet) «Сибирь в эпоху глобальных вызовов: Природа человека и человеческая природа» (Барнаул, 2020).

В 2015-2016 годах исследования автора поддерживались стипендией Губернатора Алтайского края имени лётчика-космонавта Г.С. Титова.

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» и 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 [10–12].

2. Разработана информационная модель сбора и хранения спутниковых данных, данных наземных измерительных комплексов и натурных наблюдений, представленных в разных форматах [13].
3. Разработаны программные модули, обеспечивающие обработку спутниковых данных и привязку к ним результатов локальных, наземных измерений [10, 14–16].
4. Разработаны графические и консольные пользовательские интерфейсы для организации работы пользователей с ГИС, интеграция разработанных программных модулей в единую модульную ГИС [10].
5. Проверена и протестирована работоспособность интегрированной ГИС для ряда конкретных задач гидрологии внутриконтинентальных водных объектов. Таких, как: оледенение водохранилища, определение площадей водоёмов, определение концентрации хлорофилла в поверхностном слое водоёма [17–20].
6. Сделана оценка точности определения параметров водных объектов по спутниковым данным, таких как: определение площади акватории озёр и водохранилищ; определение установления и схода ледового покрова на водоёмах; оценка концентрации содержания хлорофилла «а» в поверхностном слое водоемов [21].

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

Автор выражает благодарность д.ф.-м.н. проф. Суторихину И. А. за научное руководство и поддержку, коллективу Лаборатории гидрологии и геоинформатики Института водных и экологических проблем СО РАН за ценные советы и дискуссии, которые были в процессе подготовки диссертации, а также коллективу кафедры радиофизики и теоретической физики АлтГУ, лично к.ф.-м.н. Волкову Н. В. и д.ф.-м.н. проф. Лагутину А. А.

Глава 1. Данные о состоянии внутриконтинентальных водных объектов и информационные системы их обработки

1.1 Источники данных о состоянии водных объектов

В последние десятилетия наблюдается ухудшение экологического состояния внутриконтинентальных водных объектов в Российской Федерации. Это обусловлено деградацией водных объектов и проблемами водохозяйственного использования. Данные процессы происходят на фоне сокращения сети наблюдений в системе государственного мониторинга и ослабления контроля за влиянием антропогенной деятельности на водные объекты [22, 23]. Например, в Российской Федерации из 2 290 водохранилищ стационарные пункты наблюдения расположены не более чем на 12%. На малых озерах пункты наблюдения практически отсутствуют [23].

Однако проблема сохранения водных ресурсов и повышения качества воды возрастает с каждым годом. Вместе с тем увеличивается и число задач качественной оценки состояния водных ресурсов, а также доступности результатов измерений широкому кругу заинтересованных организаций и лиц, начиная с государственных структур и, заканчивая общественными организациями [24].

Необходимо отметить, что в настоящее время для большинства регионов Российской Федерации проведение регулярных наземных измерений не представляется возможным ввиду отсутствия сети стационарных пунктов наблюдения. Поэтому для определения параметров водных объектов широко используются данные дистанционного зондирования Земли, которые во многом являются единственным актуальным источником данных о водных объектах [22, 23, 25].

Источники информации о состоянии внутриконтинентальных водных объектов можно разделить на следующие категории:

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

При организации работы с данными необходимо учитывать технологические особенности получения и формат представления данных. В следующих

разделах дан краткий анализ особенностей основных категорий источников информации о состоянии параметров водных объектов.

1.1.1 Спутниковые данные

Определение параметров водных объектов на основе материалов спутниковой съемки представляет особый интерес, так как спутниковые данные одномоментно покрывают обширную территорию и отражают текущие формы и площади водных объектов. Благодаря этому данные спутниковой съемки становятся все более широко востребованными [26–28].

При помощи данных дистанционного зондирования Земли и геоинформационных технологий можно решать многие важные задачи, в том числе такие как:

1. Инвентаризация водохранилищ и других водных объектов.
2. Регулярные наблюдения за состоянием дамб и других водозащитных и гидротехнических сооружений.
3. Оценка экологического состояния водных объектов, в том числе выявление загрязненных в результате аварийных сбросов и разливов вредных веществ участков водоемов, выявление источников загрязнения.
4. Изучение русловых процессов и картографирование микрорельефа дна на мелководье.
5. Прогнозирование и оперативный мониторинг наводнений, моделирование процессов затопления территории в результате наводнений.
6. Определение биологической продуктивности водоемов, выявление водных биоресурсов, решение рыбоводческих задач.
7. Определение площади акватории водных объектов.

При работе со спутниковыми данными необходимо учитывать ряд особенностей, которые представлены ниже:

1. Внутриконтинентальные водные объекты, как правило, имеют относительно небольшую площадь, поэтому для эффективного определения их пространственных характеристик подходят данные среднего и высокого разрешения.

2. Зависимость от погодных условий и времени суток для спутниковых аппаратов с измерительной аппаратурой, работающей в оптическом диапазоне.
3. Внутриконтинентальные водные объекты значительно менее изучены при помощи систем дистанционного зондирования Земли, чем относительно большие по площади моря и океаны.
4. Эффективность обработки спутниковых данных во многом зависит от выбора оптимальных алгоритмов обработки, технологических решений, проработанных методик, информационного обеспечения [29, 30].

Исходя из вышеперечисленных особенностей, в работе используются данные космических аппаратов Sentinel-2 и Landsat-8, которые доступны в открытых архивах спутниковой информации ESA (European Space Agency) и USGS (United States Geological Survey).

Ранее для определения параметров внутриконтинентальных водных объектов широко использовались данные космического аппарата Landsat-8. Период съёмки Landsat-8 составляет 16 дней. Пространственное разрешение мультиспектральных изображений, получаемых в настоящее время со спутников Landsat-8, составляет 30 метров [31]. Начиная с 2016 года на регулярной основе с периодичностью съёмки в 10 дней стали доступны данные со спутника Sentinel-2A. Разрешение снимков Sentinel-2 в видимом и ближнем инфракрасном диапазоне спектра составляет 10 метров. Второй спутник с аналогичными характеристиками Sentinel-2B был запущен 7 марта 2017 года, что улучшает периодичность съёмки до 5 дней [32, 33]. Помимо данных оптического диапазона, актуально применение радиолокационных данных космических аппаратов Sentinel-1A/B, на борту спутников установлена радиолокационная аппаратура с синтезированной апертурой C-SAR, которая обеспечивает всепогодную, а также круглосуточную поставку космических снимков. Съёмка выполняется в C-диапазоне (длина волны 6 см). Периодичность съёмки космических платформ Sentinel-1 составляет 5 дней [34]. В таблице 1 показано сравнение спектральных каналов КА Landsat-8 и Sentinel-2.

Таблица 1 — Спектральные каналы Sentinel-2 в сравнении с Landsat-8

Sentinel-2	Разрешение (м) данных Sentinel-2	Длина вол- ны (мкм)	Landsat-8 (разреше- ние 30 м)
1 — Coastal/Aerosol	60	0.443	1 — Coastal/Aerosol
2 — Blue	10	0.490	2 — Blue
3 — Green	10	0.560	3 — Green
4 — Red	10	0.665	4 — Red
5 — Vegetation Red Edge	20	0.705	
6 — Vegetation Red Edge	20	0.740	
7 — Vegetation Red Edge	20	0.783	
8 — NIR	10	0.842	
8A — Vegetation Red Edge	20	0.865	5 — NIR
9 — Water vapour	60	0.945	
10 — SWIR - Cirrus	60	1.375	9 — SWIR — Cirrus
11 — SWIR	20	1.610	6 — SWIR
12 — SWIR	20	2.190	7 — SWIR

Приборы, расположенные на борту космических аппаратов Sentinel-2 и Landsat-8, позволяют получать многоспектральные (от видимой до ИК-области электромагнитного спектра) снимки Земной поверхности. Полученные данные проходят процесс корректировки для компенсации вклада атмосферы, связанного с поглощением газов и рассеиванием излучения аэрозолями. Для получения однородных по качеству снимков Земной поверхности также необходима топографическая коррекция, которая учитывает эффекты рельефа местности, зенитного и азимутального угла Солнца и расстояния между Землей и Солнцем [35].

Для решения задачи получения спутниковых данных в автоматизированном режиме был разработан специальный программный модуль. Он основан на

сетевом подключении к интерфейсам серверов архивов спутниковой информации. В процессе подключения устанавливается сессия передачи запроса на поиск данных, состоящий из координат требуемой области данных, даты съемки и типа спутника. Сервер в ответ на запрос передает список доступных данных, удовлетворяющих запросу. После этого происходит скачивание данных в виде архива на сервер ГИС. Подробно организация автоматизированного получения данных из архивов спутниковых данных показана в разделе 1.2.

1.1.2 Натурные наблюдения и экспедиционные работы

Разработка сервисов хранения и публикации данных натурных наблюдений и результатов экспедиционных работ является важной и актуальной задачей: данный подход позволяет организовать широкий и междисциплинарный доступ к таким данным [36, 37]. Как уже отмечалось ранее, если для относительно больших по площади водных объектов существует довольно много баз данных параметров, то для внутриконтинентальных водных объектов их существенно меньше [38]. Накопленные ресурсы хранятся в разнородных базах данных и форматах, отсутствует организация доступа к таким данным. Поэтому для конечных пользователей существуют проблемы доступа к этой информации.

Традиционно для получения информации о состоянии водных объектов применяются полевые исследования, точечные сборы. Целью таких исследований является проведение измерений, а также наблюдения и систематизация данных о гидрологических объектах, явлениях и процессах, наблюдаемых в природе. Однако данные методы наблюдений и контроля имеют один принципиальный недостаток — они не оперативны и в большинстве случаев характеризуют состояние водных объектов только в момент отбора проб. К тому же лабораторные анализы занимают довольно большое время. Водные объекты могут иметь относительно большие площади, что влечет за собой вложение больших денежных средств или технические и организационные трудности при проведении полевых исследований [39]. Однако несмотря на такие недостатки, экспедиционные, полевые наблюдения играют очень важную роль в исследованиях. Наземные измерения позволяют с высокой точностью определить па-

раметры водного объекта, а также разработаны различные методологические подходы и рекомендации для объективного определения характеристик водных объектов [40].

Предполагается, что экспедиционные и полевые данные можно разделить на следующие основные категории:

1. Гидрохимические данные.
2. Гидрологические данные.
3. Гидрооптические данные.
4. Гидробиологические данные.

Данные натурных наблюдений и экспедиционных работ, как правило, состоят из файлов, представленных в разных форматах. В основном это офисные форматы, такие как: Dос, Excel или их аналоги, иногда встречается CSV. На рисунках 1.1 и 1.2 показаны примеры обработанных экспедиционных данных по измерению хлорофилла «а» в поверхностном слое Новосибирского водохранилища, которые были получены сотрудниками Лаборатории водной экологии ИВЭП СО РАН в 2017 и 2018 году.

	A	B	C	D
3	пробы			мг/м3
4	31.1	Камень, л.б.	15.08.2017	32,30
5	31.2	Камень, середина	15.08.2017	29,32
6	31.3	Камень, п.б.	15.08.2017	31,18
7	2.2	Дресвянка, середина	15.08.2017	31,11
8	3.2	Малетино, середина	15.08.2017	34,07
9	4.2	Спирино, середина	15.08.2017	39,29
10	5.1	Ордынское - Нижнекаменка, л.б.	16.08.2017	6,99
11	5.2	Ордынское - Нижнекаменка, середина	16.08.2017	9,90
12	5.3	Ордынское - Нижнекаменка, п.б.	16.08.2017	11,61
13	6.1	Боровое - Быстровка, л.б.	16.08.2017	10,62
14	6.2	Боровое - Быстровка, середина	16.08.2017	8,69
15	6.3	Боровое - Быстровка, п.б.	16.08.2017	7,81
16	7.1	Ленинское - Сосновка, л.б.	16.08.2017	22,07

Рисунок 1.1 — Экспедиционные данные по измерению хлорофилла «а» в поверхностном слое Новосибирского водохранилища

Для загрузки таких таблиц в базу данных, был разработан программный модуль, который позволяет сопоставить столбцы в файле Excel или CSV со столбцами в базе данных ГИС. Для загрузки в базу данных основным требованием к таким данным является наличие координат мест измерений, даты и времени.

	А	В	С
1	Номер станции	Дата	Хл. "а",
2			мг/м3
3	1.1	12.07.2015	10,75
4	1.2	12.07.2015	11,01
5	1.3	12.07.2015	10,27
6	2.2	13.07.2015	7,96
7	520 км по лоции	13.07.2015	8,74
8	GPS-104	13.07.2015	8,60
9	GPS-107	13.07.2015	13,89
10	GPS-111	13.07.2015	10,27
11	3.2	13.07.2015	7,35
12	ЗЛ.2	13.07.2015	5,74
13	4.1	13.07.2015	10,88
14	4.2	13.07.2015	11,01
15	4.3	13.07.2015	9,86

Рисунок 1.2 — Экспедиционные данные по измерению хлорофилла «а» в поверхностном слое Новосибирского водохранилища

Этого достаточно для того, чтобы загрузить данные и потом визуализировать на карте. Также в момент загрузки пользователь должен указать, на каком водном объекте были произведены измерения. На рисунке 1.3 показан фрагмент интерфейса формы загрузки текстовых данных.

SibWater 1.0

Главная > Приложение > Измерения параметров > Импорт

Импорт

Будут импортированы следующие поля: value, waterObject, type, valueEd, dataSource, time

Файл для импорта: Файл не выбран.

Формат:

Рисунок 1.3 — Фрагмент интерфейса ГИС, форма загрузки текстовых данных

1.1.3 Автоматизированные наземные измерительные комплексы

Применение локальных автоматизированных систем мониторинга параметров природных объектов является перспективным направлением исследований. Такие измерения проводятся с целью мониторинга различных природных процессов, как правило, с дальнейшей передачей результатов измерений широкому кругу заинтересованных лиц [41, 42].

Мониторинг внутриконтинентальных водных объектов является частью мониторинга природной среды в целом. Согласно современным международным подходам, мониторинг любого компонента природной среды (в том числе водных объектов) должен включать комплекс стандартизированных наблюдений и приёмов обработки, анализа и передачи потребителям результатов этих наблюдений [43].

В работе в рамках ГИС был разработан интерфейс получения данных автоматизированного измерительного комплекса АПИК. Он располагается в Косихинском районе Алтайского края на озере Красиловское. АПИК позволяет в автономном режиме получать информацию о метеопараметрах атмосферы, солнечной радиации, уровнях озерных и грунтовых вод, температуре и кислотности вод. Измерительный комплекс состоит из трех автономных блоков, специально подготовленных для установки на акватории озера на плоту, на дне недалеко от уреза воды и стационарно на берегу [44].

Рассмотрим состав и функциональные возможности комплекса АПИК, так как он позволяет измерять все основные характеристики водного объекта и метеорологических параметров, влияющих на состояние водного объекта.

Блок «Акваплатформа» (рисунок 1.4) включает измерители температуры воды на основе цифрового датчика DS18B20 (точность $\pm 0,1^\circ$ в диапазоне от -55 до $+55^\circ\text{C}$). Измерители температуры и влажности воздуха — на основе цифровых датчиков DS18B20 и НН-4021-003 соответственно. Блок включает в себя также измеритель проводимости воды на глубине 3 м со встроенным датчиком температуры на основе цифрового датчика разработки ИМКЭС СО РАН (точность $\pm 20\%$ в диапазоне 8–2000 мкСм/см).

Блок «Береговой» включает в себя гидростатический измеритель уровня воды в обсадной трубе длиной 10 м на основе цифрового датчика 26PC05SMT (точность $\pm 1\%$ в диапазоне 0,1–1,5 м).



Рисунок 1.4 — Автоматизированный измерительный комплекс АПИК «Аква-платформа»

Блок «Стационар» (рисунок 1.5) включает измерители температуры и влажности воздуха на основе цифровых датчиков DS18B20 и НН-4021–003 соответственно, установленных на мачте на высоте 2 и 4 м над поверхностью земли, и измерители температуры грунта на глубинах 0; 2; 5; 10; 15; 20; 30; 40; 60; 80, 120; 160; 240 и 320 см на основе цифровых датчиков DS18B20. Кроме того, измеритель уровня грунтовых вод на глубине 3 м на основе цифрового датчика 26PC05SMT (точность $\pm 1\%$); измеритель атмосферного давления на основе цифрового датчика MPL115A1 (точность ± 1 кПа в диапазоне 50–115 кПа); измеритель количества жидких осадков на основе цифрового датчика Rain Collector II (точность $\pm 0,2$ мм), а также измеритель уровня снега на основе цифрового датчика разработки ИМКЭС СО РАН (точность $\pm 0,05$ м в диапазоне 0–1,5 м). Измеряются следующие данные: температура и влажность воздуха, суммарный уровень солнечной радиации, температура воды на разных глубинах, уровень воды и снега, количество жидких осадков. Планируется в дальнейшем получать значения скорости и направления ветра, а также уровня грунтовых вод. Измерения производятся с июля 2013 года по настоящее время [45].

Изначально для работы с результатами измерений АПИК была разработана база данных на основе технологии MS Access. Преимущество данной технологии — это простота создания и работы, наличие собственного интерфейса



Рисунок 1.5 — Автоматизированный измерительный комплекс, АПИК «Стационар»

доступа к данным. Однако MS Access имеет ограничение на объем базы данных — 2 Гб, но это ограничение при необходимости можно обойти переносом базы данных, например, на MS SQL Server, MySQL или другие [46, 47].

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Доп. информация	1	2	3	4	500	700	801
2	Время	Уровень снега	1	2	3	АЦП4	АЦП8	АЦП5
3	11.10.2019 11:15:00	1550	0	0	08.504	750.975	9.192	2
4	11.10.2019 11:30:00	1550	0	0	08.504	751.35	5.94	
5	11.10.2019 11:45:00	1550	0	0	08.494	751.65	2.688	
6	11.10.2019 12:00:00	1550	0	0	08.484	751.875	5.94	
7	11.10.2019 12:15:00	1550	0	0	08.484	751.725	5.94	
8	11.10.2019 12:30:00	1550	0	0	08.484	750.75	7.566	
9	11.10.2019 12:45:00	1550	0	0	08.474	751.125	5.94	
10	11.10.2019 13:00:00	1550	0	0	08.474	750.975	5.94	
11	11.10.2019 13:15:00	1550	0	0	08.474	752.025	7.566	
12	11.10.2019 13:30:00	1550	0	0	08.474	749.475	5.94	
13	11.10.2019 13:45:00	1550	0	0	08.474	750.15	5.94	
14	11.10.2019 14:00:00	1550	0	0	08.474	750.15	5.94	
15	11.10.2019 14:15:00	1550	0	0	08.474	750.525	5.94	
16	11.10.2019 14:30:00	1550	0	0	08.474	749.7	5.94	
17	11.10.2019 14:45:00	1550	0	0	08.474	750.9	7.566	

Рисунок 1.6 — Пример файлов данных измерительного комплекса АПИК

На рисунке 1.6 показан пример файла данных измерительного комплекса АПИК, он представлен в формате Excel. По аналогии с данными экспедиционных работ, которые тоже хранятся в этом же формате, был сделан интерфейс, посредством которого можно установить соответствия между полям файла и полями базы данных ГИС, а потом загрузить данные.

1.2 Организация автоматизированного получения спутниковых данных из специализированных центров архивации и распространения

В области организации распространения спутниковых данных в последние годы произошли существенные изменения. Прежде всего, возникло довольно большое количество интернет-сервисов, обеспечивающих доступ, в том числе оперативный, к различным наборам данных дистанционного зондирования Земли. В настоящее время возможности интернет-технологий позволяют достаточно быстро получать по сети Интернет значительные объемы информации. Поэтому многие развивающиеся геоинформационные системы и проекты, связанные с ДЗЗ, ориентируются не на организацию собственных систем приема и первичной обработки спутниковых данных, а на получение их из различных центров, специализирующихся на ведении постоянно обновляющихся архивов данных и результатов их обработки и на предоставлении их пользователям [48].

В настоящее время в свободном доступе находится довольно большое количество спутниковых данных и результатов их обработки. Таким образом, в научных и прикладных проектах появились как технические, так и финансовые возможности использования большого объема постоянно обновляющейся информации, предоставляемой сервисами архивов. Это, в частности, привело к появлению и быстрому развитию систем, ориентированных на оперативное получение информации из специализированных центров доступа к данным ДЗЗ [49].

При организации работы с такими системами естественным образом возникает необходимость организации автоматизированного получения наборов информационных продуктов из этих центров [48, 50]. Необходимо отметить, что, хотя в разных центрах используются во многом отличные системы предоставления данных, во многих случаях технологические решения, используемые для предоставления доступа, в целом однородны. Это позволяет реализовать унифицированные программные модули для получения информации.

Хотя каждый сервис обычно организован по-своему и в настоящее время отсутствуют общепринятые стандарты организации схем доступа, можно выделить некоторый базовый набор функций, который поддерживают практически все сервисы. К этим функциям можно отнести:

1. Обеспечение скачивания файлов данных.

2. Поддержку пользовательского интерфейса к данным – каталогов данных.
3. Работу сервисов поиска данных.
4. Организацию авторизации и разграничения доступа.

Практически всю перечисленную функциональность можно реализовать с использованием протоколов FTP. Ранее, на стадии становления, такими реализациями пользовалось большинство сервисов. Однако в настоящее время количество крупных систем архивов, которые полностью построены на основе данного протокола, быстро сокращается. Это связано, в первую очередь, с тем, что данный протокол не позволяет обеспечить как расширенные инструменты поиска, так и поддержку данных, находящихся в системах долговременного хранения. Для обеспечения таких возможностей в настоящее время используются протоколы HTTP/HTTPS, веб-интерфейсы и сервисы.

Для иллюстрации типовых особенностей работы сервисов доступа к данным ниже показаны основные подходы к их организации в крупных центрах архивации, обеспечивающих предоставление спутниковых и метеорологических данных. Для этого кратко рассмотрим технологические особенности, которые существенны при организации получения автоматизированного получения данных. Ниже описаны три наиболее популярных системы архивации:

1. Система доступа к данным глобального архива данных космических аппаратов серии Landsat Геологической службы США (USGS – United States Geological Survey). Одной из основных особенностей данной системы является то, что не все данные находятся в оперативном доступе, а часть данных недоступна вовсе. Информация о доступности данных может быть получена либо через служебный каталог ТОС, либо через картографический интерфейс на сайте. Доступны три интерфейса поиска данных, расположенных по следующим адресам: <http://earthexplorer.usgs.gov>, <http://glovis.usgs.gov> и <http://landsatlook.usgs.gov>. Для получения доступа к сценам, находящимся в неоперативном доступе, необходимо произвести заказ через специальный раздел на сайте. Кроме того, чтобы получить доступную сцену как через интерфейс, так и через систему автоматического получения данных, необходимо пройти специальную процедуру авторизации и получить http cookie для дальнейшей работы. При наличии

авторизации ссылку на скачивание данных по протоколу HTTP можно получить из картографического интерфейса.

2. Система доступа к данным спутника Envisat Европейского космического агентства (ESA) (<https://earth.esa.int>). Система представляет собой web-каталог с авторизацией и ссылками на данные, по которым и осуществляется скачивание. Для пространственной фильтрации данных каталога возможно скачивание заголовка сцены, из которого можно получить данные и принять решение о необходимости продолжения загрузки.
3. Система Lance-Modis доступа к архиву оперативных продуктов, получаемых по данным прибора MODIS аппаратов Aqua и Terra Центра космических полетов имени Годдарда, США. Основная страница проекта расположена по адресу <http://lance-modis.eosdis.nasa.gov>. Система доступа представляет собой открытый web-интерфейс с возможностью перехода на закрытый авторизацией FTP-каталог.

Сервисы центров распространения данных отличаются по множеству параметров: характеру предоставляемых данных, протоколам передачи данных, механизмам аутентификации пользователей в системе, формату метаданных и т. д. Однако как показывает практика работы с различными системами, процесс организации автоматического получения данных можно свести к достаточно универсальной схеме, построенной на базе нескольких стандартизированных блоков. Эти блоки, в частности, должны решать следующие основные задачи, возникающие при работе со всеми системами:

1. Поиск, контроль обновления и доступности данных в исходных архивах.
2. Построение очередей загрузки.
3. Авторизация.
4. Загрузка данных.
5. Контроль целостности получаемых данных.
6. Распаковка данных из архива.

На основе этих блоков могут однотипным образом строиться системы получения данных из различных центров. Во многих случаях также требуется дополнительная фильтрация данных, например, по проценту облачности.

Достаточно важным требованием к системам получения данных является также возможность удобного контроля их работы и документирования (логги-

рования) всех процессов на этапе получения данных. Это необходимо для того, чтобы обеспечить устойчивое функционирование проекта, в интересах которого осуществляется сбор.

При проектировании подсистемы ГИС автоматического получения данных были приняты во внимание как особенности перечисленных источников спутниковых данных, так и особенности решения задач для которых была разработана ГИС. На рисунке 1.7 показана общая схема процесса получения файлов спутниковых данных. Исходя из вычислительных задач, которые запущены в рамках ГИС, происходит обращение к каталогу спутниковых снимков. Если данные отсутствуют в локальном каталоге ГИС, то происходит формирование запроса на получение данных из удаленных источников. При наличии нужных файлов запрос на их скачивание добавляется в специализированную очередь, при их успешном получении данные попадают в локальное хранилище, а информация о статусе завершения работы и метаданные файлов записывается в базу данных ГИС.

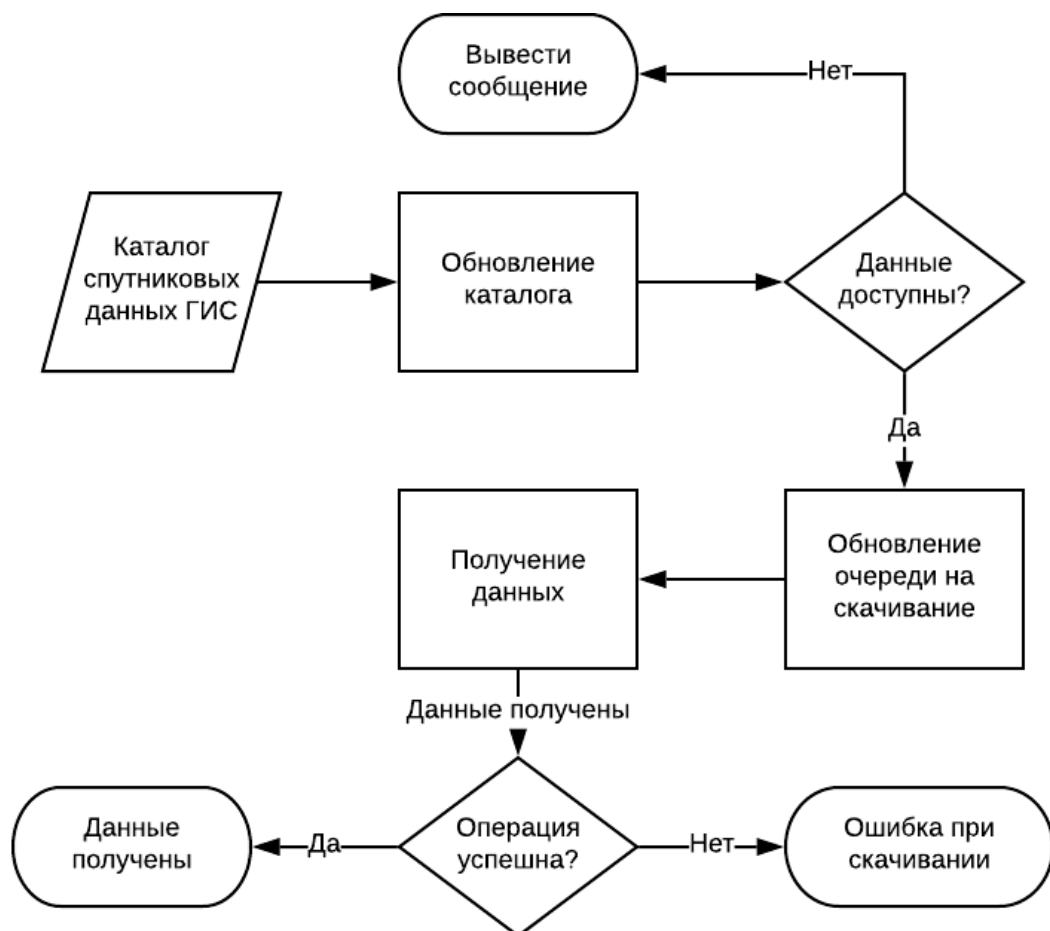


Рисунок 1.7 — Общая схема процесса получения файлов спутниковых данных

В качестве примера рассмотрим программный интерфейс API Hub — системы доступа к данным спутников Европейского космического агентства (ESA). Доступ к файлам осуществляется посредством сервиса Open Search URI, общая схема которого выглядит следующим образом:

```
<dhus_hostname>:<port>/search?q=*,
```

где

```
<dhus_hostname>:<port>/<path>
```

```
/search?q=<query>[\&start=<page_start_value>]
```

```
[\&rows=<page_size>]
```

```
https://scihub.copernicus.eu/dhus/search?q=footprint:
```

```
"Intersects(POLYGON(
```

```
(-4.53 29.85,26.75 29.85,26.75 46.80,-4.53 46.80,-4.53 29.85))
```

```
)",
```

где параметр POLYGON — область, для которой необходимо получить данные, в формате GeoJSON. В качестве параметров поискового запроса могут участвовать название космического аппарата, диапазон дат, за который необходимо получить данные, процент допустимой облачности, уровень обработки и т. д.

Для организации автоматизированного получения спутниковых данных из архива ESA был разработан специальный программный модуль, который реализует перечисленные ранее функциональные задачи и структурно состоит из следующих компонентов:

1. Программное ядро, обеспечивающее общие для всех источников функции и задачи, такие как обновления очереди, выборки данных для скачивания и само скачивание. Кроме того, ядро системы поддерживает механизм «плагинов» для единообразного подключения новых источников данных и решает общие для них задачи в соответствии с общей логикой работы.
2. Исполняемые сценарии, регулярно вызывающие функции ядра для выполнения необходимых действий.
3. Системы ведения очередей, включающие в себя базу данных очередей и сопутствующий программный интерфейс для работы с ними.

1.3 Современные геоинформационные системы мониторинга гидрологических объектов

Одной из основных задач в разработке геоинформационных систем водной тематики является создание единого информационного пространства, учитывающего гидрологические и географические особенности исследуемых водных объектов, которое может быть построено на основе современных геоинформационных технологий. Интеграционный характер геоинформационных систем позволяет создать мощный инструмент для сбора, хранения, систематизации, анализа и представления информации о состоянии водных объектов [51–54].

Современные методы и системы обработки данных мониторинга водных объектов можно разделить на следующие группы:

1. Средства определения параметров водных объектов.
2. Инструменты интерпретации данных, применяющиеся с целью качественного и количественного описания состояния водного объекта.
3. Инструменты, реализующие алгоритмы обработки гидрологической и гидробиологической информации.

Как уже было отмечено выше, водные объекты играют очень важную роль в природных и техногенных процессах, поэтому в настоящее время существуют и разрабатываются различные проекты по созданию региональных и глобальных информационных систем, осуществляющих мониторинг параметров водных объектов или участвующих в определении и организации доступа к результатам определения параметров [55].

В настоящее время существует ряд глобальных проектов по контролю и мониторингу параметров водных объектов.

Одним из наиболее известных глобальных проектов по мониторингу водных объектов является Global Water Surface Dynamics (<https://global-surface-water.appspot.com/map>). Он использует данные КА серии Landsat (5/7/8) за период с 1984 по 2015 годы и данные КА Sentinel-2 A/B. Проект нацелен на определение динамики площади водных объектов. Благодаря большой базе данных пользователь системы имеет возможность получить информацию не только о текущей площади водного объекта, но и отследить сезонную или многолетнюю динамику [56, 57].

Также из числа глобальных проектов мониторинга и регистрации параметров внутриконтинентальных водных объектов можно выделить разработку системы европейского водного мониторинга (System for European Water Monitoring, SEWING). Данный проект основывается на применении большого числа автономных измерительных модулей определения различных параметров водных объектов и водотоков, которые, в первую очередь, предназначены для выявления разных видов загрязнений. Измерительные комплексы регулярно передают данные на серверную часть системы, что позволяет в режиме реального времени осуществлять мониторинг. Данная разработка показала себя как интересный и перспективный проект, однако работа над ней была остановлена на стадии создания прототипа [58].

Другой глобальный проект по мониторингу водных ресурсов Global flood map (<http://globalfloodmap.org>) основывается на применении разнотипных данных из распределенных источников для мониторинга и предупреждения наводнений. Информационной основой системы выступают гидрологические данные, поступающие из разных специализированных систем сбора данных, данные о состоянии атмосферы, массивы информации обрабатываются и используются в гидрологических моделях прогнозирования наводнений [59].

На сегодняшний день на базе космических радиолокационных данных функционируют сервисы оперативного мониторинга наводнений, среди которых можно выделить Copernicus Emergency Management Service, включающий сервис мониторинга наводнений Flood Monitoring Service [60, 61].

Помимо глобальных проектов, посвященных изучению водных объектов, существуют региональные, которые предназначены для изучения как одного или двух водных объектов, так и для проведения исследований в рамках какого-либо региона.

Похожий на вышеназванные проекты — Water Framework Directive (WFD) предназначен для сбора данных о состоянии водных систем в Ирландии, как и проект SEWING, состоит из большого набора автономных датчиков, которые передают в режиме реального времени данные на сервер системы, где они обрабатываются и аккумулируются [62]. Данный подход — применение системы датчиков и передача данных посредством беспроводных каналов связи на веб-сервер получил довольно большое распространение в силу того, что производить регулярный мониторинг водных объектов посредством натуральных экспедиционных исследований довольно затратно во временном и финансовом планах [63].

В Российской Федерации также разрабатываются различные проекты связанные с мониторингом водных объектов. Например, если рассматривать региональные системы, то можно отметить, что, как и зарубежные проекты, они в основном направлены на определение различных типов загрязнений природной среды. Среди региональных систем можно выделить следующие:

1. Геоинформационные системы изучения озера Байкал [64].
2. Геоинформационная система гидрологического назначения в Оренбургской области. Данный проект предназначен для определения стока рек в Оренбургской области. На основе картографического материала была составлена цифровая модель рельефа местности и цифровая модель речной сети и водоемов. Кроме того, была построена TIN (Triangulated Irregular Network) — нерегулярная триангуляционная сеть. Эта модель данных является наиболее удобным и эффективным способом представления поверхностей в трехмерном пространстве и обеспечивает высокую эффективность [65].
3. Геоинформационная система мониторинга водных объектов и нормирования экологической нагрузки. Реализованная на базе ГИС система мониторинга была апробирована на реке Неве в части Кировского района Ленинградской области. ГИС основывается на паспортных данных предприятий (источников загрязнения), результатах контрольных измерений, нормативных справочниках, содержащих значения класса опасности и ПДК (предельно допустимые концентрации) вредных веществ [66].
4. Геоинформационные веб-проекты для обеспечения гидробиологического мониторинга различных параметров и процессов, происходящих в реке Енисей [5, 67, 68].

Названные выше информационные системы отличаются как по объекту исследования, измеряемым параметрам, так и по функциональным возможностям. Как правило, в случае с разработкой региональных систем используются данные наземных измерительных комплексов, и в качестве дополнения могут использоваться спутниковые данные. Такие проекты как обычно, являются узкоспециализированными, поэтому не всегда к ним реализован публичный доступ. Что касается глобальных систем, то они, как правило, проводят мониторинг гидрологических параметров, например, площади водоёмов. Учитывая эти особенности и то, что в настоящее время многие из перечисленных про-

ектов являются закрытыми, актуальна разработка ГИС мониторинга гидрологических и гидробиологических параметров внутриконтинентальных объектов для решения широкого спектра задач и предоставления открытого доступа к результатам вычислений.

1.4 Требования к геоинформационной системе

Требование определяет функцию, свойство или поведение системы. Формулируя требования к системе, формируется контракт между ней и теми сущностями, которые находятся вне системы. Этот контракт декларирует то, что система должна делать. На этапе составления требований важно, чтобы информационная система отвечала заявленным требованиям. Хорошая система выполняет требования точно, предсказуемо и надежно. Приступая к построению системы, важно начать с соглашений о том, что она должна делать, хотя, скорее всего, в процессе ее реализации эти требования будут не раз уточняться. Аналогичным образом, когда вводится система в эксплуатацию, знание ее поведения весьма существенно для ее правильного использования [69, 70].

Необходимо отметить, что в литературе встречается большое количество определений и толкований ГИС, ниже приведено одно из наиболее полных определений. ГИС — это аппаратно-программный и одновременно человеко-машинный комплекс, обеспечивающий сбор, обработку, отображение и распространение пространственных данных, интеграцию данных и знаний о территории для их эффективного использования при решении научных и прикладных задач, связанных с инвентаризацией, анализом, моделированием, прогнозированием и управлением окружающей средой и территориальной организацией общества [71].

В настоящее время существуют различные трактовки определения требований к информационным системам. Так, в русскоязычной редакции нотации Rational Unified Process (RUP) приводит следующее определение: «Требование — это условие или возможность, которой должна соответствовать система». В документе IEEE Standard Glossary of Software Engineering Terminology (1990) данное понятие трактуется шире. Требование — это:

1. Условия или возможности, необходимые пользователю для решения проблем или достижения целей.
2. Условия или возможности, которыми должна обладать система или системные компоненты, чтобы выполнить контракт или удовлетворять стандартам, спецификациям или другим формальным документам.
3. Документированное представление условий или возможностей для пунктов 1 и 2 [72, 73].

Как правило, требования, предъявляемые к информационной системе, разделяются по уровням.

На верхнем уровне представлены так называемые бизнес-требования (business requirements). Бизнес-требования на разработку информационной системы разрабатываются заказчиком или оговариваются с потенциальными пользователями на самых ранних стадиях, как правило, до инициации проекта и включают следующие разделы:

1. Общие положения.
2. Характеристики объектов автоматизации.
3. Базовые сущности.
4. Описание информационных процессов.
5. Требования к порядку внедрения.
6. Эксплуатационные требования.

На данном уровне в общих чертах определяется назначение разрабатываемого программного обеспечения.

Следующий уровень — уровень требований пользователей (user requirements), где определяется набор пользовательских задач, которые должна решать информационная система, а также способы (сценарии) их решения. Требования пользователей часто бывают плохо структурированными, дублирующимися, противоречивыми. Поэтому для создания системы важен третий уровень, в котором осуществляется формализация требований.

Третий уровень — функциональные требования. Они регламентируют (functional requirements) функционирование или поведение системы (behavioral requirements). Функциональные требования отвечают на вопрос «что должна делать система» в тех или иных ситуациях, определяют основной «фронт работ» разработчика и устанавливают цели, задачи и сервисы, предоставляемые системой пользователю.

Потенциальные пользователи выступают в данном случае и в роли заказчиков. По определению заказчик ГИС — орган государственной власти и местного самоуправления, юридическое или физическое лицо, которые определяют цель и назначение ГИС, устанавливают требования к ГИС, определяют разработчика, обеспечивают финансирование, приемку работ и, возможно, эксплуатацию ГИС, а также выполнение отдельных работ по созданию ГИС [74].

С пользователями (заказчиками) согласуют функциональные возможности ГИС. Это группы операций и отдельные операции (функции) геоинформационных технологий, реализующие ввод, преобразование пространственных данных (включая конвертирование данных из одного формата в другой), хранение, манипулирование и управление данными в базах данных, выполнение картометрических операций, пространственный анализ, моделирование, оверлей, визуализацию данных, вывод данных, в том числе в картографической (графической) форме, документирование и настройку на требования пользователя. Исходя из функциональных требований и с учётом специфики используемых данных, их источников и решаемых при помощи ГИС задач, строится система обработки информации, которая определяется как совокупность технических средств и программного обеспечения, а также методов обработки информации и действий персонала, обеспечивающая выполнение автоматизированной обработки информации [75].

Так как практическая реализация геоинформационной системы выражена в виде программного обеспечения (ПО), то при её разработке необходимо учитывать основные стандарты и термины, принятые Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт, ГОСТ) и Институтом инженеров электротехники и электроники — IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers, международная некоммерческая ассоциация специалистов в области техники). Основными стандартами при разработке ПО являются:

1. ГОСТ Р ИСО 9127-94 «Документация пользователя и информация на упаковке для потребительских программных пакетов».
2. ГОСТ Р ИСО/МЭК 15910-2002 «Процесс создания документации пользователя программного средства».
3. ГОСТ 34.602-89 «Техническое задание на создание автоматизированной системы».
4. IEEE Std 1063-2001 «IEEE Standard for Software User Documentation».

5. IEEE Std 1016-1998 «IEEE Recommended Practice for Software Design Descriptions».
6. ISO/IEC FDIS 18019:2004 «Guidelines for the design and preparation of user documentation for application software».
7. ISO/IEC 26514:2008 «Requirements for designers and developers of user documentation».

Обобщая сказанное выше и учитывая современный уровень развития информационных технологий и концепций построения геоинформационных систем, требования конечных пользователей (как специалистов, так и не специалистов), специфику получения и обработки гидрологических данных, сформулирован ряд требований к создаваемой ГИС, разделенных на три категории.

Общие требования.

1.1. Применение принципов построения современных информационных систем (расширяемость, модульность, масштабируемость, переносимость, интероперабельность и т. д.).

1.2. Использование разработанных Открытым геопространственным консорциумом (Open Geospatial Consortium, OGC) протоколов для публикации и обработки пространственных данных в сети Интернет [76].

1.3. Возможность функционирования в виде интернет-сервиса.

1.4. Модульность: основные компоненты должны иметь возможность работать как в виде независимых приложений, так и в составе единой системы.

1.5. Наличие программных интерфейсов для интеграции с настольными ГИС и измерительными комплексами.

1.6. Наличие механизмов разграничения доступа к разным компонентам информационной системы и наборам данных.

1.7. Возможность адаптации. Имеется в виду гибкость настройки программного обеспечения системы под специфику деятельности конкретной организации.

1.8 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).

1.9 Соответствие ГОСТ Р 52155-2003 (Географические информационные системы федеральные, региональные, муниципальные. Общие технические требования) [74].

1.10 Соответствие спецификации реализации пространственной информации (OpenGIS Implementation Specification for Geographic information — Simple feature access - Part 1: Common architecture) [77].

Требования к подсистеме сбора данных.

2.1. Загрузка как по расписанию, так и по запросу пользователя гидрологических данных из удаленных источников по стандартным протоколу HTTP с последующей обработкой и каталогизацией их в базе данных.

2.2. 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.

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

Требования к вычислительным модулям.

3.1. Использование алгоритмов выделения водных объектов на спутниковых снимках.

3.2. Реализация каждого алгоритма обработки данных как независимой процедуры для реализации конвейера обработки гидрологической информации из отдельных вычислительных модулей.

3.3. Предоставление доступа к управлению модулями ГИС через веб-интерфейс панели администратора и консольные команды на сервере.

3.4. Отображение полученных результатов расчетов на электронной карте, если результаты являются пространственными данными.

В рамках работы представленные системы обработки гидрологических данных рассматривались с точки зрения предложенных требований. Проведенный анализ показал, что в настоящее время не существует систем, полностью

удовлетворяющих этим критериям. Следовательно, разработка новой системы является актуальной задачей.

Выводы

1. Рассмотрена возможность применения спутниковых данных космических аппаратов Sentinel-1, Sentinel-2 и Landsat-8 в задачах определения параметров водных объектов.
2. Рассмотрены форматы данных измерительного комплекса АПИК, экспедиционных и натурных наблюдений.
3. Рассмотрены современные геоинформационные системы водной тематики.
4. На основе анализа существующих видов гидрологических и гидробиологических данных и их источников сформулированы требования к созданию геоинформационной системы регистрации параметров внутриконтинентальных водных объектов.

Основные результаты главы опубликованы в работах [10–12, 78].

Глава 2. Подходы к реализации геоинформационных систем сбора и обработки гидрологических данных

2.1 Общая информационная модель и компоненты ГИС

Одной из основных целей моделирования информационных систем является поиск оптимальных (или близких к оптимальным) решений организации архитектурных подходов и структуры системы, а также взаимодействия вычислительных модулей и данных, используемых в работе системы [79]. Это позволяет разработчикам информационных систем, проектным и системным интеграторам получить объективное представление о работе системы до ее реального воплощения в жизнь. Моделирование позволяет решить четыре очень важные задачи:

1. Визуализировать систему в ее текущем или желательном состоянии.
2. Описать структуру или поведение системы.
3. Получить шаблон, позволяющий сконструировать систему.
4. Документировать принимаемые решения, используя полученные модели.

Как правило, информационные модели строятся на трёх уровнях:

1. Внешнем (требования к ГИС были представлены в разделе 1.4).
2. Концептуальном (спецификация требований).
3. Внутреннем (реализация требований) [80].

В настоящее время для описания информационных процессов существует множество методологий (IDEF, DFD, WORKFLOW, UML, ARIS и другие) [80]. Наиболее распространенной является IDEF (Integrated Definition, семейство структурных моделей и соответствующих им диаграмм), которая включает в себя ряд стандартов описания информационных потоков, взаимодействия компонентов системы, структуры базы данных и т. д. Эта методология была выбрана в данной работе, так как позволяет как описывать информационную систему в общем, так и переходить от общего описания непосредственно к описанию отдельных компонентов или их взаимодействия. Стоит отметить, что, например, IDEF0 рекомендована для использования Госстандартом РФ и активно применяется в отечественных госструктурах (Р 50.1.028-2001 Информационные тех-

нологии поддержки жизненного цикла продукции. Методология функционального моделирования).

На рисунке 2.1 показана общая модель ГИС, которая была разработана на основе представленных в разделе 1.4 требований. 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 данных», «Сервис обработки данных» и «Средства экспорта и визуализации».

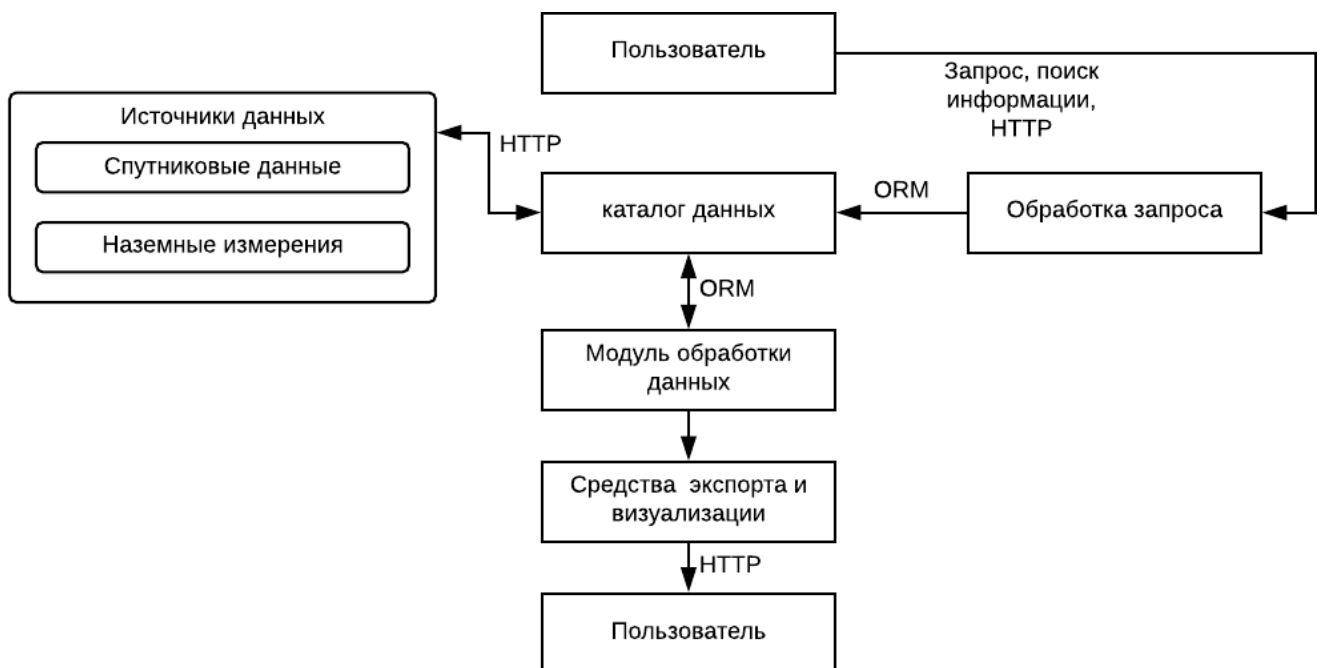


Рисунок 2.1 — Общая модель геоинформационной системы

Пользователь с помощью веб-интерфейса формирует запрос на получение данных по выбранному водному объекту, модуль ГИС проверяет, есть ли запрашиваемая информация в каталоге ГИС, если её нет, то в случае со спутниковыми снимками формируется запрос к архивам ДЗЗ, информация наземных измерительных комплексов поступает в каталог через программный интерфейс или загружается администратором. После поступления в каталог данных происходит их обработка и представление в виде веб-карт, графиков или таблиц пользователю. Рассмотрим основные сервисы и компоненты информационной системы.

2.1.1 Каталог данных

Одним из основных компонентов ГИС является каталог данных, который реализован в виде базы данных под управление СУБД Postgresql [81]. Эта СУБД в сочетании с расширением PostGIS предоставляет широкий спектр возможностей работы с географическими объектами в рамках реляционной базы данных.

Данный модуль является программной надстройкой над реляционной базой данных ГИС, которая осуществляет следующие операции:

1. Хранение пространственных данных в векторном и растровом форматах.
2. Реализация записи, обновления, чтения и удаления данных из каталога.
3. Поиск данных в каталоге по произвольным пользовательским запросам.

Главным критерием создания каталога является специфика хранимых данных. Данные имеют географическую привязку и результаты обработки спутниковых данных записываются в каталог в виде векторных полигонов, результаты наземных измерений выражены в виде точек. Согласно специфике и организации поступления данных в каталог, предложена следующая последовательность его реализации, которая показана на рисунке 2.2.

Сбор данных для хранилища данных водной тематики представляет собой первоначальный (низовой) уровень аккумуляции в одном месте «сырой» информации. В качестве источников выступают данные космического мониторинга, наземных измерительных комплексов и экспедиционных работ.

Первичная обработка предполагает согласование данных для обеспечения их целостности и непротиворечивости, т. е. приведение к единому формату представления, системе координат и т. п. В данном случае при создании хранилища главным требованием для загрузки цифровых карт и ДДЗ являлось наличие единой проекции. Поэтому на данном этапе осуществляется перевод материалов в цифровую форму (векторизация карт, сканирование ДДЗ и т. п.), привязка их к конкретной системе координат. В итоге формируются базы данных векторных материалов и ДДЗ, а также базы атрибутивных данных.



Рисунок 2.2 — Этапы создания каталога пространственных данных

На этапе *загрузки в систему* подготовленных пространственных данных происходит отслеживание повторяемости материалов, связка таблиц данных по первичным и вторичным ключам.

На рисунке 2.3 в общем виде показан фрагмент схемы базы данных ГИС. В таблице «Водные объекты» хранится общая информация, например: координаты водного объекта, его название, описание, техническая информация и т. д. Эта таблица связывается с таблицами, содержащими результаты измерений. Как видно из схемы, данные хранятся в трех таблицах:

1. Таблица данных наземных измерений, где хранятся как данные экспедиционных работ, так и данные, полученные с наземных измерительных комплексов.
2. Векторные данные, как правило это результаты обработки спутниковых данных, сконвертированные в векторный формат (например, результаты определения площадных характеристик).
3. Таблица растровых данных содержит как ссылки на файлы результатов обработки спутниковых данных, так и ссылки на необработанные данные.

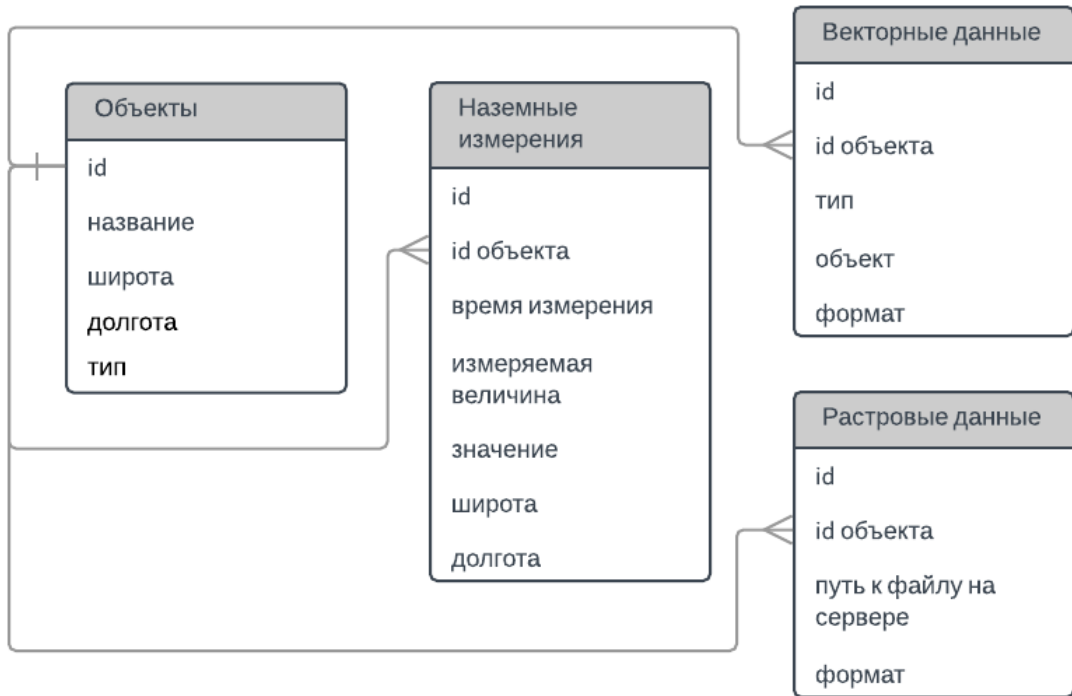


Рисунок 2.3 — Фрагмент схемы базы данных ГИС

На рисунке 2.4 показана схема каталога данных, на основе базы данных. Данные, полученные из разных источников информации, после преобразования и обработки загружаются в базу данных. После этого они доступны в виде отчетов, результатов произвольных запросов пользователей и результатов экспорта.

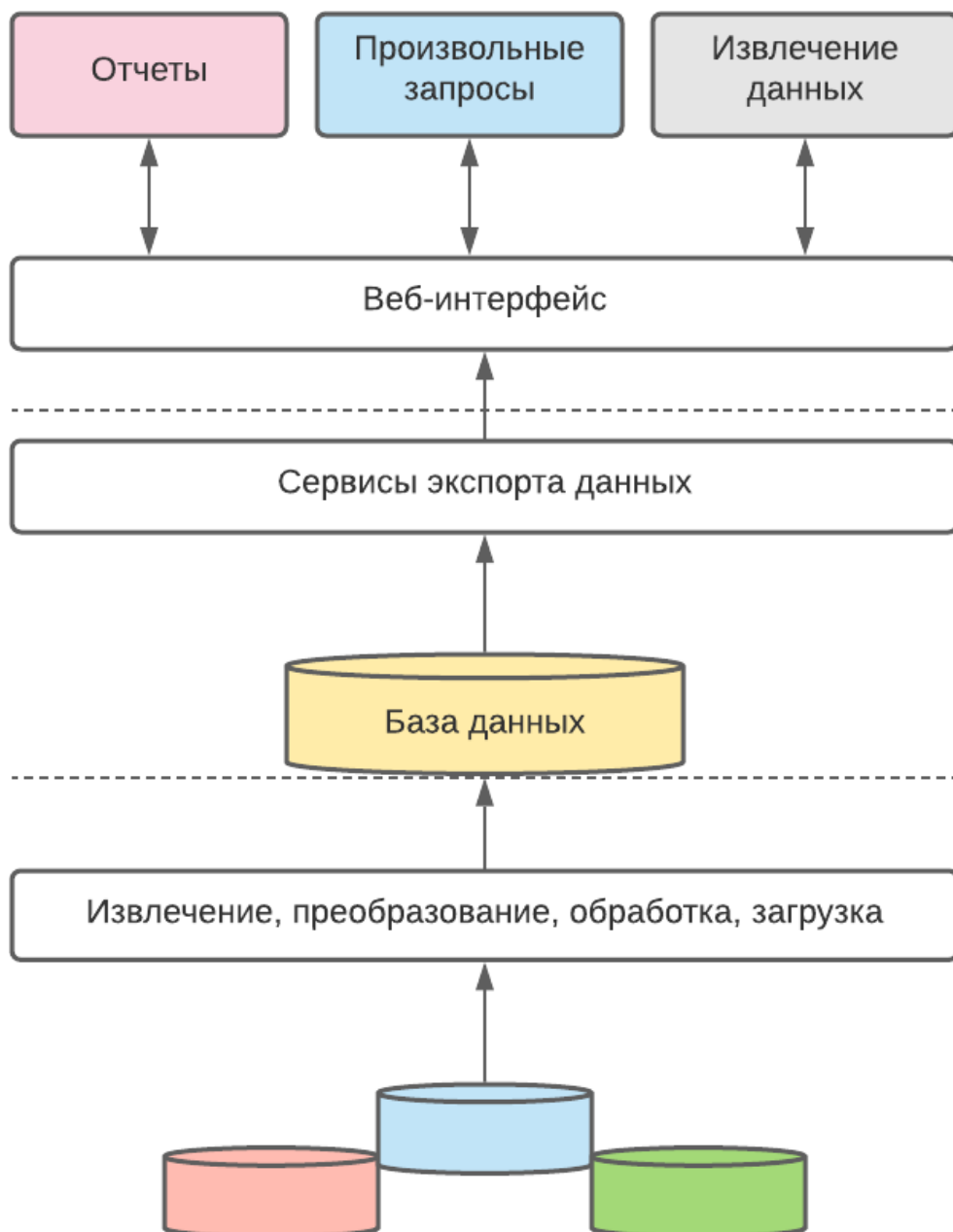


Рисунок 2.4 — Схема каталога данных геоинформационной системы

2.1.2 Средства импорта данных

Импорт данных в ГИС является процессом сбора и находится на низовом уровне каталога, показанного на рисунке 2.4. Под импортом подразумевается не только импорт как таковой, например, через панель администрирования, но также и получение данных посредством программных интерфейсов, таких как интеграция с наземными измерительными комплексами или же интеграция с

архивами спутниковых данных. Поэтому механизм импорта можно разделить на три категории.

1. Программные интерфейсы интеграции с наземными измерительными комплексами.
2. Программные интерфейсы интеграции архивами спутниковой информации.
3. Формы импорта данных в панели администрирования ГИС.

Нужно отметить, что панель администратора позволяет импортировать данные разных типов и по сути является унифицированным способом ввода как спутниковой, так и наземной информации. Ниже, на рисунке 2.5, показана схема процессов импорта данных в ГИС.

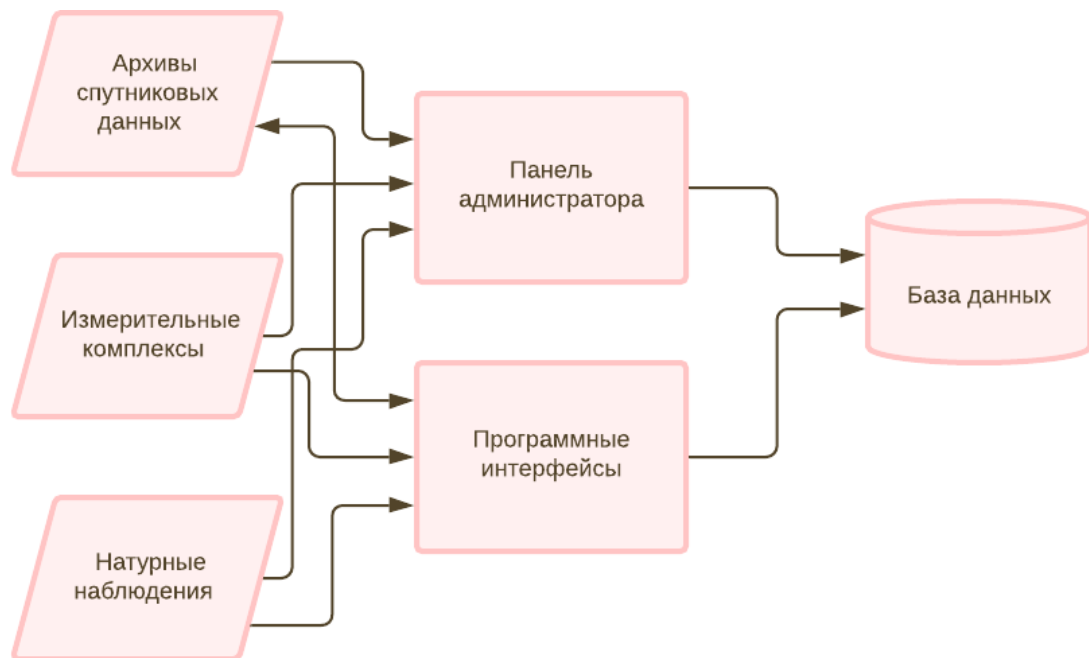


Рисунок 2.5 — Схема импорта данных в ГИС

2.1.3 Сервис обработки данных

Данный компонент предназначен для организации процессов обработки данных, которые поступают в ГИС. Компонент можно условно разделить на две части: вычислительные модули и менеджер задач. Менеджер задач используется для формирования вычислительных задач и управления ими, он имеет следующие функциональные возможности:

1. Выполнение заданий асинхронно или синхронно.
2. Выполнение периодических заданий по заранее сформированному расписанию.
3. Выполнение отложенных заданий.
4. Распределенное выполнение (задание может быть запущено на нескольких серверах (worker-сервера)).
5. В пределах одного сервера возможно конкурентное выполнение нескольких задач (одновременно).
6. Выполнение заданий повторно, если возникли какие-либо ошибки.
7. Ограничение количества заданий в единицу времени.
8. Мониторинг выполнения заданий. Для этого в панели администратора ГИС предусмотрена специальная возможность.
9. Информирование о результатах выполнения заданий по электронной почте.
10. Проверка завершенности задания.

На рисунке 2.6 показана схема работы сервиса обработки данных в рамках ГИС. Нужно отметить, что при проектировании данного компонента рабочие процессы могут выполняться как на одном сервере, так и на сторонних серверах [11].

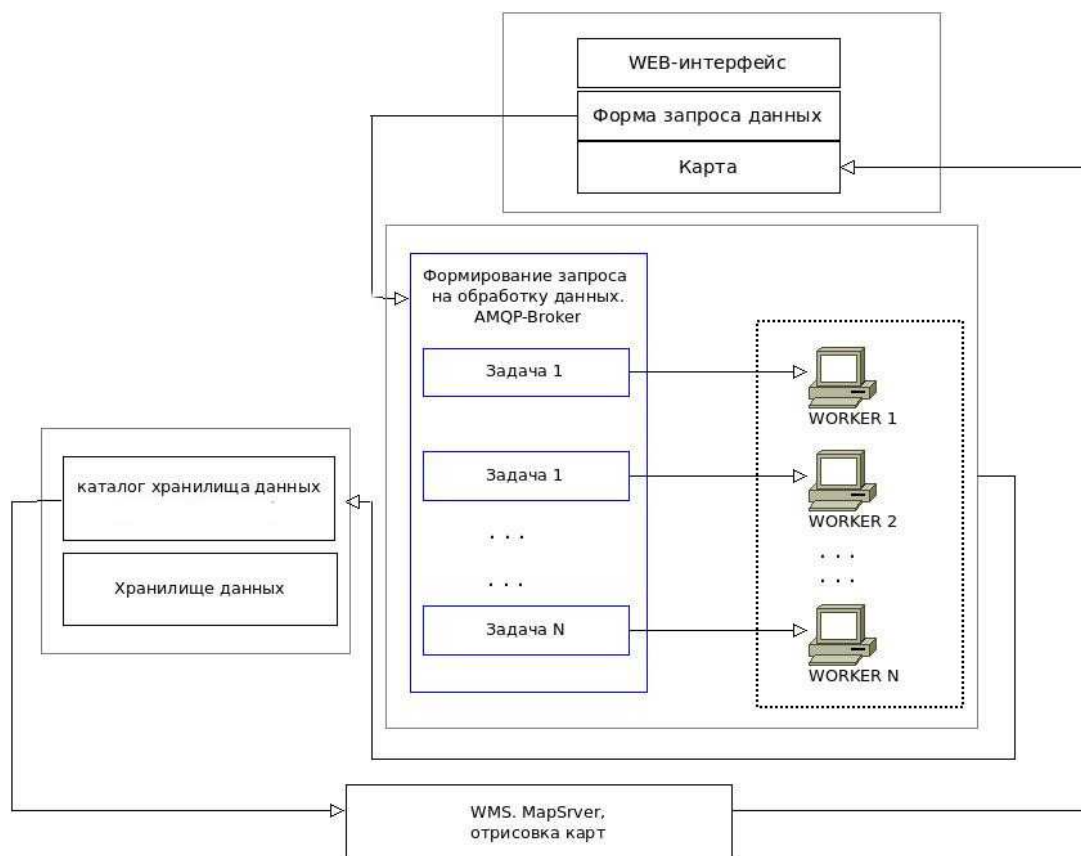


Рисунок 2.6 — Схема работы сервиса обработки данных в рамках ГИС

2.1.4 Средства экспорта и визуализации данных

Следующий компонент системы состоит из двух частей, согласно их основным функциям, таким как.

1. Визуализация данных в виде графиков, таблиц и карт.
2. Экспорт данных в виде файлов растрового и векторного формата, а также Excel и CSV таблиц.

Визуализация подразумевает на первом этапе экспорт данных и их последующее отображение при помощи веб-интерфейса ГИС, при этом данные не упаковываются в виде файлов, а передаются клиенту, например, веб-браузеру или настольным ГИС (QGIS, ENVI и т.д.). На рисунке 2.7 показана схема процессов экспорта и визуализации данных.



Рисунок 2.7 — Схема процессов экспорта и визуализации данных в ГИС

2.2 Варианты взаимодействия пользователей с ГИС

Информационные системы не существуют в изоляции, они взаимодействуют с пользователями (людьми или другими системами), которые используют их для достижения некоторой цели, ожидая от системы определенного поведения. Вариант использования специфицирует это ожидаемое поведение субъекта (системы или ее части). Он описывает определенную последовательность действий, включая их варианты, которые субъект осуществляет для достижения действующим лицом определенного результата [82].

Варианты использования применяются для выражения требуемого поведения разрабатываемой системы без описания конкретной реализации этого поведения. Они позволяют разработчикам, конечным пользователям и экспертам в предметной области достичь взаимопонимания, а кроме того, помогают удостовериться в правильности архитектурных решений и проверять систему по ходу ее разработки. В процессе создания системы варианты использования реализуются с помощью коопераций, элементы которых работают совместно для достижения целей каждого из них [83].

В языке UML поведение моделируется посредством вариантов использования, специфицируемых независимо от реализации. Вариант использования — это описание множества последовательных действий (включая вариации), которые выполняются некоторым субъектом с целью получения результата, значимого для некоторого действующего лица. Это определение включает в себя несколько важных пунктов.

На системном уровне вариант использования описывает набор последовательностей, каждая из которых представляет взаимодействие сущностей, на-

ходящихся вне системы (действующих лиц), с самой системой и ее ключевыми абстракциями. Такие взаимодействия в действительности являются функциями уровня системы, которые используются для визуализации, специфицирования, конструирования и документирования ее ожидаемого поведения на этапах сбора и анализа требований к системе в целом [84].

Необходимо отметить, что в качестве субъекта, или — другими словами — пользователя, может выступать не только пользователь как человек, но и другая информационная система или программный клиент [85].

Вариант использования предполагает взаимодействие лиц и системы или другого субъекта. Действующее лицо представляет собой логически связанное множество ролей, которые играют пользователи системы во время взаимодействия с ней.

Наиболее общий случай применения вариантов использования — это моделирование поведения элемента (системы в целом, подсистемы или класса). В такой ситуации необходимо сосредоточить внимание на том, что элемент делает, а не на том, как он это делает или на его устройстве [86].

Чтобы смоделировать поведение отдельного компонента системы, необходимо:

1. Идентифицировать действующие лица, взаимодействующие с компонентом системы. Кандидаты на включение в эту группу — те, кто нуждаются в определенном поведении элемента для выполнения своих собственных задач, либо те, кто прямо или косвенно задействованы в функционировании компонента.
2. Организовать действующие лица, определив общие и более специализированные роли.
3. Рассмотреть основные пути взаимодействия каждого действующего лица с элементом, а также сами взаимодействия, которые изменяют состояние элемента или его окружения либо обеспечивают реакцию на некое событие.
4. Рассмотреть исключительные пути взаимодействия каждого действующего лица с элементом.
5. Организовать поведение, выявленное на этапах 3 и 4, в виде вариантов использования, применяя связи включения и расширения, чтобы выделить общее поведение и отделить исключительное.

В рассматриваемой в данной работе ГИС можно выделить следующие основные состояния для моделирования поведения пользователей с ГИС.

1. Взаимодействие пользователей с главной (стартовой) страницей веб-интерфейса ГИС.
2. Взаимодействие пользователей с разделом водного объекта.
3. Работа пользователей в панели администрирования.

На рисунке 2.8 показана диаграмма взаимодействия пользователей с главной страницей веб-интерфейса ГИС. Данный интерфейс позволяет использовать функции выбора водного объекта, по которому необходимо получить данные, переход в новостной раздел и при помощи механизма авторизации переход в закрытый раздел ГИС.

Рассмотрим взаимодействие пользователей со страницей водного объекта, диаграмма представлена на рисунке 2.9. Пользователю доступна функция «выбор данных» для отображения посредством веб-интерфейса, при этом он может выбрать способ отображения данных (карта, таблица, график) и временной период, за который ему нужно получить информацию.

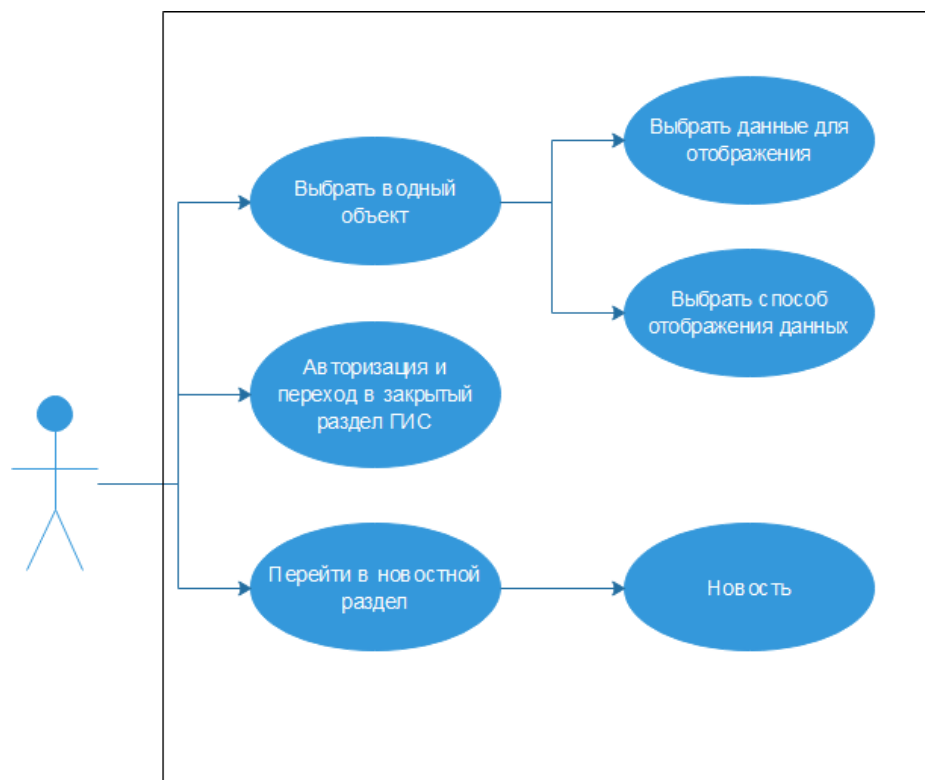


Рисунок 2.8 — Диаграмма вариантов использования главной (стартовой) страницей веб-интерфейса ГИС



Рисунок 2.9 — Диаграмма вариантов использования страницы водного объекта веб-интерфейса ГИС

Панель администрирования — один из наиболее важных разделов ГИС, посредством него осуществляется управление вычислительными задачами, настройка доступа к данным и функциям ГИС. На рисунке 2.10 показана диаграмма использования панели администрирования. Подробнее о функциях и возможностях данного раздела рассказано в приложении А.

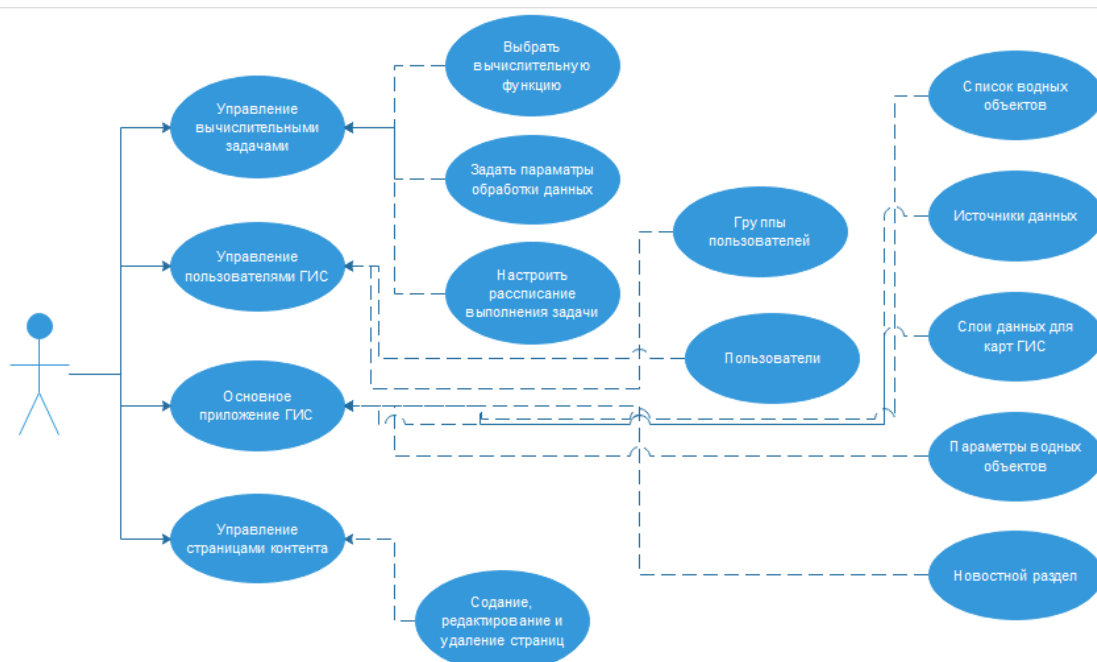


Рисунок 2.10 — Диаграмма вариантов использования панели администрирования ГИС

2.3 Информационные потоки и схемы обработки данных

Информационные потоки — пути передачи информации — обеспечивают существование и работу любой программной системы. Разумная и оптимальная организация потока управления и информационных потоков в программе заведомо улучшает такие аспекты, как устойчивость, понимаемость, тестируемость, адаптируемость, переносимость, возможность повторного использования и сопровождаемость.

В UML каждый независимый поток управления моделируется как активный объект, описывающий процесс или поток и способный инициировать некоторое управляющее воздействие. Процесс — это ресурсоемкий поток управления, который выполняется параллельно с другими процессами; поток — это облегченный поток управления, выполняемый параллельно с другими потоками в рамках одного и того же процесса.

Информационные потоки, присутствующие в рассматриваемой системе, можно разделить на две группы:

1. Потоки, возникающие в процессе сбора гидрологических и гидробиологических данных и загрузки их в базу данных ГИС.

2. Потоки, связанные с процессом обработки накопленной информации с помощью программного инструментария работы со спутниковыми данными и данными наземных измерений.

На основе специфики данных, используемых в ГИС, программных интерфейсов каталогов спутниковых снимков и форматов данных измерительных приборов для определения параметров водных объектов предложена следующая схема обработки гидрологических данных. Она включает следующие этапы:

1. Выбор пользователем источника гидрологических или гидробиологических данных.
2. Выбор пользователем диапазона дат, за который ему нужно получить данные.
3. Выбор водного объекта.
4. Выбор из списка доступных измеряемого параметра водного объекта.
5. Если в базе данных ГИС есть необходимые исходные данные, то в зависимости от задачи происходит выбор алгоритма обработки данных и непосредственно сама обработка;
6. Если в базе данных ГИС нет необходимых исходных данных, то формируется запрос на получение данных из удаленных источников (архивов спутниковой информации, измерительных комплексов).
7. Если данные в удаленных источниках не найдены, вывести сообщение пользователю.
8. Если данные в удаленных источниках найдены, то происходит их скачивание и распаковка.
9. Затем в зависимости от задачи происходит выбор алгоритма обработки данных с последующей обработкой.
10. Результаты вычислений записываются в базу данных и доступны пользователю посредством веб-интерфейса.
11. Завершение работы, предоставление пользователю ГИС сводного отчета о выполненных процедурах.

На рисунке 2.11 показана схема последовательности операций. Пользователь может запросить как спутниковые, 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.

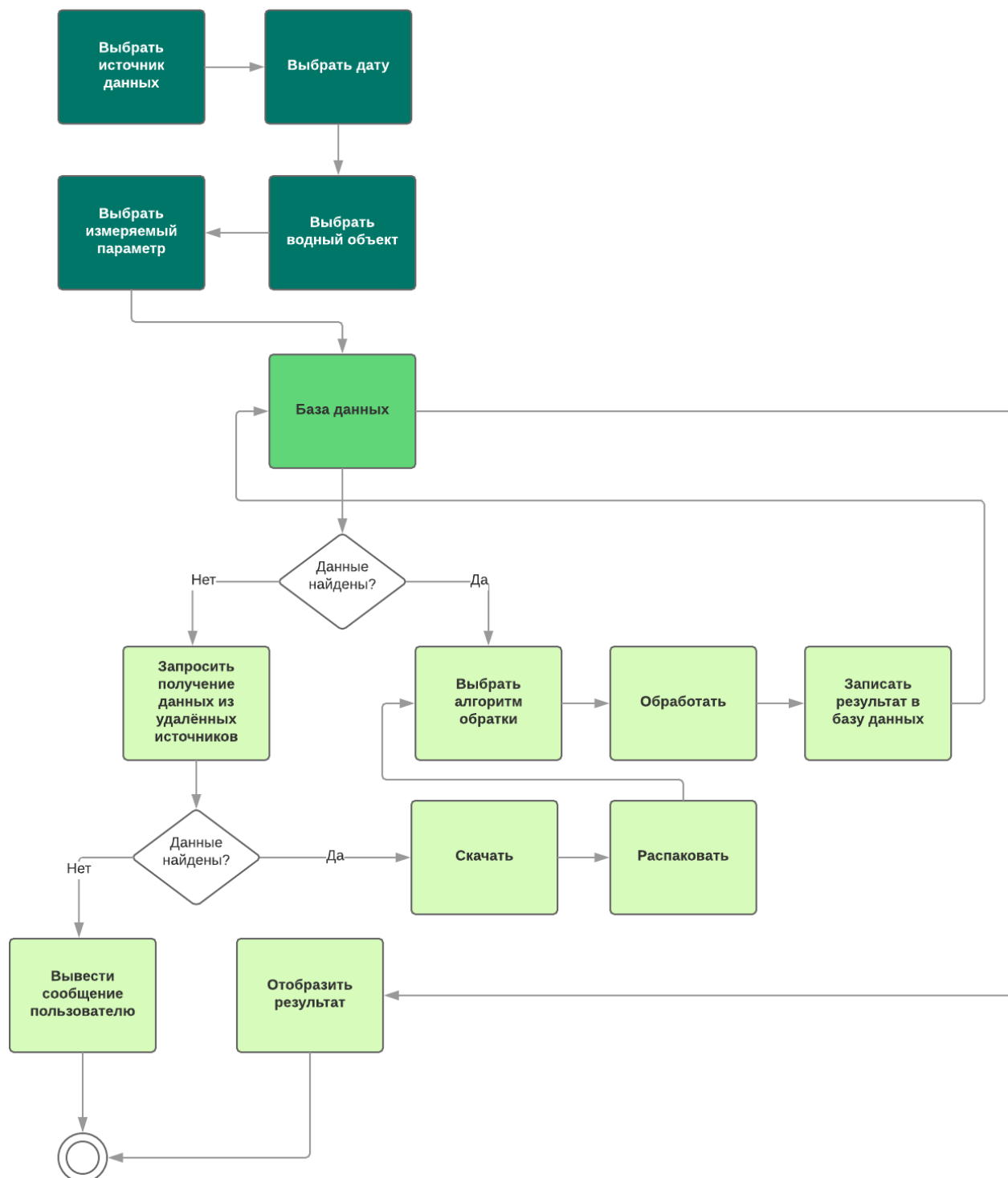


Рисунок 2.11 — Последовательность операций обработки гидрологических данных в информационной системе

На рисунке 2.12 показаны потоки передачи данных от источников к пользователю: данные поступают через программные интерфейсы, на этом этапе необходима валидация, наиболее сложной в технологическом плане является проверка спутниковых данных, 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 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 в виде карт, файлов или таблиц.

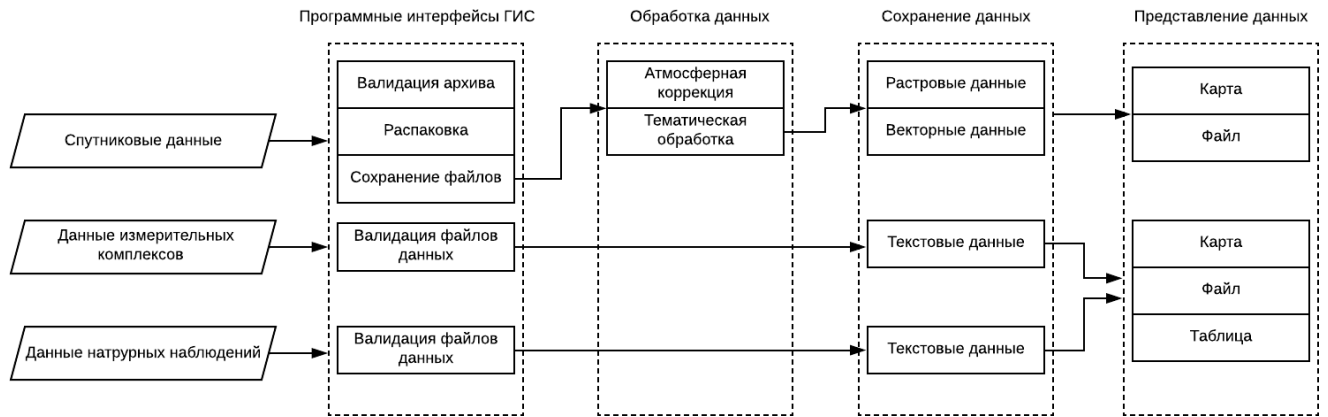


Рисунок 2.12 — Потоки передачи данных в информационной системе

Перемещение информации между модулями информационной системы показано при помощи диаграммы потоков данных (Data Flow Diagram, DFD) [87], которая описывает процесс преобразования информации от ее ввода в систему до представления результатов обработки пользователю. Модель DFD, как и большинство других структурных моделей, — иерархическая модель. Каждый процесс может быть подвергнут декомпозиции, то есть разбиению на структурные составляющие, отношения между которыми в той же нотации могут быть показаны на отдельной диаграмме. Таким образом, диаграммы верхних уровней иерархии определяют основные процессы или подсистемы с внешними входами и выходами, они детализируются при помощи диаграмм нижнего уровня [88].

Созданная схема потоков включает внешнюю сущность «Пользователь», которая взаимодействует с интерфейсами системы «Карта», «Источники данных» и «Вычислительные модули», запускает процесс загрузки данных. В зависимости от параметров расчета процесс загрузки данных обращается к базе данных ГИС и распределённым источникам данных. Для обработки потока данных запускается процесс «Предварительная обработка данных», который на выходе формирует новый поток и направляет его в базу данных ГИС. Далее информация передается в «Расчитать по алгоритму». Результаты работы процесса передаются в «Сформировать отчет» и «Отобразить пространственные данные». Полученная информация передается пользователю в виде электронных карт, таблиц, графиков и файлов посредством веб-интерфейса [10].

На рисунке 2.13 показана диаграмма потоков, отражающая процесс преобразования информации и функционирования информационной системы.

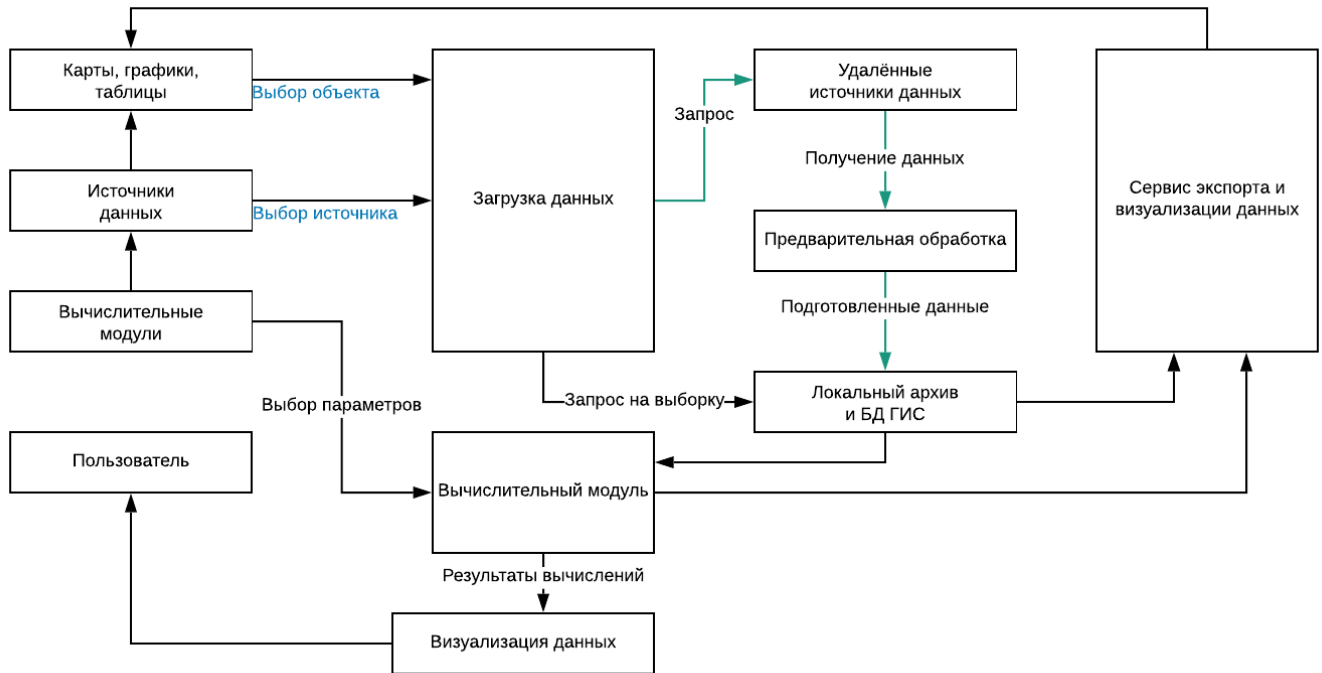


Рисунок 2.13 — Модель потоков данных информационной системы

2.4 Архитектура геоинформационной системы

Геоинформационные веб-приложения состоят из клиентской и серверной части, реализуя тем самым технологию «клиент — сервер». Применение в основе серверной части приложения паттерна проектирования MVC (модель — представление — контроллер) предоставляет широкие возможности в процессе разработки. Такой архитектурный подход предполагает разделение данных приложения, пользовательского интерфейса и управляющей логики на три отдельных компонента. Модификация каждого компонента может осуществляться независимо. За счет такого разделения повышается возможность повторного использования модулей системы. Наиболее полезно применение данной концепции в тех случаях, когда пользователь должен видеть те же самые данные одновременно в различных контекстах и/или с различных точек зрения. Вследствие этого, выполняются следующие задачи:

1. К одной модели можно присоединить несколько отображений, при этом не затрагивая реализацию модели. Например, некоторые данные могут быть одновременно представлены в виде электронной таблицы, гистограммы и круговой диаграммы.
2. Не затрагивая реализацию отображения, можно изменить реакции на действия пользователя (клик мышью по кнопке, ввод данных), для этого достаточно использовать другой контроллер.
3. Разделение зон ответственности в процессе разработки программного обеспечения. Изменение пользовательского интерфейса не влечёт за собой изменения в реализации вычислительных модулей системы [89].

Концепция MVC позволяет разделить данные, представление и обработку действий пользователя на три отдельных компонента:

1. Model (Модель) — это данные и правила, использующиеся для работы с данными, которые представляют концепцию управления приложением. В программной системе вся структура моделируется как данные, которые обрабатываются определённым образом. Модель даёт контроллеру представление данных, которые запросил пользователь. Модель данных не изменяема вне зависимости от того, как нужно представлять их пользователю.
2. View (Представление). В обязанности представления входит отображение данных, полученных от модели.
3. Контроллер (Controller) управляет запросами пользователя. Его основная функция — вызывать и координировать действие необходимых ресурсов и объектов, нужных для выполнения действий, задаваемых пользователем. Обычно контроллер вызывает соответствующую модель для задачи и выбирает подходящий вид.

На рисунке 2.14 показана блок-схема паттерна проектирования MVC [90, 91].

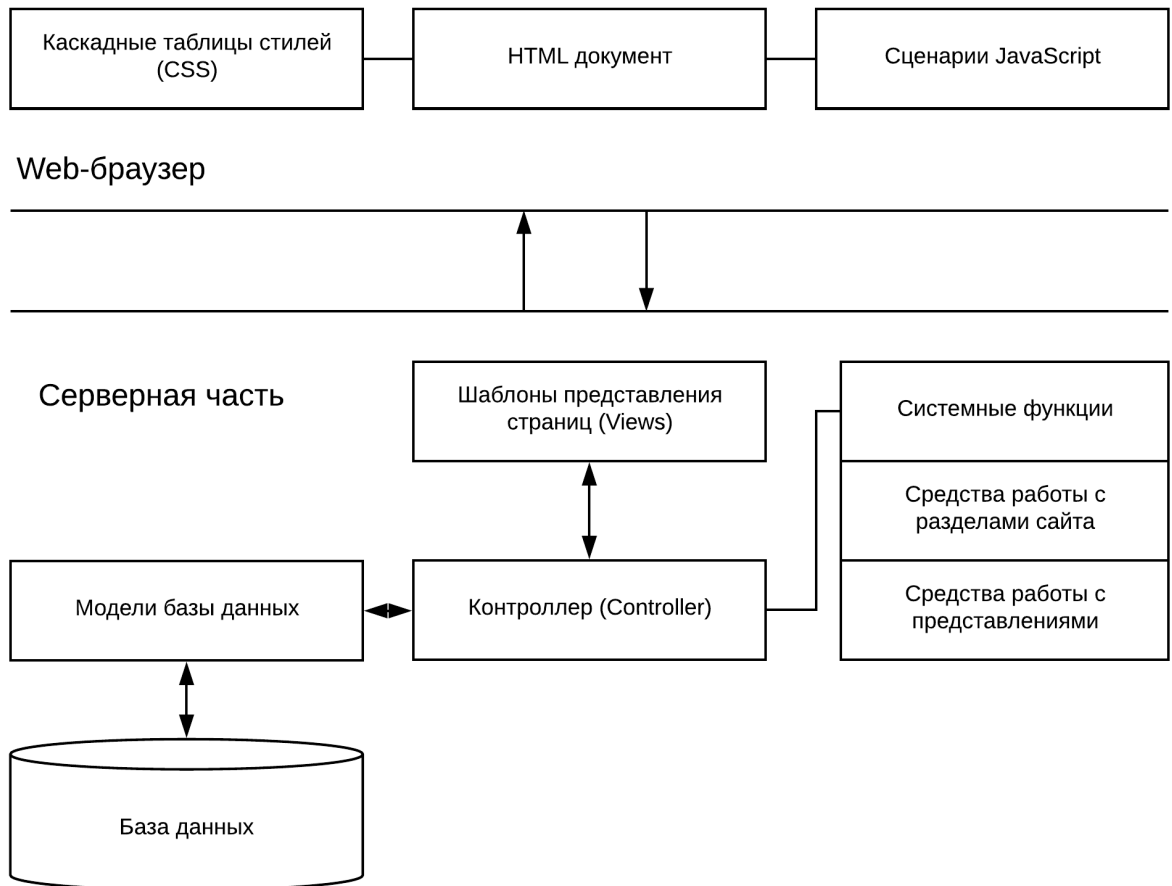


Рисунок 2.14 — Схема паттерна MVC (Model—View—Controller)

На основе паттерна проектирования MVC, а также принципов и стандартов, разработанных OGC (Организация по стандартизации — Консорциум открытых геопространственных технологий (Open Geospatial Consortium, OGC)). Была сформирована архитектура ГИС, которая в общем виде состоит в следующем:

1. Слой данных и низкоуровневых процедур их обработки, предоставляющий соответствующие картографические сервисы обработки и визуализации.
2. Слой промежуточного программного обеспечения геопортала, включая центральный каталог метаданных и серверные веб-приложения.
3. Слой клиентских веб-ГИС-приложений, отвечающий за ГИС-функциональность, доступную конечному пользователю.

Слой данных и процедур их обработки описывает набор вычислительных модулей, каждый из которых включает следующие компоненты:

1. Компонент хранения наборов пространственных данных.

2. Модульное вычислительное ядро в виде независимого программного обеспечения для обработки данных, являющегося вычислительным бэкендом для сервисов ГИС.
3. Вычислительные и картографические веб-сервисы для работы с пространственными данными на основе OGC.

Исходя из перечисленных в первой главе требований и учитывая специфику используемых технологических решений, была разработана следующая структура информационной системы, представленная на рисунке 2.15. Компоненты объединяет между собой веб-платформа Django, которая позволяет реализовывать модульные приложения на языке программирования Python. Для работы с системой был разработан веб-интерфейс, WMS/WPS-интерфейс и RESTfull web-api для интеграции с наземными измерительными комплексами. Работу ГИС можно разделить на два блока — это работа со спутниковыми данными и работа с данными наземных измерительных комплексов и экспедиционных работ. Как уже ранее отмечалось, управление вычислительными процессами осуществляется при помощи менеджера задач, который доступен в панели администратора ГИС. Посредством интерфейсов данные поступают в систему, при помощи рабочих процессов происходит их обработка с последующим сохранением в базу данных.

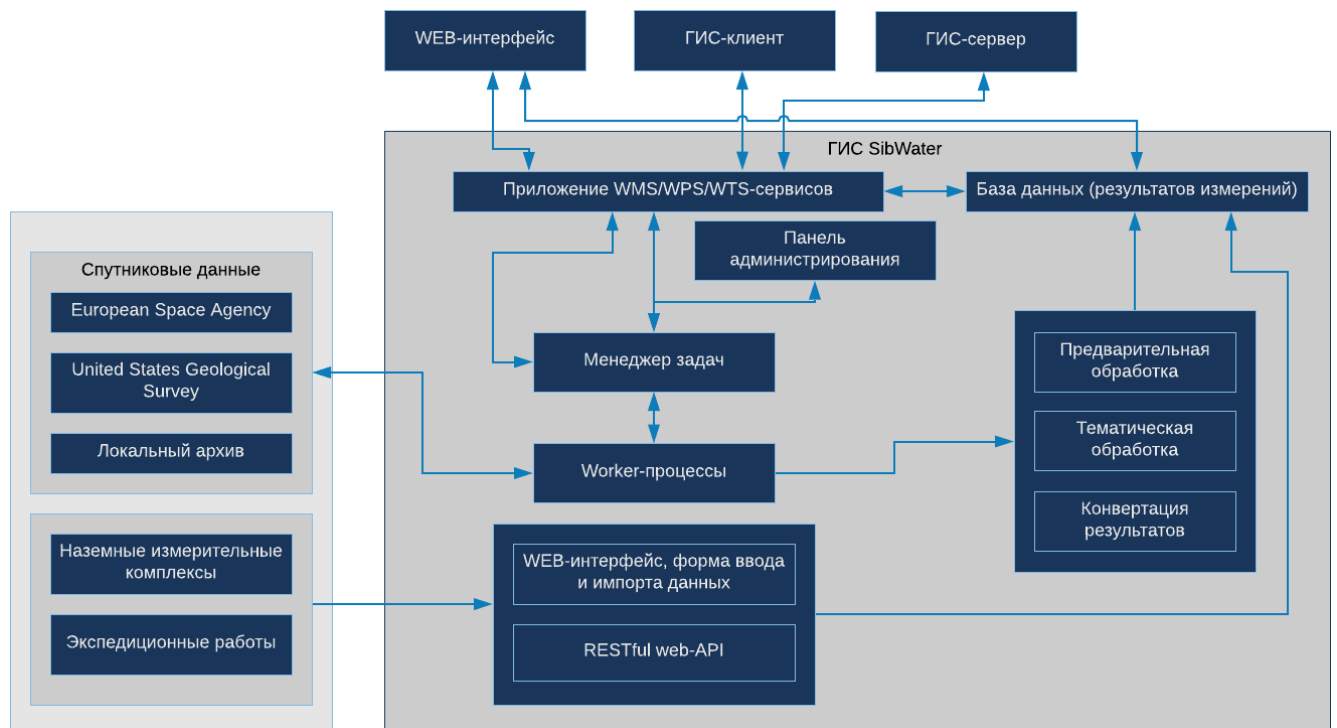


Рисунок 2.15 — Общая архитектура сервис-ориентированной геоинформационной веб-системы

Выводы

1. На основе анализа источников данных о состоянии водных объектов (спутниковые данные, данные натурных наблюдений и экспедиционных работ, данные измерительных комплексов) разработана информационная модель сбора и обработки данных о состоянии водоёмов.
 2. Предложены и продемонстрированы схемы сбора гидрологических и гидробиологических данных из распределённых источников с последующей обработкой и представлением.
 3. Рассмотрены подходы и имеющиеся решения создания геоинформационных систем.
 4. Разработаны и показаны диаграммы потоков данных, описывающие потоки информации между подсистемами информационной системы.
- Основные результаты главы опубликованы в работах [92, 93].

Глава 3. Реализация геоинформационной системы

3.1 Серверная часть геоинформационной системы

Для реализации основной части ГИС был выбран высокоуровневый язык программирования общего назначения Python [94]. Он поддерживает несколько парадигм программирования, в том числе структурное, объектно-ориентированное, функциональное, императивное и аспектно-ориентированное. Основные архитектурные черты данного языка программирования — это динамическая типизация, автоматическое управление памятью, полная интроспекция, механизм обработки исключений, поддержка многопоточных вычислений и удобные высокоуровневые структуры данных.

Также нужно отметить, что на Python реализован довольно широкий спектр различных библиотек и инструментов работы с геоданными, многие инструменты имеют программные интерфейсы для работы с Python-программами, например, такими, как GDAL, QGIS, GeoPandas и т. д. [95, 96].

Как уже отмечалось в разделе 2.4, серверная часть ГИС основывается на платформе Django. Основные компоненты Django включают в себя подсистему объектно-реляционного отображения, автоматически генерируемый на основе программных моделей базы данных веб-интерфейс администратора, гибкий маршрутизатор URL-адресов и систему шаблонной обработки. Поэтому Django позволяет быстро создавать технологичные веб-приложения для реализации большого спектра информационных систем [97, 98].

Для добавления поддержки работы с пространственными данными в работе был выбран модуль GeoDjango [99]. В частности, данный модуль дополняет веб-платформу Django следующим функционалом.

1. Модель базы данных:

- а) расширяется за счет предоставления возможности хранения и получения геоданных;
- б) объектно-реляционное отображение (OR-mapping, ORM) Django получает новые возможности за счет поддержки пространственных запросов;

- в) по мере чтения геообъектов из базы данных на уровне объектно-реляционного преобразования автоматически переводятся объекты ORM в объекты GEOS, предоставляя методы для выполнения запросов к этим объектам и управления ими самыми разными способами, аналогичными интерфейсу, предоставляемому библиотекой Shapely [100];
- г) модель базы данных может импортировать данные из любого поддерживаемого библиотекой OGR векторного источника данных в базу данных модуля GeoDjango;
- д) модуль GeoDjango может задействовать интроспекцию, помогая определять, какие атрибуты доступны в заданном источнике данных библиотеки OGR, и автоматически настраивать модель для сохранения и импорта этих атрибутов.

2. Шаблон веб-интерфейса:

- а) система шаблонной обработки Django расширяется за счет предоставления возможности визуализации геоданных, используя встроенную скользящую карту библиотеки OpenLayers [101] или Leaflet [102].

3. Веб-интерфейс администратора:

- а) веб-интерфейс администратора Django расширяется, предоставляя пользователю возможности создавать и редактировать геоданные при помощи библиотеки OpenLayers. Векторные данные выводятся поверх подложки, предоставленной картографическим проектом OpenStreetMap.

4. Калькуляторы расстояния и площади:

- а) пакет `django.contrib.gis.measure` добавляет поддержку расчетов расстояний и площадей и работы с ними;
- б) расстояния и площади могут конвертироваться в ряд стандартных единиц измерения, например, в миллиметры, метры и т. д.

Серверная часть ГИС имеет ключевое значение, так как объединяет разные компоненты в единую информационную систему и по сути является основой ГИС. Для её работоспособности немалое значение имеет инфраструктура, непосредственно сам веб-сервер (в работе используется NGINX), операционная система (в работе используется Ubuntu 18.04) и виртуальный сервер.

Для организации процесса развертывания ГИС применяется инструмент `venv` [103], он позволяет при помощи специальных текстовых файлов указать программные зависимости и потом установить их в автоматизированном режиме. При этом создаётся изолированная от других компонентов операционной системы виртуальная среда. Данный подход имеет ряд преимуществ, таких как:

1. Сокращение времени, необходимого на развертывание информационной системы.
2. Отсутствие зависимости от компонентов операционной системы или её версии.
3. Возможность использования разных версий Python.

В данном разделе показано основное описание серверной части ГИС, более подробное описание уже отдельных компонентов представлено в следующих разделах.

3.2 Реализация каталога и базы данных

Схема работы каталога данных была показана в разделе 2.1.1. Как отмечалось ранее каталог данных ГИС состоит из базы данных, которая основывается на СУБД PostgreSQL [81] и программной надстройки — функций записи, выборки, удаления и редактирования данных, которые взаимодействуют с СУБД через объектно-реляционное отображение (ORM, Object-Relational Mapping) [104]. Так как в базе данных ГИС присутствуют не только текстовые данные (результаты экспедиционных работ или данные наземных измерительных комплексов), но и пространственные данные выраженные в виде векторных полигонов, для реализации работы с пространственными данными было выбрано расширение PostGIS. Оно позволяет хранить различные типы пространственных данных и выполнять к ним запросы. Эти данные состоят из точек, линий, многоугольников и коллекций геометрий.

СУБД с поддержкой пространственных данных учитывает концепцию «пространства» и позволяет работать непосредственно с пространственными объектами и понятиями. В частности, СУБД с поддержкой пространственных данных дает возможность:

1. Хранить пространственные типы данных (точки, линии, многоугольники и т. д.) непосредственно в базе данных в столбце с типом GEOMETRY.
2. Выполнять к данным пространственные запросы.
3. Выполнять с данными операции пространственного соединения (join).
4. Создавать новые пространственные объекты [105].

Чтобы использовать PostGIS в программах, написанных на Python, сначала необходимо установить и настроить СУБД PostgreSQL, затем установить геопрограммное расширение PostGIS и, наконец, установить адаптер СУБД PostgreSQL psycopg2 для Python. На рисунке 3.1 показано, как эти части компонуются вместе.



Рисунок 3.1 — Схема взаимодействия программного кода и базы данных

Работа с данными экспедиционных измерений и измерительных комплексов в технологическом плане реализована проще, так как данные хранятся в текстовых форматах. Как уже отмечалось ранее, все измерения должны иметь как географическую привязку (иметь координаты), так и привязку к водному объекту.

На рисунке 3.2 показан вывод данных измерительного комплекса АПИК в панели администрирования ГИС. Основной частью интерфейса является таблица, которая содержит значения измерений, справа находится фильтр, при помо-

щи которого можно производить различные выборки данных: по дате, водному объекту, для которого они были измерены, и т. д.

The screenshot shows the 'Измерения параметров' (Parameter Measurements) section of the SibWater 1.0 interface. At the top, there are navigation links for 'Начало', 'Приложение', and 'Измерения параметров'. The main area contains a table of measurements with columns for 'значение' (value), 'параметр' (parameter), 'время' (time), and 'водный объект' (water object). A sidebar on the right provides filtering options for 'Время' (Time) and 'Водный объект' (Water Object).

значение	параметр	время	водный объект
4.355	температура воды	28 февраля 2018 г. 3:49	оз. Красиловское
4.355	температура воды	28 февраля 2018 г. 3:49	оз. Красиловское
4.355	температура воды	28 февраля 2018 г. 3:49	оз. Красиловское
4.361	температура воды	28 февраля 2018 г. 3:49	оз. Красиловское
4.361	температура воды	28 февраля 2018 г. 3:49	оз. Красиловское
4.367	температура воды	28 февраля 2018 г. 3:49	оз. Красиловское
4.373	температура воды	28 февраля 2018 г. 3:49	оз. Красиловское
4.385	температура воды	28 февраля 2018 г. 3:49	оз. Красиловское
4.385	температура воды	28 февраля 2018 г. 3:49	оз. Красиловское
4.385	температура воды	28 февраля 2018 г. 3:49	оз. Красиловское
4.392	температура воды	28 февраля 2018 г. 3:48	оз. Красиловское
4.392	температура воды	28 февраля 2018 г. 3:48	оз. Красиловское
4.392	температура воды	28 февраля 2018 г. 3:48	оз. Красиловское
4.392	температура воды	28 февраля 2018 г. 3:48	оз. Красиловское
4.392	температура воды	28 февраля 2018 г. 3:48	оз. Красиловское
4.385	температура воды	28 февраля 2018 г. 3:48	оз. Красиловское
4.379	температура воды	28 февраля 2018 г. 3:48	оз. Красиловское
4.355	температура воды	28 февраля 2018 г. 3:48	оз. Красиловское
1550	уровень снега	11 февраля 2018 г. 13:00	оз. Красиловское

Рисунок 3.2 — Вывод измеренных параметров в панели администрирования ГИС

Также нужно отметить, что была реализована функция разграничения доступа к данным, то есть к некоторым наборам измерений нельзя получить доступ в публичной части ГИС, они доступны только зарегистрированным пользователям.

В приложении А подробно показаны функции работы с данными как в закрытом, так и в публичном разделах ГИС. Подробно показан механизм импорта и экспорта данных, их фильтрации и вывода в виде графиков или таблиц.

На рисунке 3.3 показана ER-диаграмма схемы базы данных ГИС. Таблицы с префиксом `app` — таблицы основного приложения ГИС Application, которое предназначено для объединения основных модулей. Таблицы с префиксом `django` — таблицы, содержащие служебную информацию.

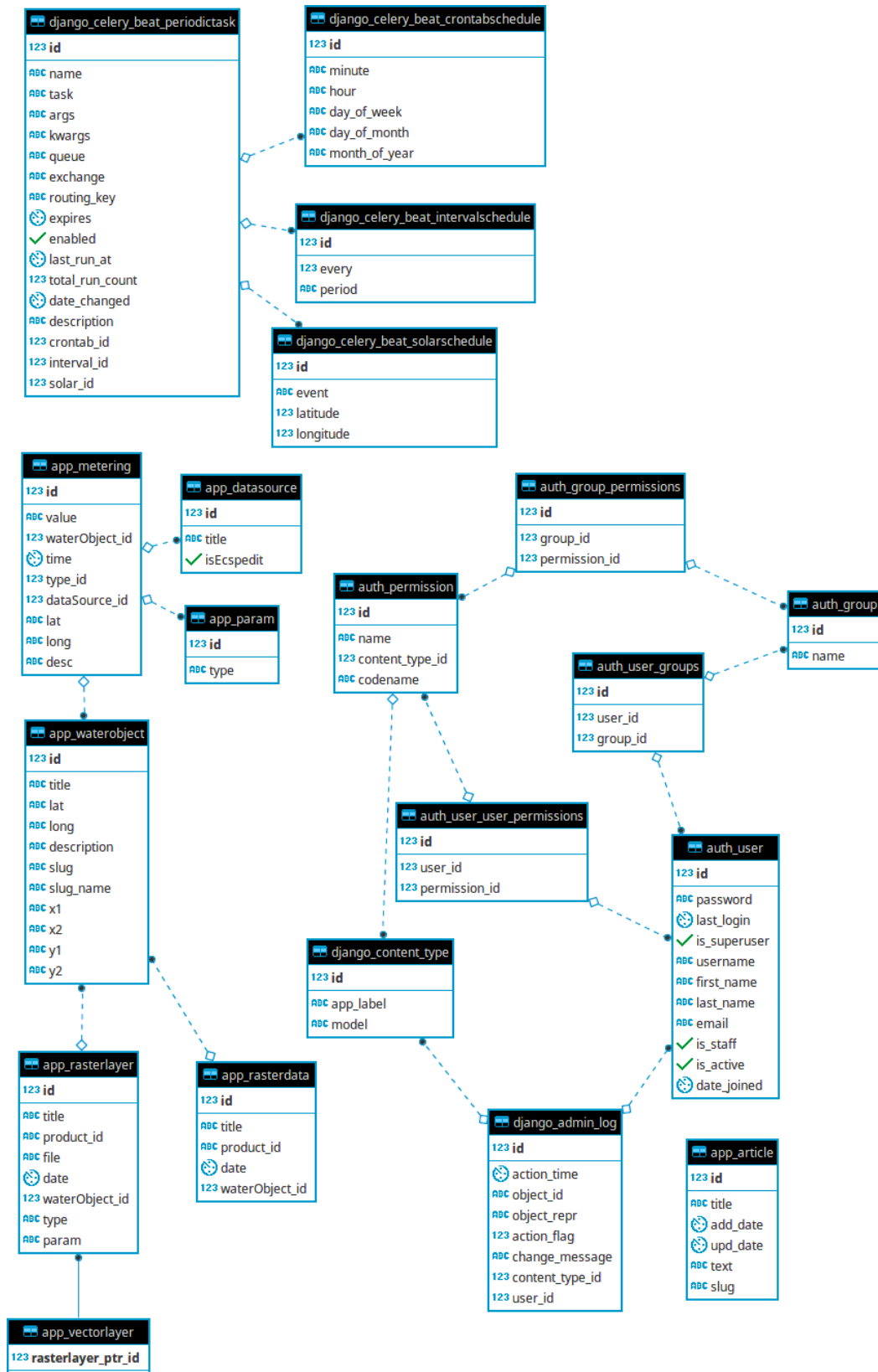


Рисунок 3.3 — ER-диаграмма схемы базы данных ГИС

3.3 Формирование карт

Для предоставления результатов работы пользователям в ГИС использованы современные средства публикации геопространственных данных в сети Internet, основанные на стандартах OGC [76]. В качестве такого средства выбрано программное обеспечение с открытым кодом — картографический сервер UMN MapServer [106].

Mapserver формирует из данных в формате Geotiff карту, которую в качестве результата запроса видит пользователь.

Основу MapServer составляет утилита `mapserv`, которая принимает от пользователя параметры (файл описания карты, слои карты, размеры текущей карты и т. п.), указанные в адресной строке браузера, после чего отображает требуемую карту пользователю. Обычно это происходит так: получив от пользователя запрос, MapServer генерирует растровый файл и встраивает его в html-документ, отсылаемый пользователю. Какие слои будут участвовать при генерации файла, как именно они будут отображаться, будут ли подписаны объекты на карте, а также многое другое указывается в специальном файле с расширением `.map`, который передается программе `mapserv` в качестве одного из параметров, заданных пользователем в строке адреса [106]. Здесь необходимо отметить некоторые особенности синтаксиса `map`-файлов. Знак фунта (`#`) используется для обозначения комментариев (любой текст после такого знака до конца строки игнорируется). Каждый `map`-файл начинается с ключевого слова `MAP`, обозначающего начало описания объекта `MAP`. Вся карта описывается внутри объекта `MAP`. Содержимое `map`-файла представляет собой глобальный раздел `MAP`, внутри которого располагаются другие разделы, в частности, разделы `LAYER`, содержащие описание опубликованных слоёв. Описание объекта заканчивается ключевым словом `END`. Основой объекта являются пары «ключевое слово/значение» и дочерние объекты.

Пример map-файла:

```

MAP
  NAME Altay Region
  SIZE 1600 1300
  EXTENT 60.22 48.99 110.00 57.99
5  IMAGECOLOR 192 192 192
  IMAGEQUALITY 95
  IMAGETYPE png
  OUTPUTFORMAT
10  NAME png
  DRIVER "GD/PNG"
  MIMETYPE "image/png"
  END
  END
  METADATA
15  'wms_title'           'Altay Region '
  'wms_onlineresource'  '/mapserv?map=altai.map'
  'wms_srs'             'EPSG:4326'
  END
20  END
  LAYER
  NAME 'Altay'
  TYPE RASTER
  DATA '/raster/example.tif'
  METADATA
25  'wms_title' 'ex_raster'
  END
  STATUS DEFAULT
  TRANSPARENCY 100
  END
30  END
END

```

Рассмотрим некоторые разделы и их свойства, определённые в примере map-файла.

EXTENT $x_1 y_1 x_2 y_2$ — координаты нижнего левого и верхнего правого углов карты (географический охват), отображаемые на экране. В данном случае слои карты представлены в географических координатах, и все они укладываются в прямоугольник с координатами углов (60.22 48.99, 110.00 57.99).

LAYER — порядок доступа и свойства отображения конкретного слоя.

SHAPERATH — путь до каталога, в котором расположены файловые источники данных (например, share-файлы или растровые изображения).

SIZE a b — размеры карты в пикселях.

IMAGETYPE — тип растра, который генерирует MapServer для отправки пользователю.

Внутри раздела **LAYER** примера **map**-файла содержатся некоторые дополнительные свойства, среди которых:

STATUS — определяет, должен ли слой быть отрисован (**ON**), или нет (**OFF**), или отрисовывать слой всегда (**DEFAULT**);

TYPE — геометрический тип, который должен использовать MapServer при отрисовке данных. Согласно этому примеру **map**-файла, данные будут отрисованы как полигоны.

DATA — имя источника данных, используемого для этого слоя. В данном случае это имя **share**-файла;

CLASS — определяет оформление слоя (стиль).

Помимо стандартных инструкций, приведённых выше, **map**-файл может содержать специальные конструкции, предназначенные для оптимального отображения карты с использованием растровых данных:

PROCESSING "RESAMPLE=BILINEAR" — учитывается значение четырех прилегающих пикселей и обеспечиваются более плавные переходы;

PROCESSING "RESAMPLE=NEAREST" — интерполяция методом ближайшего соседа;

PROCESSING "RESAMPLE=AVERAGE" — бикубическая интерполяция.

Наконец, можно указать, какие каналы будут использоваться для построения изображения и задать, им цвет **BANDS=red_or_grey[,green,blue[,alpha]]**. Директива **map**-файла будет выглядеть следующим образом:

```
PROCESSING "BANDS=4,2,1"
PROCESSING "SCALE_1=-28672,11579" #red
PROCESSING "SCALE_4=-28672,11027" #green
PROCESSING "SCALE_3=-28672,12169" #blue
```

3.4 Подсистема сбора данных

В разделе 1.2 показан в общем виде механизм получения спутниковых данных из удаленных архивов данных. Как было отмечено ранее, в ГИС реализовано получение данных из двух публичных сервисов предоставления спутниковых данных:

1. Система доступа к данным глобального архива данных космических аппаратов серии Landsat Геологической службы США (USGS — United States Geological Survey).
2. Система доступа к данным спутников Европейского космического агентства (ESA) (<https://scihub.copernicus.eu>).

Для программной реализации этой функции в ГИС был использован пакет `sentinelsat` [107], при помощи которого формируются запросы к программным интерфейсам сервисов каталогов данных. `Sentinelsat` можно использовать как в виде библиотеки функций, так и в виде самостоятельного приложения с интерфейсом командной строки. Ниже представлен пример команды для получения данных КА Sentinel-2.

```
sentinelsat -u <user> -p <password>
  -g <search_polygon.geojson>
  --sentinel 2 --cloud 30
```

Где `user` — имя пользователя, `password` — пароль, `search polygon.geojson` — GeoJSON полигон интересующего региона, `sentinel 2` — название спутниковой платформы, `cloud 30` — максимальный процент облачности [107].

На основе данного пакета был разработан модуль получения спутниковых данных, работать с которым можно посредством командного интерфейса и через панель администрирования ГИС.

При работе с модулем получения данных при помощи веб-интерфейса, посредством менеджера задач происходит формирование задания на получение данных. Исходя из настроек задачи (необходимо получить данные единовременно или по заданному расписанию) происходит скачивание архивов данных с последующей передачей их блоку обработки ГИС. После того как файлы были получены, проводится проверка на целостность архива.

Сбор данных наземных измерительных комплексов технологически реализован иначе, так как не требует запроса от ГИС непосредственно к изме-

рительным комплексам и какой-то специальной обработки данных: подробно реализация этого процесса показана в разделе 3.7.

3.5 Управление вычислительными процессами

Для интеграции вычислительных модулей в рамках единой информационной системы был разработан компонент управления процессами. Он был разработан с использованием библиотеки Celery [108]. Celery — очередь задач, построенная на системе асинхронной передачи сообщений. В программировании Celery можно использовать в качестве хранилища для отложенных задач. Программа, передавшая задачу, может беспрепятственно продолжать работать, а впоследствии она обращается к Celery для подтверждения окончания процесса вычисления, чтобы получить необходимые данные [108]. Схема работы данного компонента была показана в разделе 2.1.3.

Для интеграции платформы Django с библиотекой Celery был использован пакет `django-celery`, который предоставляет технологию Django ORM (object-relational mapping) для сохранения результатов выполнения заданий, а также автоматически находит и регистрирует задания Celery для приложений Django. На рисунке 3.4 показана блок-схема работы компонента управления вычислительными процессами ГИС.

Как видно из рисунка 3.4, вычислительные задания устанавливаются при помощи веб-интерфейса, затем полученные от пользователя данные обрабатываются и передаются менеджеру задач для формирования заданий. После они записываются в очередь — для этого используется технология RabbitMQ [109], запускается вычислительный процесс. По окончании работы результаты записываются в базу данных [11].

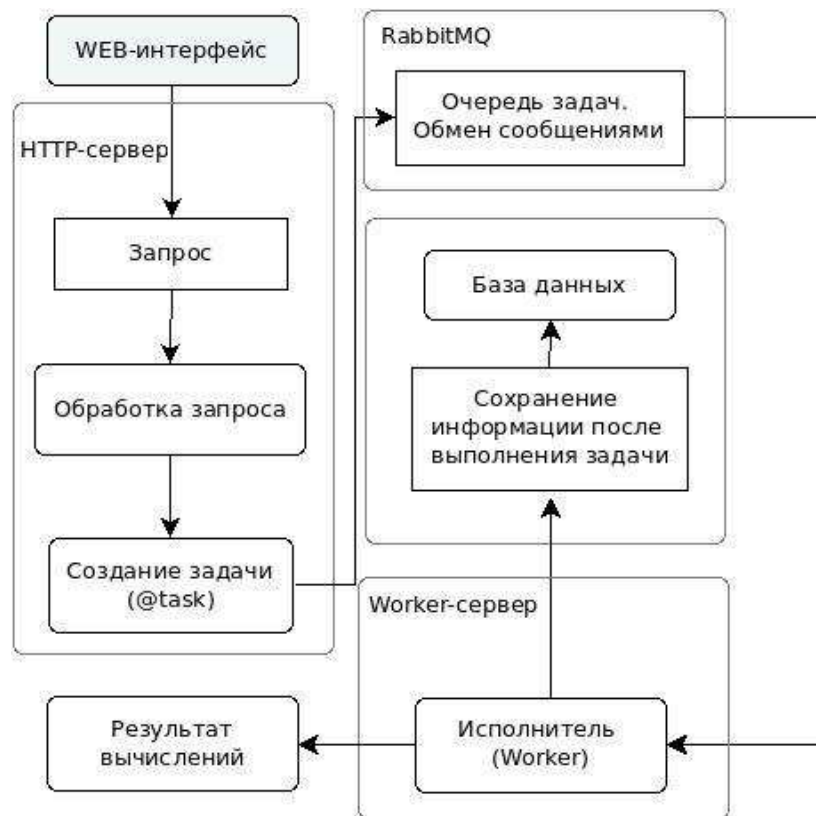


Рисунок 3.4 — Блок-схема работы подсистемы распределения процессов обработки данных

На рисунке 3.5 показан фрагмент интерфейса создания вычислительных задач. Для создания задачи необходимо ввести следующую информацию:

1. Название задачи.
2. Установить флаг «Включен» для активации задачи.
3. Выбрать временной период и периодичность.
4. Если задача разовая, то предыдущий пункт можно пропустить и отметить флаг «Разовая задача».
5. Раздел «Arguments» предназначен для дополнительных аргументов.

Нужно отметить, что доступ в данный раздел имеют только пользователи с правами администратора.

Имя:

Описание

Включен

Schedule

Интервал:

Crontab:

Используйте один интервал/crontab

Время запуска:

Дата: Сегодня

Время: Сейчас

Разовое задание

Arguments (Показать)

Execution Options (Показать)

Рисунок 3.5 — Фрагмент веб-интерфейса раздела создания вычислительных задач

3.6 Веб-интерфейс

Веб-интерфейс ГИС сделан на основе платформы Bootstrap [110]. Это свободный набор инструментов для создания сайтов и веб-приложений, который включает в себя HTML- и CSS-шаблоны оформления для типографики, веб-форм, кнопок, меток, блоков навигации и прочих компонентов веб-интерфейса, включая JavaScript-расширения. Bootstrap позволяет создавать пользовательские интерфейсы, которые корректно отображаются на экранах разных устройств (компьютеры, планшеты, телефоны и т. д.) [110].


Веб-интерфейс можно разделить на две части:

1. Публичный — доступный всем пользователям ГИС, для доступа к нему не нужна регистрация и авторизация.
2. Закрытый — для доступа к этому разделу пользователь должен быть авторизован в системе в качестве пользователя или администратора ГИС.

В приложении А подробно показаны основные функции и элементы веб-интерфейса, одним из ключевых компонентов которого является карта, формирующаяся на основе библиотеки Leaflet [102]. Это JavaScript-библиотека для создания браузерных и адаптированных под мобильные устройства интерактивных карт.

Leaflet — простая и производительная библиотека. Эффективно работает «из коробки» на всех основных настольных и мобильных платформах, используя возможности HTML5 и CSS3 в современных браузерах, оставаясь при этом работоспособной и в старых браузерах. Может быть расширена за счёт использования многочисленных плагинов, имеет хорошо документированный API [102].

На рисунке 3.6 показан пример веб-интерфейса ГИС, центральным компонентом является карта на которую выведены три слоя: базовый слой, предоставляемый сервисом Open Street Maps, слой обработанных спутниковых данных КА Sentinel-2 и слой в виде векторного полигона — результат вычисления спектрального индекса NDWI.



The screenshot shows the SatGIS 1.0 web interface. The top header contains the application name 'SatGIS 1.0 гис ивэп со РАН' and user options 'Водные объекты' and 'О проекте'. The main map area displays three layers: a base map (Open Street Maps), a satellite data layer (Sentinel-2), and a vector polygon layer (NDWI index). Below the map is a table of layers.

# id	Слой	Параметр	Формат	Дата
34	<input type="checkbox"/> S2A_MSIL1C_20181207T055221_N0207_R048_T44UPF_20181207T065514	Комбинация каналов 4-3-2	raster	7 декабря 2018 г. 12:00
2	<input type="checkbox"/> S2A_MSIL1C_20181028T054931_N0206_R048_T44UPF_20181028T074620		raster	28 октября 2018 г. 10:56
3	<input type="checkbox"/> S2A_MSIL1C_20181028T054931_N0206_R048_T44UPF_20181028T074620		vector	28 октября 2018 г. 10:56
1	<input type="checkbox"/> S2A_MSIL1C_20181028T054931_N0206_R048_T44UPF_20181028T074620		raster	28 октября 2018 г. 10:56
5	<input type="checkbox"/> S2A_MSIL1C_20181025T053911_N0206_R005_T44UNF_20181025T074504	NDWI индекс	raster	25 октября 2018 г. 9:46

Рисунок 3.6 — Пример веб-интерфейса ГИС

Помимо визуализации WMS- и WFS-слоев на единой web-карте, а также редактирования предоставляемых данных, Leaflet обладает следующими возможностями:

1. Добавление на карту панели навигации (включена по умолчанию). На панели находятся кнопки сдвига карты (север–юг, запад–восток), увеличения и уменьшения масштаба.
2. Перемещение карты при помощи мыши.
3. Изменение масштаба карты при прокрутке среднего колеса мыши.
4. Получение координат точки, над которой находится указатель мыши.
5. Добавление панели управления для включения/отключения слоев карты.
6. Выбор произвольного объекта и получения информации о его атрибутах.
7. Управление прозрачностью используемых слоев карты.
8. Добавление к карте определяемых пользователем элементов (точек, линий, многоугольников) и др.

Как уже было показано в разделе 3.3, со стороны сервера отрисовка пространственных данных осуществляется при помощи утилиты MapServer.

Компонент создания графиков реализован при помощи JavaScript библиотеки Chart [111]. На ней был реализован модуль, который обращается к серверной части ГИС для получения данных, при этом в запросе могут быть присутствовать различные параметры для фильтрации данных по дате, измеренному параметру, водному объекту и т. д. На рисунке 3.7 показан пример визуализации данных измерительного комплекса АПИК при помощи веб-интерфейса.

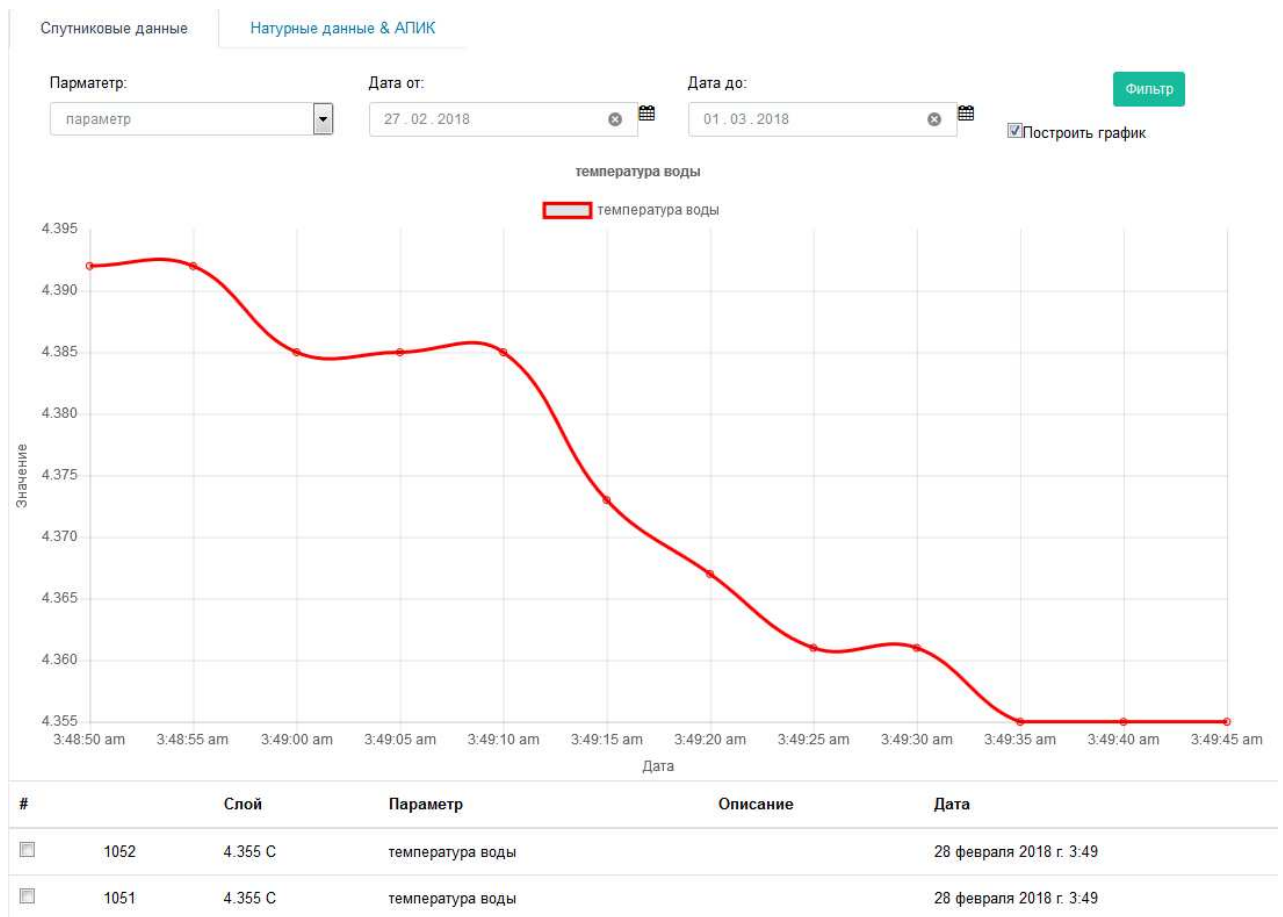


Рисунок 3.7 — Фрагмент страницы водного объекта, пример визуализации данных измерительного комплекса АПИК

Панель администрирования ГИС также имеет веб-интерфейс, который базируется на основе `django.contrib.admin` и модуля `GeoDjango` для управления пространственными данными. Подробно панель администрирования, её функциональные возможности и разделы показаны в приложении А.

3.7 Интеграция с наземными измерительными комплексами

В разделе 1.1.3 был показан измерительный комплекс АПИК. Он снабжен GSM-модемом для передачи данных и модулем логирования (хранение полученных данных для их последующего скачивания). Для обеспечения интеграции измерительным комплексом был разработан RESTfull web-API, который основывается на расширении `Django REST framework (DRF)`. Данные API по GSM-каналу передаются в формате `JSON` и после валидации записываются в базу

данных ГИС. Результаты экспедиционных работ также могут быть добавлены в ГИС посредством API или веб-интерфейса с формой добавления и импорта.

Концепция RESTful интерфейса имеет следующие особенности.

1. Независимость от платформы. Любой клиент должен иметь возможность вызывать API, независимо от того, как API реализован внутренне. Для этого требуется использование стандартных протоколов, а также наличие механизма, при котором клиент и веб-службы могут согласовать формат данных для обмена.
2. Развитие службы. API должен иметь возможность развиваться и расширять набор функций независимо от клиентских приложений. По мере развития API имеющиеся клиентские приложения должны продолжать работать без изменений. Все функции должны быть доступными, чтобы клиентские приложения могли полноценно их использовать.

Центральное место в концепции RESTful веб-сервисов — понятие ресурсов. Ресурсы представлены URI. Клиенты отправляют запросы к различным URI, используя методы, представленные протоколом HTTP, и могут изменять состояние ресурсов [112]. Данная парадигма проектирования не накладывает явных ограничений на формат, который должен быть использован для представления ресурсов, но есть ряд правил, которым необходимо следовать при разработке формата, который будет использоваться для представления ресурса:

1. Клиент и сервер должны иметь возможность работать с выбранным форматом.
2. Ресурс можно полностью описать, используя выбранный формат — независимо от сложности ресурса.
3. Формат должен предусматривать возможность представления связей между ресурсами [113].

При разработке RESTful API ГИС и формата передачи данных использовались рекомендации по построению REST API, разработанные организацией Open API Initiative [114]. Спецификация OpenAPI поставляется с набором рекомендаций по разработке REST API. Она дает ряд преимуществ для взаимодействия, но требует дополнительного внимания при разработке для соблюдения спецификации. В OpenAPI рекомендуется начинать работу с создания контракта, а не реализации. Это означает, что при разработке API сначала должен быть разработан контракт (интерфейс) и лишь после этого — программный код для его реализации.

Формат данных RESTful API ГИС имеет следующие обязательные поля:

1. `status` — код состояния HTTP [115].
2. `data` — содержит массивы передаваемых данных.

Ниже представлен пример получения массива данных.

```
{
  "status": "http code",
  "data": [
    {
      "value": 123.5,
      "type": type_id,
      "time": 20181209,
      "object": id
    }
    ...
  ]
}
```

В примере `value` — значение измеряемой величины, `type` — уникальный ID измеряемой величины (устанавливается в панели администратора), `time` — время в которое было произведено измерение, `object` — ID водного объекта (устанавливается в панели администратора).

Запрос на запись данных выглядит следующим образом:

```
{
  "data": [
    {
      "value": 123.5,
      "type": type_id,
      "time": 20181209,
      "object": id
    }
    ...
  ]
}
```

Выводы

1. Создана специализированная геоинформационная система регистрации параметров состояния внутриконтинентальных водных объектов на основе спутниковых данных и данных, получаемых с наземных приборов. Реализован пользовательский веб-интерфейс и RESTfull WEB-API для интеграции с наземными измерительными комплексами.
 2. Разработаны программные модули, обеспечивающие обработку спутниковых данных и привязку к этим данным результатов локальных, наземных измерений.
 3. Разработаны графические пользовательские интерфейсы для организации работы пользователей с ГИС, интеграция разработанных программных модулей в единую модульную ГИС.
- Основные результаты главы опубликованы в работах [13, 16, 17, 116–122].

Глава 4. Решаемые при помощи геоинформационной системы задачи

4.1 Определение площади акватории водоемов

Актуальной задачей гидрологии внутренних водоемов суши является определение их площади акватории в различные сезоны года [123]. Для этого используют наземные измерения, данные аэрофотосъемки и спутникового мониторинга [124].

Как правило, площади водоемов определяются однократно — в меженьный период при обновлении картографической продукции. Космическая съемка позволяет не просто выполнить разовое установление границы и площади водоема, но и осуществлять регулярные измерения [78].

В настоящее время известен ряд методов выделения водных объектов по данным спутниковой съемки в оптическом диапазоне электромагнитного спектра [125], которые условно можно разбить на несколько групп:

1. Пороговые методы, основанные на применении определенного спектрального канала или комплексного спектрального признака (индекса).
2. Методы, использующие пороговое дерево решений на основе заданных спектральных характеристик.
3. Методы на основе классификации с обучением.
4. Методы, использующие алгоритмы кластеризации, и др. [21, 126].

Простым способом выделения водных объектов является пороговое разделение пикселей по значениям яркости в заданном канале. Обычно используется спектральный канал из ближнего или среднего инфракрасного диапазона, потому что в этих диапазонах наблюдается сильное поглощение излучения водой, в отличие от растительности и сухой почвы. Однако этот метод подвержен влиянию различных шумов и допускает ошибки, относя теневые области и часть антропогенных объектов к водной поверхности.

Помимо исходных спектральных каналов широко распространено применение водных индексов. Эти индексы усиливают контраст между водными поверхностями и другими объектами. Наиболее распространенными водными индексами являются нормализованный разностный водный индекс NDWI и

MNDWI. Предполагается, что водным объектам соответствуют положительные значения индекса, а остальным — отрицательные. NDWI использует видимый зеленый (G) и ближний инфракрасный (NIR) каналы, формула вычисления NDWI представлена ниже.

$$NDWI = \frac{NIR - G}{NIR + G}. \quad (4.1)$$

В рассматриваемой ГИС для определения площади водных объектов в качестве основного способа используется алгоритм расчета индекса NDWI. Данный подход позволяет автоматизировать процесс вычислений, так как не требует каких-либо дополнительных операций. Однако не лишен и недостатков — исследования показывают [127, 128], что зачастую оптимальный водный порог для индексов NDWI, MNDWI может быть отличен от нуля, что может ограничивать их применение в автоматическом режиме. Кроме того, методы на основе водных индексов допускают ошибки на теневых областях [129]. Несмотря на такие недостатки определение площади водоёмов по алгоритму расчета индексов NDWI, MNDWI является достаточно распространённым способом.

При обработке спутниковых данных был использован специальный модуль ГИС для вычисления спектральных индексов. Он основан на компонентах библиотеки GDAL [130]. Это библиотека с открытым исходным кодом для работы с растровыми пространственными данными. Благодаря наличию развитого API можно работать с функциями GDAL на многих языках программирования. В данном случае, так как вычислительные модули реализованы на языке программирования Python, используется соответствующая версия API.

GDAL Python API состоит из пяти основных модулей:

1. `gdal` — Python интерфейс к библиотеке GDAL.
2. `ogr` — Python интерфейс к библиотеке OGR.
3. `osr` — работа с системами координат.
4. `gdal array` — вспомогательные функции.
5. `gdalconst` — константы.

Библиотека позволяет представить растровый файл в виде массива, одноканальный — в виде двумерного размерностью X на Y, многоканальный — в виде многомерного. GDAL позволяет получить доступ как ко всему растру сразу, так и к любому каналу. Результатом такой операции будет массив `numpy` соответствующей размерности [131], над которыми, в свою очередь, доступны арифметические операции [132].

Для проверки работоспособности был выбран ряд озер, располагающихся на территории Алтайского края. В таблицах 2–5 показаны результаты определения площади акватории озер.

Таблица 2 — Данные Landsat-8 и Sentinel-2, озеро Красиловское

Landsat-8		Sentinel-2	
Дата	Площадь, км ²	Дата	Площадь, км ²
17.09.2016	0,74	05.10.2016	0,71
16.08.2015	0,73	15.09.2016	0,72
29.06.2016	0,73	03.08.2016	0,73

Таблица 3 — Данные Landsat-8 и Sentinel-2, озеро Большое Яровое

Landsat-8		Sentinel-2	
Дата	Площадь, км ²	Дата	Площадь, км ²
11.07.2016	73,18	05.08.2016	72,76

Таблица 4 — Данные Landsat-8 и Sentinel-2, озеро Кучукское

Landsat-8		Sentinel-2	
Дата	Площадь, км ²	Дата	Площадь, км ²
05.08.2016	172,94	11.09.2016	171,68

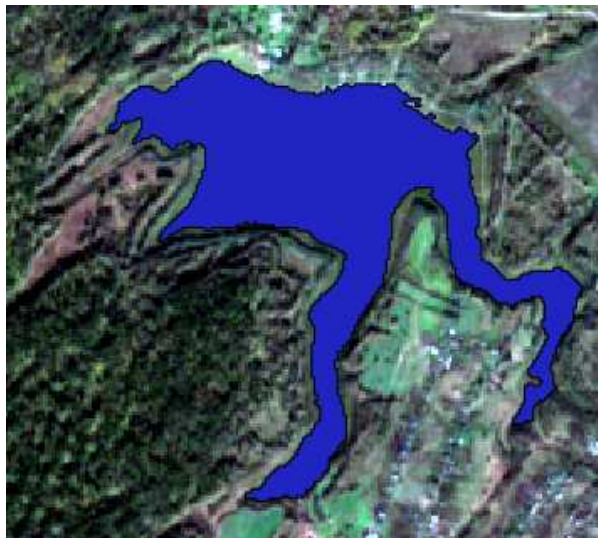
Таблица 5 — Данные Landsat-8 и Sentinel-2 озеро Телецкое

Landsat-8		Sentinel-2	
Дата	Площадь, км ²	Дата	Площадь, км ²
03.09.2016	229,42	14.09.2016	229,97

Как уже было показано в предыдущих разделах, результаты вычислений записываются в базу данных ГИС в виде векторных полигонов. Впоследствии для расчета площади полигона, а следовательно, площади водного объекта, используется функция PostGIS ST_Area. Она используется следующим образом:

`ST_Area(geometry, use_spheroid)`

где `geometry` — объект, для которого нужно определить площадь, `use_spheroid` — логический флаг указывает, следует ли выполнять вычисления на сфероиде, например, поверхность Земли [81]. На рисунке 4.1 показан пример визуализации результатов определения площади акватории.



а) Озеро Красиловское



б) Озеро Большое Яровое

Рисунок 4.1 — Визуализация результата определения площади

При помощи веб-интерфейса можно представить результаты определения площади в виде графика. На рисунке 4.2 показано изменение площади озера Красиловское на протяжении 2017 года, определенное по данным КА Sentinel-2. Эта информация может быть дополнена данными по изменению уровня воды в этот же период, который показан на рисунке 4.3.



Рисунок 4.2 — Изменение площади озера Красиловское в течение 2017 года



Рисунок 4.3 — Изменение уровня воды озера Красиловское в течении 2017 года

Оценка точности Точность измерения площади водоема по ДЗЗ зависит от многих факторов: параметров водоема (площади, прозрачности воды, извилистости береговой линии), характеристик измерительной аппаратуры (пространственного разрешения, спектральных диапазонов, углов съемки), условий съемки (освещенности, состояния атмосферы) и методик обработки данных (алгоритмов классификации, комбинации спектральных каналов). Как правило, погрешность растет с уменьшением площади водоема и увеличением степени

извилистости его береговой линии. Также необходимо учитывать, что при высокой мутности мелководных участков водоема при классификации можно перепутать участки водной поверхности с участками суши, что приводит к увеличению погрешности.

Для оценки точности составлена матрица ошибок, представляющая собой таблицу сравнения итоговой карты с эталонными значениями [133]. Для этого создавались проверочные участки разного размера, преимущественно на границе вода-суша. Проверочным участкам в процессе визуальной дешифровки снимка присваивался класс подстилающей поверхности. Затем значения классов проверочных участков сравнивались со значениями классификации. Для визуальной дешифровки был использован снимок Sentinel-2 с наилучшим контрастом вода-суша, результаты процедуры представлены в таблице 6.

Таблица 6 — Точность определения площади акватории озер

озеро	Landsat-8	Sentinel-2
Красиловское	89%	93%
Яровое	94%	98%

Необходимо отметить, что это оценочные значения, реальная погрешность измерения несколько выше, и должны учитываться все перечисленные факторы, влияющие на точность измерения. Для более точного расчета погрешности определения площади необходимы данные с более высоким пространственным разрешением или аэрофотоплан исследуемой местности [78, 124].

4.2 Оценка концентрации содержания хлорофилла «а» в поверхностном слое водоёмов

Цветение внутриконтинентальных водных объектов обусловлено интенсивным развитием в поверхностном слое водоемов, как правило, в летнее время клеток фитопланктона. В связи с этим актуальна разработка методов контроля этого процесса. Один из способов оценки интенсивности цветения основан на

определении концентрации хлорофилла «а», который позволяет получить объективную информацию об интенсивности фотосинтеза и биомассе фитопланктона и характеристиках качества поверхностного слоя воды [134–136]. В данном разделе показана оценка пространственного содержания хлорофилла «а» в поверхностном слое водоемов: Новосибирского водохранилища, озера Красиловского и Иткуля (Алтайский край) в 2017, 2018 гг. по данным космического аппарата Sentinel-2 и результатов локального отбора и анализа проб воды в сопряженных по времени экспедиционных исследованиях.

Спутниковые мультиспектральные данные позволяют производить оценку концентрации хлорофилла «а» в поверхностном слое водоёмов. В целом процедуру обработки спутниковой информации можно разделить на следующие этапы:

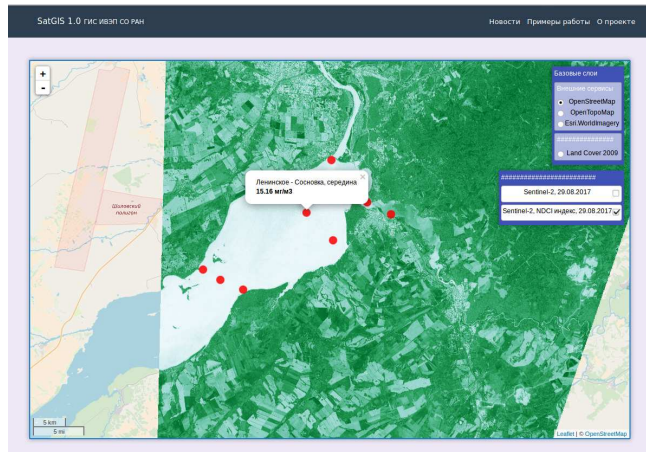
1. Атмосферная коррекция.
2. Вычисление спектрального индекса NDCI.
3. Вычисление концентрации содержания хлорофилла «а» в поверхностном слое воды.
4. Географическая привязка и экспорт полученных результатов в формат Geotiff.

Для реализации указанных этапов был использован вычислительный пакет ACOLITE, предназначенный для обработки данных Landsat (5/7/8) и Sentinel-2 (A/B). ACOLITE позволяет производить атмосферную коррекцию по алгоритму «Dark spectrum fitting» и содержит набор алгоритмов для определения концентрации хлорофилла «а» в поверхностном слое внутриконтинентальных водных объектов [130, 137]. Посредством программных интерфейсов данный вычислительный комплекс может работать в виде набора библиотек алгоритмов. На основе этого был разработан независимый модуль геоинформационной системы мониторинга параметров внутриконтинентальных водных объектов. Его работу можно разделить на следующие этапы. Вычисление спектрального индекса NDCI (Normalized Difference Chlorophyll Index), который учитывает различия в отражении в инфракрасной и зеленой областях электромагнитного спектра.

$$NDCI = \frac{Vegetation\ Red\ Edge_{b5} - Red_{b4}}{Vegetation\ Red\ Edge_{b5} + Red_{b4}}. \quad (4.2)$$

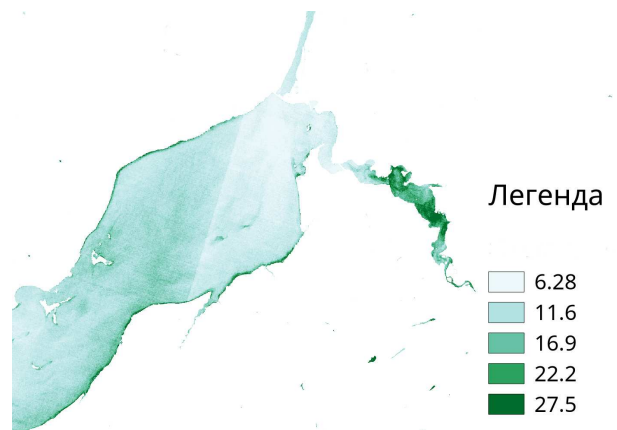
Индекс NDCI позволяет с относительно небольшими временными и вычислительными ресурсами оценить состояние поверхностного слоя водоемов,

данная процедура проста в технологической и программной реализации. Для вычисления концентрации хлорофилла был использован модуль chl_o2 , реализующий алгоритм отношения синего и зелёного спектральных каналов. На рисунке 4.4 показан фрагмент веб-интерфейса геоинформационной системы, в рамках которой были организованы вычислительные процессы для оценки содержания хлорофилла «а» в поверхностном слое водоемов [18].



а) Результат вычисления спектрального индекса NDCI по данным Sentinel-2, 29.08.2017.

Красными точками показаны места экспедиционных измерений концентрации содержания хлорофилла «а» в поверхностном слое водохранилища



б) Результат вычисления концентрации хлорофилла «а» при помощи пакета ACOLITE, алгоритм $chl-oc2$

Рисунок 4.4 — Визуализация вычисления концентрации хлорофилла «а»

Результаты определения хлорофилла по спутниковым данным и результаты вычисления NDCI сравнивались с данными экспедиционных измерений, которые проходили 16.08.2017. Сравнение показало довольно высокий коэффициент корреляции между результатами обработки спутниковых данных и экспедиционными измерениями $R_{NDCI} = 0.93$ и $R_{Sentinel-2} = 0.95$. Ниже представлена сводная таблица сравнения (таблица 7).

Таблица 7 — Сводная таблица сравнения экспедиционных измерений и результатов обработки спутниковых данных, Новосибирское водохранилище

Экспедиционные измерения, (mg/m^3 , 16.08.2017)	Sentinel-2, (mg/m^3 , 29.08.2017)
Минимальное = 6.99	Минимальное = 5.67
Максимальное = 36.35	Максимальное = 29.87
Среднее = 23.07	Среднее = 22.4

В таблицах 8 и 9 показаны средние значения измерений по области водоемов, где были произведены измерения. Некоторые расхождения между данными спутниковых измерений и экспедиционными может быть обусловлена спецификой водных объектов. Необходимо отметить, что точность оценки концентрации хлорофилла «а» в поверхностном слое зависит от атмосферных процессов в момент измерений, алгоритмов обработки данных и времени суток, в которое были произведены спутниковые измерения.

Таблица 8 — Концентрация хлорофилла «а» в поверхностном слое озера Иткуль по экспедиционным и спутниковым данным

Дата	Эксп., mg/m^3	Дата	Sentinel-2, mg/m^3
10.05.2018	1.8	11.05.2018	2.4
02.08.2018	6.1	03.08.2018	6.7
12.10.2018	7.1	12.10.2018	8.2

Таблица 9 — Концентрация хлорофилла «а» в поверхностном слое озера Красиловское по экспедиционным и спутниковым данным

Дата	Эксп., mg/m^3	Дата	Sentinel-2, mg/m^3
11.05.2018	3.0	11.05.2018	2.8
02.08.2018	10,0	03.08.2018	10.5
12.10.2018	35.9	12.10.2018	37.0

4.3 Определение установления и схода льда на водоемах

Мониторинг процессов формирования и разрушения ледового покрова на реках и водоёмах позволяет решать задачу прогнозирования масштабов прохождения паводков и образования ледовых заторов [138]. Поэтому существует потребность в заблаговременных и качественных гидрологических прогнозах стоков рек. Для решения этой проблемы необходимо совершенствовать систему получения и передачи информации о запасе воды и снега в речном бассейне в заинтересованные ведомства. Помимо наземных измерений и наблюдений, важное значение здесь имеют данные дистанционного зондирования Земли, которые позволяют определять точное местоположение и протяжённость ледового покрова и ледяных заторов, выявлять потенциально опасные участки русла, различные препятствия (острова, конусы выноса и т. п.), а также отслеживать начало ледостава и весеннего таяния [139].

Предварительным этапом при выявлении ледового покрова и открытой воды по снимку является создание векторной маски водных объектов, позволяющей ограничить область анализа и избежать тем самым некорректных результатов [140].

Мультиспектральные данные позволяют производить классификацию поверхностей путём построения индексных изображений. В частности, наиболее известный метод разделения пикселей снега (льда), воды и облаков — расчёт нормализованного разностного индекса снега NDSI (Normalized Differenced Snow Index). Существует два варианта расчёта NDSI.

$$NDSI_{SWIR} = \frac{R - SWIR}{R + SWIR}, \quad (4.3)$$

$$NDSI_{NIR} = \frac{R - NIR}{R + NIR}, \quad (4.4)$$

где $SWIR$ — значение сигнала в канале коротковолнового ИК-диапазона, NIR — значение сигнала в канале ближнего ИК-диапазона, R — значение сигнала в канале красного диапазона.

Технологически рассматриваемая задача в рамках ГИС решается следующим способом. В период межени 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. В данном случае значения индекса 0.42 и более — лед, значения меньше — открытая вода [141]. На рисунке 4.5 показан результат определения площади ледового покрова озера Иткуль. На исходном снимке КА Sentinel-2 результат определения площади озера располагается в виде векторного полигона и, в свою очередь, на нем расположен другой полигон — результат вычисления индекса NDSI. Площадь озера, согласно вычислению NDWI, составила 10.37 км². В таблице 10 показаны результаты определения динамики площади ледового покрова в период весеннего схода льда.



Рисунок 4.5 — Выделение ледового покрова на озере Иткуль, КА Sentinel-2 (30.04.2019)

Таблица 10 — Изменение площади ледового покрова озера Иткуль по данным Sentinel-2

Дата	Площадь ледового покрова, км ²	Отношение площади ледового покрова к площади озера, %
04.13.2019	10.30	99
30.04.2019	5.45	53
03.05.2019	0.60	6

На рисунке 4.6 представлен результат вычисления NDSI по данным Sentinel-2 для Новосибирского водохранилища. Видно, что до плотины ГЭС водохранилище покрыто льдом (значение индекса более 0.6), после плотины расположена полынья открытой воды (значение индекса 0 – 0.2).

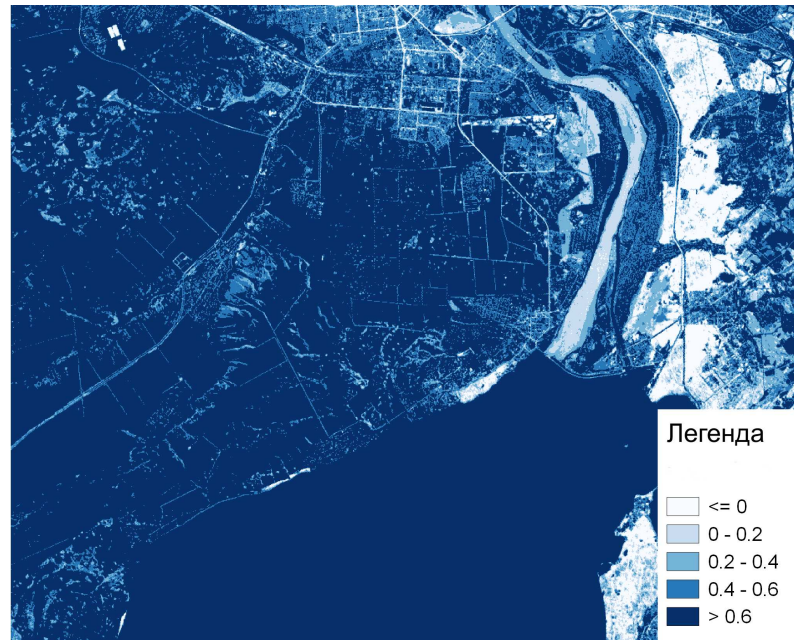


Рисунок 4.6 — Ледовая обстановка на Новосибирском водохранилище по данным Sentinel-2, 07.12.2016. Результат вычисления индекса $NDSI_{NIR}$

Выводы

1. Проверена и протестирована работоспособность интегрированной ГИС для ряда конкретных задач гидрологии внутриконтинентальных водных объектов, таких как:

1. Определение площади акватории водоёмов.
 2. Оценка концентрации содержания хлорофилла «а» в поверхностном слое водоёмов.
 3. Определение установления и схода льда на водоёмах.
2. Сделана оценка точности определения параметров водных объектов по спутниковым данным.

Основные результаты главы опубликованы в работах [10, 12, 15, 18, 21, 78, 120, 142–145].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований содержится решение задачи разработки геоинформационной веб-системы сбора и обработки гидрологических и гидробиологических данных о состоянии водоёмов.

Результаты диссертационных исследований позволяют сделать следующие основные выводы:

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 используются 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.

Список литературы

1. Решение VII Всероссийского гидрологического съезда от 13.01.2014 г. [Электронный ресурс]. — URL: <http://www.meteorf.ru/press/news/6572>, (дата обращения 10.09.2020).
2. *Crétau, J.F.* SOLS: A lake database to monitor in the Near Real Time water level and storage variations from remote sensing data / J.F. Crétau // *Advances in space research*. — 2011. — Vol. 47, no. 9. — Pp. 1497–1507.
3. *Курганович, К.А.* Использование водных индексов для оценки изменения площадей водного зеркала степных содовых озер юго-востока Забайкалья, по данным дистанционного зондирования / К.А. Курганович, Е.В. Носкова // *Вестник Забайкальского государственного университета*. — 2015. — № 6 (121). — С. 16–24.
4. *Лаврова, О.Ю.* Информационная система See the Sea: текущие возможности и перспективы развития / О.Ю. Лаврова, Е.А. Лупян, и др. // *"Информационные технологии в дистанционном зондировании Земли - RORSE 2018". ИКИ РАН*. — 2019. — С. 367–373.
5. *Андрианова, А.В.* Геоинформационная база данных для анализа пространственного распределения байкальских эндемичных амфипод в р. Енисей / А.В. Андрианова, О.Э. Якубайлик // *Вычислительные технологии*. — 2018. — Т. 23, № 4. — С. 5–14.
6. *Бычков, И.В.* Институциональное обеспечение реализации системного подхода к мониторингу уникальной экосистемы озера Байкал / И.В. Бычков, И.И. Максимова, А.Н. Кузнецова // *География и природные ресурсы*. — 2015. — № 4. — С. 43–52.
7. *Зиновьев, А.Т.* Геоинформационное обеспечение для решения гидрологических задач / А.Т. Зиновьев, О.В. Ловцкая, и др. // *Вычислительные технологии*. — 2014. — № 3. — С. 60–72.
8. *Ротанова, И.Н.* Геоинформационное обеспечение для решения гидрологических задач / И.Н. Ротанова, Ловцкая О.В., Ведухина В.Г. // *География и природопользование сиббири*. — 2017. — № 24. — С. 101–111.

9. *Ротанова, И.Н.* Анализ предпосылок наводнений в бассейне реки Чарыш с применением геоинформационного картографирования / И.Н. Ротанова, В.А. Обласов // *Интерэкспо ГЕО-Сибирь*. — 2016. — № 7. — С. 9–15.
10. *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.
11. *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. 763–768.
12. *Донцов, А.А.* Геоинформационная система регистрации гидрологических параметров внутриконтинентальных водных объектов / А.А. Донцов, И.А. Суторихин // *Интерэкспо Гео-Сибирь*. — 2018. — Т. 1, № 4. — С. 74–80.
13. *Донцов, А.А.* Геоинформационная система определения состояния внутриконтинентальных водных объектов / А.А. Донцов, И.А. Суторихин // *Ползуновский альманах*. — 2018. — № 4. — С. 118–122.
14. *Донцов, А.А.* Геоинформационная система для определения площади акватории озёр / А.А. Донцов, И.А. Суторихин // *Ползуновский альманах*. — 2016. — № 2. — С. 93–95.
15. *Донцов, А.А.* Данные дистанционного зондирования земли в задачах регистрации гидрофизических параметров внутриконтинентальных водных объектов / А.А. Донцов, И.А. Суторихин // *Водные и экологические проблемы Сибири и Центральной Азии труды III Всероссийской научной конференции с международным участием: в 4 томах*. — 2017. — С. 53–57.
16. *Донцов, А.А.* Спутниковая информация и ГИС технологии в задачах регистрации гидрологических параметров внутриконтинентальных водных объектов / А.А. Донцов, И.А. Суторихин // *Шаг в науку Материалы XVII конференции молодых ученых ИВЭП СО РАН. Ответственный редактор: В.И. Букатый, редколлегия: Д.М. Безматерных и другие; Институт водных и экологических проблем СО РАН*. — 2017. — С. 34–39.

17. *Донцов, А.А.* Геопортальная система мониторинга параметров внутриконтинентальных водных объектов / А.А. Донцов, И.А. Суторихин // *Международная научная конференция «Информационные технологии в исследовании биоразнообразия»: Тезисы докладов. - 2018. - Иркутск: ИДСТУ СО РАН.* — С. 67–68.
18. *Dontsov, A.A.* Geographic information system for bloom monitoring inland water bodies / A.A. Dontsov, I.A. Sutorihin, Frolenkov I.M. // *Limnology and Freshwater Biology.* — 2020. — no. 4(SI:7VBC). — Pp. 914–915.
19. *Донцов, А.А.* Геоинформационная веб-система сбора и обработки данных о состоянии озер и водохранилищ / А.А. Донцов, И.А. и др. Суторихин // *Ползуновский альманах.* — 2020. — № 4. — С. 34–38.
20. *Донцов, А.А.* Интегрированная геоинформационная система мониторинга состояния внутриконтинентальных водных объектов / А.А. Донцов, И.А. Суторихин, А.А. Коломейцев // *Сборник трудов всероссийской конференции с международным участием «Обработка пространственных данных в задачах мониторинга природных и антропогенных процессов (SDM-2019)».* — 2019. — С. 99–103.
21. *Донцов, А.А.* Автоматизированный мониторинг площадей акваторий озер и водохранилищ по спутниковым данным / А.А. Донцов, И.А. Пестунов, и др. // *Интерэкспо Гео-Сибирь.* — 2017. — Т. 4, № 2. — С. 38–45.
22. *Маркин, В.Н.* Некоторые вопросы организации мониторинга водных объектов в современных условиях / В.Н. Маркин, В.В. Шабанов // *Природообустройство.* — 2012. — № 3. — С. 70–77.
23. Водная стратегия Российской Федерации на период до 2020 года; утв. Правительством Российской Федерации от 27 августа 2009 г. No 1235-р. [Электронный ресурс]. — <http://www.admoblkaluga.ru/sub/priroda/ministerstvo/zadachi2009.php> (дата обращения 30.08.2020).
24. *Шикломанов, И.А.* Водные ресурсы, их использование и водообеспеченность в России: современные и перспективные оценки / И.А. Шикломанов, В.И. Бабкин, Балонишникова Ж.А. // *Водные ресурсы.* — 2011. — № 2. — С. 131–141.

25. *Баренбойм, Г.М.* Некоторые научно-технологические проблемы проектирования, создания и функционирования систем мониторинга водных объектов / Г.М. Баренбойм, Е.В. Веницианов, В.И. Данилов-Данильян // *Вода: химия и экология*. — 2008. — № 1. — С. 3–8.
26. *Frazier, P.S.* Water body detection and delineation with Landsat TM data / P.S. Frazier, Page K.J. // *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. — 2000. — Vol. 66, no. 12. — Pp. 1461–1467.
27. *Yuan, F.* Landcover classification and change analysis of the Twin Cities (Minnesota) Metropolitan Area by multitemporal Landsat remote sensing / F. Yuan, K. Sawaya // *Remote sensing of Environment*. — 2005. — no. 98. — Pp. 317–328.
28. *Курбатова, И.Е.* Использование данных космического мониторинга для оценки экологического состояния крупных речных водосборов / И.Е. Курбатова // *Соврем. пробл. дистанц. зондирования Земли из космоса*. — 2010. — № 2. — С. 157–166.
29. *Борзов, С.М.* Исследование эффективности классификации гиперспектральных спутниковых изображений природных и антропогенных территорий / С.М. Борзов, О.И. Потатуркин, А.О. Потатуркин, А.М. Федотов // *Автометрия*. — 2016. — № 1. — С. 3–14.
30. *Абросимов, А.В.* Использование данных ДЗЗ из космоса для мониторинга водных объектов / А.В. Абросимов, Б.А. Дворкин // *Геопрофи*. — 2009. — № 5. — С. 40–45.
31. Landsat Missions [Электронный ресурс]. — <https://landsat.usgs.gov> (дата обращения 10.09.2020).
32. Sentinels Scientific Data Hub [Электронный ресурс]. — <https://scihub.copernicus.eu/dhus> (дата обращения 30.09.2020).
33. Sentinel-2 [Электронный ресурс]. — <https://sentinel.esa.int> (дата обращения 10.09.2020).
34. Sentinel-1 technical guide [Электронный ресурс]. — <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-1-sar> (дата обращения 30.09.2020).

35. *Егоров, В.А.* Метод радиометрической коррекции искажений отражательных характеристик земного покрова в данных спутниковых измерений, вызванных влиянием рельефа местности / В.А. Егоров, С.А. Барталев // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса.* — 2016. — Т. 13, № 5. — С. 192–201.
36. *Молородов, Ю.И.* Сервисы геоинформационной системы сбора, хранения и обработки данных натурных наблюдений / Ю.И. Молородов, В.В. Смирнов, А.М. Федотов // *XI Всероссийская научная конференция «Электронные библиотеки: перспективные методы и технологии, электронные коллекции» (RCDL'2009) (Петрозаводск, Россия, 17.09-21.09. 2009).* — 2009. — С. 419–424.
37. *Постникова, П.В.* Проектирование базы данных гидробиологических показателей Красноярского водохранилища / П.В. Постникова, А.В. Коробко // *Образовательные ресурсы и технологии.* — 2016. — № 2 (14). — С. 287–292.
38. *Здоровеннов, Р.Э.* База данных «Течения в мелководном озере - 1» и возможности её практического использования / Р.Э. Здоровеннов, Н.И. Пальшин, и др. // *Труды Карельского научного центра РАН.* — 2018. — № 9. — С. 4–14.
39. *Потапов, В.П.* Использование данных дистанционного зондирования Земли для оценки антропогенного воздействия на водные объекты / В.П. Потапов, О.Л. Гиниятуллина, Н.В. Андреева // *Горный информационно-аналитический бюллетень.* — 2013. — № 6. — С. 465–474.
40. *Яковенко, Н.В.* ГИС-технологии как эффективный инструмент исследования водно-озерных объектов / Н.В. Яковенко, Д.С. Марков, Е.П. Туркина // *Современные проблемы науки и образования.* — 2014. — № 5.
41. *Якубайлик, О.Э.* Геоинформационная веб-система и приборно-измерительное обеспечение оперативной оценки загрязнения атмосферы / О.Э. Якубайлик, А.А. Кадочников, А.В. Токарев // *Автометрия.* — 2018. — Т. 54, № 3. — С. 39–46.

42. *Калмыков, А.А.* Разработка принципов построения комплексной системы оперативного мониторинга водных объектов и гидротехнических сооружений / А.А. Калмыков, В.И. Елфимов, и др. // *Записки Горного института*. — 2005. — С. 107–109.
43. Вода России [Электронный ресурс]. — <https://water-rf.ru> (дата обращения 21.09.2020).
44. *Барышникова, О.Н.* Физико-географическая характеристика комплексного учебно-научного стационара АлтГУ «Озеро Красилово» : учебное пособие. / О.Н. Барышникова, Н.Ф. Харламова, Козырева Ю.В. — Барнаул: Изд-во АлтГУ, 2013. — С. 112.
45. *Зуев, В.В.* Автономный многоканальный измерительный комплекс для регистрации метеорологических и гидрофизических параметров / В.В. Зуев, С.А. Кураков, др. // *Измерение, контроль, информатизация: Материалы XV международной научно-технической конференции. Изд-во АлтГУ, Барнаул*. — 2010. — С. 187–190.
46. *Суторихин, И.А.* База данных для ГИС «Аэрозоли Алтая» / И.А. Суторихин, Б.Н. Дмитриев // *Ползуновский вестник*. — 2014. — Т. 2. — С. 138–142.
47. *Зуев, В.В.* Измерительный комплекс для регистрации параметров окружающей среды на водном объекте / В.В. Зуев, И.А. Суторихин, др. // *Ползуновский вестник*. — 2014. — Т. 2. — С. 188–190.
48. *Балашов, И.В.* Организация автоматического получения наборов информационно-продуктов из центров архивации и распространения спутниковых и метеоданных / И.В. Балашов, О.А. Халикова, и др. // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. — 2013. — № 3. — С. 9–20.
49. *Матвеев, А.М.* Организация контроля за функционированием распределенных систем сбора, обработки и распространения спутниковых данных / А.М. Матвеев, А.А. Прошин. — 2009. — № 4. — С. 535.

50. *Андреев, М.В.* Построение автоматизированных систем сбора, хранения, обработки и представления спутниковых данных для решения задач мониторинга окружающей среды / М.В. Андреев, А.А. Галеев, и др. // *Солнечно-земная физика*. — 2004. — № 5. — С. 8–11.
51. *Землянов, И.В.* Использование геоинформационных технологий для оценки современных морфометрических характеристик водных объектов / И.В. Землянов // *Труды Государственного океанографического института*. — 2009. — № 212. — С. 260–271.
52. *Deeprasertkul, Prattana.* An internet gis system to support the water resource management / Prattana Deeprasertkul, Royol Chitradon // *Information Science*. — 2012. — Vol. 1, no. 1. — Pp. 61–66.
53. *Tsihrintzis, Vassilios A.* Use of geographic information systems (GIS) in water resources: a review / Vassilios A Tsihrintzis, Rizwan Hamid, Hector R Fuentes // *Water resources management*. — 1996. — Vol. 10, no. 4. — Pp. 251–277.
54. *Кадочников, А.А.* Сервис-ориентированные веб-системы для обработки геопространственных данных / А.А. Кадочников, О.Э. Якубайлик // *Вестник Новосибирского государственного университета. Серия: Информационные технологии*. — 2015. — № 1. — С. 37–45.
55. *Żaba, Tadeusz.* Integration of the water and sewage system model with the GIS application / Tadeusz Żaba, Izabela Piech // *Geomatics, Landmanagement and Landscape*. — 2020. — no. 1. — Pp. 143–154.
56. *Pekel, Jean-Francois.* High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes / Jean-Francois Pekel, Andrew Cottam // *Nature*. — 2016. — Vol. 540, no. 7633. — Pp. 418–422.
57. *Pekel, Jean-François.* Global Water Surface Dynamics: Toward a Near Real Time Monitoring Using Landsat and Sentinel Data / Jean-François Pekel, Alan Belward, Noel Gorelick // *AGUFM*. — 2017. — Vol. 2017. — Pp. GC11C–0742.

58. *Filipkowski1, Andrzej*. System for European Water Monitoring (SEWING) / Andrzej Filipkowski1, Zbigniew Brzozka1, Wojciech Wróblewski1 // *Informat-ics for Environmental Protection - Networking Environmental Information*. — 2005. — Pp. 49–56.
59. *Kliment, Tomas*. Geospatial information relevant to the flood protection available on the mainstream web / Tomas Kliment, Linda Galova, Renata Duraciova // *Slovak Journal of Civil Engineering*. — 2014. — Vol. 1. — P. 9–18.
60. Copernicus Emergency Management Servic. — <http://emergency.copernicus.eu> (дата обращения 14.10.2020).
61. Thematic Exploitation Platform – Hydrology TEP. — <https://hydrology-ter.eo.esa.int> (дата обращения 14.10.2020).
62. *O’Flynn1, B*. Experiences and recommendations in deploying a real-time, water quality monitoring system / B O’Flynn1, F Regan // *Measurement Science and Technology*. — 2010. — Vol. 21, no. 12. — P. 124004.
63. *Silva, Steven*. Web based water quality monitoring with sensor network: Employing ZigBee and WiMax technologies / Steven Silva, Nguyen Nghia, Valentina Tiporlini // *8th International Conference on High-capacity Optical Networks and Emerging Technologies, IEEE*. — 2011. — Pp. 19–21.
64. *Лазарева, В.И.* Автоматизация процесса обеспечения экологического мониторинга озера Байкал с применением современных ГИС и web-технологий / В.И. Лазарева, Н.М. Минеева, С.М. Жданова // *Современные технологии. Системный анализ. Моделирование*. — 2011. — № 1. — С. 82–87.
65. *Тихова, М.Ю.* Геоинформационная система гидрологического назначения в оренбургской области / М.Ю. Тихова, В.В. Влацкий // *Бюллетень Оренбургского научного центра УрО РАН (электронный журнал)*. — 2012. — № 1. — С. 1–5.
66. *Алексеев, В.В.* Геоинформационная система мониторинга водных объектов и нормирования экологической нагрузки / В.В. Алексеев, Н.И. Куракина, Н.В. Орлова // *журнал ArcReview*. — 2006. — № 1(36).

67. Андрианова, А.В. Геоинформационная веб-система для обеспечения гидро-биологического мониторинга на примере зообентоса р. Енисей / А.В. Андрианова, О.Э. Якубайлик // *Вычислительные технологии*. — 2016. — № 1. — С. 5–14.
68. Матузко, А.К. Разработка прикладных гис на основе технологий геопортала / А.К. Матузко, О.Э. Якубайлик // *Образовательные ресурсы и технологии*. — 2016. — № 2. — С. 202–209.
69. Д., Леффингуелл. Принципы работы с требованиями к программному обеспечению / Леффингуелл Д., Уидриг Д. — М: Вильямс, 2002. — С. 448.
70. Вигерс, Карл И. Разработка требований к программному обеспечению / Карл И. Вигерс. — М: Русская редакция, 2004. — С. 575.
71. Сербенюк, С. Н. Картография и геоинформатика их взаимодействие / С. Н. Сербенюк. — Москва: МГУ, 1990. — С. 160.
72. 610.12-1990-IEEE Standard Glossary of Software Engineering Terminology [Электронный ресурс]. — <https://ieeexplore.ieee.org/document/159342> (дата обращения 20.08.2020).
73. Ларман, К. Применение UML 2.0 и шаблонов проектирования. Введение в объектно-ориентированный анализ и проектирование. 3-е издание: Пер. с англ / К. Ларман. — М: Вильямс, 2013. — С. 736.
74. ГОСТ Р 52155-2003. Географические информационные системы федеральные, региональные, муниципальные. Общие технические требования. — Введ. 2004-07-01.— М.: Изд-во стандартов, 2004.
75. ГОСТ 15971-90. Системы обработки информации. Термины и определения. — Введ. 1992-01-01.— М.: Изд-во стандартов, 1992.
76. Open Geospatial Consortium, OGC(R) [Электронный ресурс]. — <http://www.opengeospatial.org> (дата обращения 20.09.2020).
77. OpenGIS Implementation Specification for Geographic information - Simple feature access - Part 1: Common architecture [Электронный ресурс]. — <http://www.opengeospatial.org/standards/sfa> (дата обращения 30.07.2020).

78. *Донцов, А.А.* Определение площади акватории озер по данным дистанционного зондирования земли и ГИС-технологий / А.А. Донцов, И.А. Суто-рихин // *Естественные и технические науки*. — 2016. — № 11(101). — С. 106–109.
79. *Edmondson, Vikki.* A smart sewer asset information model to enable an ‘Internet of Things’ for operational wastewater management / Vikki Edmondson, Martin Cerny // *Automation in Construction*. — 2018. — Vol. 91. — Pp. 193–205.
80. *Галимьянов, А. Ф.* Архитектура информационных систем / А. Ф. Галимьянов, Ф. А. Галимьянов. — Казань: Казан. ун-т, 2019. — С. 117.
81. PostgreSQL [Электронный ресурс]. — <https://www.postgresql.org> (электронный ресурс 30.08.2020).
82. *Olive, Antoni.* Conceptual Modeling of Information Systems / Antoni Olive. — Springer, 2007. — P. 480.
83. *Ivar, Jacobson.* Unified Modeling Language User Guide, The, Second Edition / Jacobson Ivar, Rumbaugh James, Booch Grady. — Addison-Wesley Professional, 2005. — P. 496.
84. *Stair, Ralph M.* Fundamentals of Information Systems 7th edition / Ralph M. Stair. — Springer, 2013. — P. 480.
85. *Галимьянов, А.Ф.* Информационные ресурсы и системы: реализация, моделирование, управление: монография / А.Ф. Галимьянов, Ф.А. Галимьянов. — М.: ТПК Альянс, 1996. — С. 406.
86. *Russ, Miles.* Learning UML 2.0: A Pragmatic Introduction to UML / Miles Russ, Hamilton Kim. — O’Reilly Media, Inc, 2006. — P. 290.
87. *Butler, G.* Analyzing the logical structure of data flow diagrams in software documents / G. Butler, P. Grogono // Proceedings of 3rd International Conference on Document Analysis and Recognition. — Vol. 2. — 1995. — Aug. — Pp. 575–578.

88. *Blokdyk, Gerardus*. Business And Information Systems Engineering A Complete Guide - 2020 Edition / Gerardus Blokdyk. — Emereo Publishing, 2020. — P. 130.
89. *Кадочников, А.А.* Разработка программных средств сбора и визуализации данных наблюдений для геопортала Института вычислительного моделирования СО РАН / А.А. Кадочников, О.Э. Якубайлик // *Вестник Новосибирского государственного университета. Серия: Информационные технологии*. — 2014. — Т. 12, № 4. — С. 23–30.
90. *Zlobin, Gennadiy*. Learning Python Design Patterns / Gennadiy Zlobin. — Packt, 2013. — P. 100.
91. *Матвеев, А.Г.* Система управления контентом геоинформационного веб-портала «Геофреймворк» / А.Г. Матвеев, О.Э. Якубайлик. — 2013. — № 6.
92. *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 (81). — С. 172–175.
93. *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(81). — С. 172–175.
94. Python language [Электронный ресурс]. — <https://www.python.org> (дата обращения 20.10.2020).
95. *Jankowski, Piotr*. Geo-questionnaire: A method and tool for public preference elicitation in land use planning / Piotr Jankowski, Michał Czepkiewicz // *Transactions in GIS*. — 2016. — Vol. 20, no. 6. — Pp. 903–924.
96. *Ларман, К.* Разработка геоприложений на языке Python / пер. с англ. А. В. Логунова / К. Ларман. — М: ДМК Пресс, 2017. — С. 446.
97. *Hillar, Gaston C*. Django RESTful Web Services: The easiest way to build Python RESTful APIs and web services with Django / Gaston C. Hillar. — Paperback, 2018. — P. 326.
98. *Carreira, Pablo*. Geospatial Development By Example with Python / Pablo Carreira. — Paperback, 2016. — P. 340.

99. *Simon, Moncrieff*. An open source, server-side framework for analytical web mapping and its application to health / Moncrieff Simon, West Geoff // *International Journal of Digital Earth*. — 2014. — Vol. 7. — Pp. 294–315.
100. Shapely [Электронный ресурс]. — <https://github.com/Toblerity/Shapely> (дата обращения 30.08.2020).
101. OpenLayers: Free Maps for the Web [Электронный ресурс]. — <http://openlayers.org> (дата обращения 23.10.2020).
102. Leaflet [Электронный ресурс]. — <https://leafletjs.com> (дата обращения 23.09.2020).
103. Creation of virtual environments. [Электронный ресурс]. — <https://docs.python.org/3/library/venv.html> (дата обращения 10.09.2020).
104. Mapping Objects to Relational Databases: O/R Mapping In Detail [Электронный ресурс]. — <http://www.agiledata.org/essays/mappingObjects.html>.
105. Spatial and Geographic objects for PostgreSQL [Электронный ресурс]. — <https://postgis.net> (дата обращения 30.08.2020).
106. MapServer Documentation [Электронный ресурс]. — <http://mapserver.org/documentation.html> (дата обращения 23.09.2020).
107. Sentinelsat [Электронный ресурс]. — <https://rupi.org/project/sentinelsat> (дата обращения 23.10.2020).
108. Celery: Distributed Task Queue [Электронный ресурс]. — <http://www.celeryproject.org/> (дата обращения 14.10.2020).
109. RabbitMQ [Электронный ресурс]. — <https://www.rabbitmq.com/> (дата обращения 10.09.2020).
110. Bootstrap [Электронный ресурс]. — <https://getbootstrap.com/> (дата обращения 30.09.2020).
111. Chart [Электронный ресурс]. — <http://chartjs.org/> (дата обращения 23.09.2020).

112. *Li, Zhenlong*. An optimized framework for seamlessly integrating OGC Web Services to support geospatial sciences / Zhenlong Li, Chaowei Phil Yang // *International Journal of Geographical Information Science*. — 2011. — Vol. 25, no. 4. — Pp. 595–613.
113. *Pautasso, Cesare*. RESTful Web Services: Principles, Patterns, Emerging Technologies / Cesare Pautasso. — New York, NY: Springer New York, 2014. — Pp. 31–51.
114. Open API Initiative [Электронный ресурс]. — <https://www.openapis.org> (дата обращения 20.09.2020).
115. Hypertext Transfer Protocol (HTTP) Status Code Registry [Электронный ресурс]. — <http://www.iana.org/assignments/http-status-codes/http-status-codes.xhtml> (дата обращения 21.09.2020).
116. *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.
117. *Донцов, А.А.* ГИС технологии и данные дистанционного зондирования земли в задачах регистрации гидрологических параметров внутриконтинентальных водных объектов / А.А. Донцов, И.А. Суторихин // *Современные проблемы водохранилищ и их водосборов Труды VI Международной научно-практической конференции. В 3-х томах. Научные редакторы А.Б. Китаев, О.В. Ларченко, С.А. Двинских*. — 2017. — С. 56–59.
118. *Донцов, А.А.* ГИС технологии и данные дистанционного зондирования земли в задачах регистрации гидрологических параметров внутриконтинентальных водных объектов / А.А. Донцов, И.А. Суторихин // *Современные проблемы водохранилищ и их водосборов Труды VI Международной научно-практической конференции. В 3-х томах. Научные редакторы А.Б. Китаев, О.В. Ларченко, С.А. Двинских*. — 2017. — С. 56–59.

119. *Донцов, А.А.* Специализированная геоинформационная система мониторинга внутренних водных ресурсов / А.А. Донцов, И.А. Суторихин // *Тезисы докладов Всероссийской научной конференции «Мониторинг состояния и загрязнения окружающей среды. Основные результаты и пути развития»: Москва, 20-22 марта 2017 г.* — 2017. — С. 372–373.
120. *Донцов, А.А.* Гидрологические параметры рек и водоёмов Западной Сибири. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № RU 2018621130, заявка 2018620418, дата рег. 11.04.2018, опубл. 24.07.2018 / А.А. Донцов, И.А. Суторихин. — М.: Роспатент, 2018.
121. *Суторихин, И.А.* Гидрооптические параметры водоёмов Западной Сибири. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № RU 2018621910, заявка 2018621374, дата рег. 04.10.2018, опубл. 03.12.2018 / И.А. Суторихин, А.А. Донцов, и др. — М.: Роспатент, 2018.
122. *Донцов, А.А.* Технологии исследования окружающей среды на основе геопортальных систем и данных дистанционного зондирования / А.А. Донцов, Н.В. Волков // *Труды молодых ученых Алтайского государственного университета.* — 2013. — № 10. — С. 133–135.
123. *Лямина, В.А.* Использование методов ГИС и ДЗ для мониторинга площади озёр и солончаков на территории юга Западной Сибири / В.А. Лямина, Н.В. Глушкова, и др. // *Интерэкспо Гео-Сибирь.* — 2010. — Т. 4, № 2. — С. 1–12.
124. *Корниенко, С. Г.* Оценка погрешности измерения площади водоёмов в криолитозоне по данным космической съёмки различного пространственного разрешения / С. Г. Корниенко // *Методы исследования Криосферы. Криосфера Земли.* — 2014. — Т. XVIII, № 4. — С. 86–93.
125. *Sun, F.* Comparison and improvement of methods for identifying waterbodies in remotely sensed imagery / F. Sun, W. Sun // *International journal of remote sensing.* — 2012. — Vol. 33(21). — Pp. 6854–6875.
126. *Рылов, С.А.* Определение площадей озёр по данным со спутников серии Sentinel-2 / С.А. Рылов, И.А. Пестунов // *Журнал СФУ. Техника и технологии.* — 2019. — № 12(5). — С. 526–535.

127. *McFeeters, S.K.* The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features / S.K. McFeeters // *International journal of remote sensing*. — 1996. — Vol. 17, no. 7. — Pp. 1425–1432.
128. *Ji, L.* Analysis of dynamic thresholds for the normalized difference water index / L. Ji, L. Zhang, B. Wylie // *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. — 2009. — Vol. 75, no. 11. — Pp. 1307–1317.
129. *Gedik, E.* A new robust method for bridge detection from high resolution electro-optic satellite images / E. Gedik, et al // *Proceedings of the 4th GEOBIA*. — 2012. — Pp. 298–302.
130. GDAL - Geospatial Data Abstraction Library [Электронный ресурс]. — <http://www.gdal.org> (дата обращения 23.10.2020).
131. Numpy and Scipy Documentation [Электронный ресурс]. — <http://docs.scipy.org/doc> (дата обращения 20.09.2020).
132. *Garrard, Chris.* Geoprocessing with Python / Chris Garrard. — Manning, 2016. — P. 360.
133. *Congalton, R.* Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices / R. Congalton, K. Green. — Boca Raton, FL: CRC Press, 2009. — P. 200.
134. *Сухоруков, Б.Л.* Оценка трофности водных объектов по данным дистанционной спектроскопии высокого разрешения видимого диапазона / Б.Л. Сухоруков, Т.Е. Ковалева, И.В. Новиков // *Водные ресурсы*. — 2017. — № 1. — С. 79–90.
135. *Boronina, L.* Effectiveness of the automation selection of water treatment technology in a particular water source / L. Boronina, P. Sadchikov // *Advanced Materials Research*. — 2014. — Vol. 1073-1076. — Pp. 1039–1042.
136. *Лазарева, В.И.* Пространственное распределение планктона в водохранилищах верхней и средней Волги в годы с различными термическими условиями / В.И. Лазарева, Н.М. Минеева, С.М. Жданова // *Поволжский экологический журнал*. — 2012. — № 4. — С. 394–407.

137. ACOLITE [Электронный ресурс]. — <https://odnature.naturalsciences.be> (дата обращения 23.10.2020).
138. *Магрицкий, Д. В.* Опасные гидрологические явления и процессы в устьях рек: вопросы терминологии и классификации / Д. В. Магрицкий // *Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник)*. — 2016. — № 2. — С. 35–61.
139. *Бузин, В.А.* Методические рекомендации по предотвращению образования ледовых заторов на реках Российской Федерации и борьбе с ними / В.А. Бузин, А.Г. Василевский, А.Б. Векслер. — 2004.
140. *Аншаков, Г.П.* Использование мульти- и гиперспектральных данных дистанционного зондирования для автоматизированного мониторинга рек и водоёмов в весенний период / Г.П. Аншаков, Ю.Н. Журавель, А.В. Ращупкин // *Компьютерная оптика*. — 2015. — № 2. — С. 224–233.
141. Sentinel-2 technical guide. [Электронный ресурс]. — <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/technical-guides> (дата обращения 10.09.2020).
142. *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.
143. *Донцов, А.А.* ML Geo processing. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2017617154, заявка 2017611248, дата рег. 27.05.2017 / А.А. Донцов, И.А. Суторихин. — М.: Роспатент, 2017.
144. *Донцов, А.А.* Спутниковая информация и гис в задачах экологического мониторинга внутриконтинентальных водоемов / А.А. Донцов, И.А. Суторихин // *В сборнике: Материалы Международной конференции «Экологически безопасные технологии природообустройства и водопользования: теория и практика», посвященной 25-летию программы УНИТВИН / Кафедры ЮНЕСКО*. — 2017. — С. 76–81.

145. *Донцов, А.А.* Спутниковые данные в задачах определения параметров внутриконтинентальных водных объектов / *А.А. Донцов, И.А. Суторихин, А.А. Коломейцев // Тезисы докладов Международной конференции «Вычислительная математика и математическая геофизика», посвященной 90-летию со дня рождения академика А.С. Алексеева. Новосибирск, 8–12 октября 2018 г. — 2018. — С. 89.*
146. Celery Periodic Tasks backed by the Django ORM [Электронный ресурс]. — <https://github.com/celery/django-celery-beat> (дата обращения 10.10.2020).

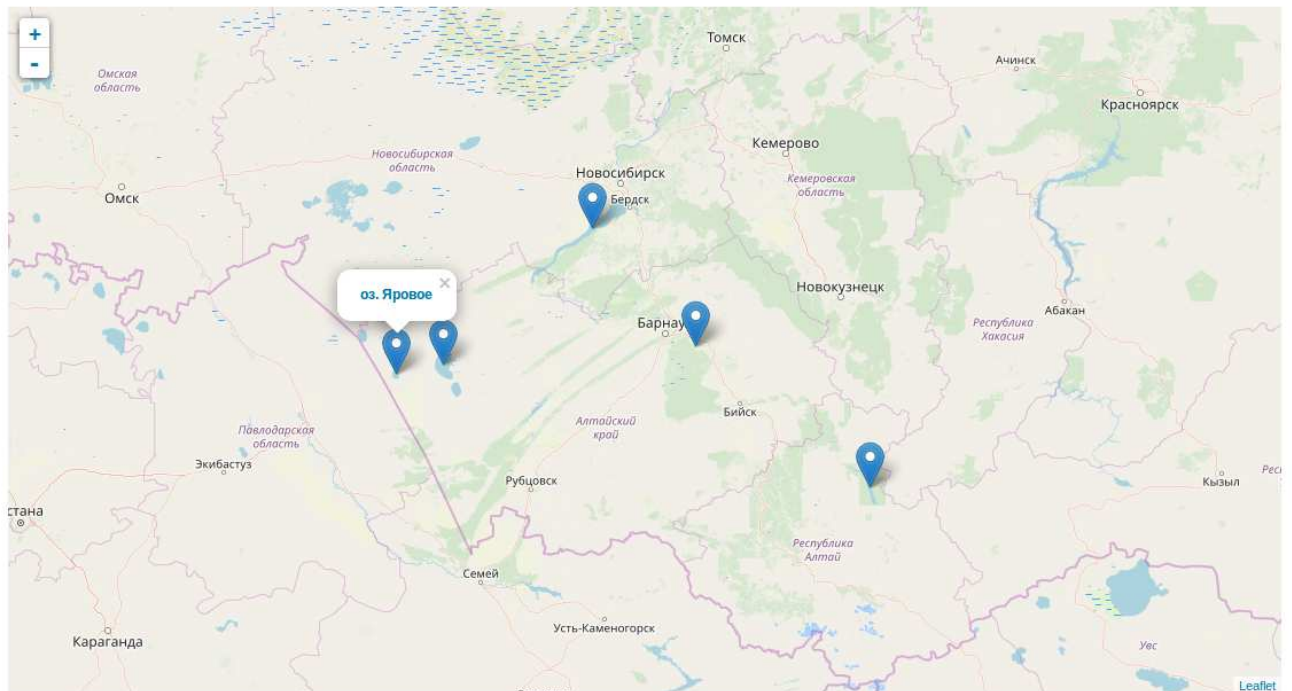
Приложение А

Информационная система

В рамках диссертационного исследования автором была разработана геоинформационная веб-система сбора и обработки гидрологических и гидробиологических данных. Она предназначена для решения задач, связанных со сбором, обработкой, хранением и представлением результатов измерения параметров внутриконтинентальных водных объектов.

Многие функциональные возможности ГИС уже были описаны в предыдущих главах диссертации. Данное приложение предназначено для дополнения этой информации, демонстрации интерфейсов пользователя и администратора ГИС.

Публичный веб-интерфейс. Работа пользователей с ГИС начинается с главной (стартовой) страницы веб-интерфейса, которая показана на рисунке А.1. В верхней части расположено навигационное меню, при помощи которого можно перейти к списку водных объектов (вкладка «Водные объекты») или получить информацию о системе и её документацию (вкладка «О проекте»). В центре располагается веб-карта, основой которой является слой данных, предоставляемый открытым географическим проектом Open Street Map. На карте маркерами отмечены водные объекты, для которых происходит сбор данных, При клике мышью по маркеру можно перейти на страницу водного объекта. Под картой находится блок новостей — администратор информационной системы имеет возможность публиковать текстовые новости. Снизу «футер» на котором есть меню, дублирующее функционал верхнего меню, а так же ссылка на GitHub репозиторий исходного кода проекта (<https://github.com/alexdontsov/satgis>).



Новости

Водохозяйственная обстановка 14.12.2018

Режим работы Новосибирского водохранилища: приток 560 м³/с, сброс 654 м³/с, уровни на 08-00: средний 112,37 мБС (-1 см/сут.), у плотины гидроузла 112,39 мБС; уровень воды р.Обь в г.Новосибирске составляет 91,21 мБС (-5 см) изменение за сутки -4 см. Сведения о водности: в бассейне Верхней и Средней Оби водность средняя. Проблем с водообеспечением в зоне деятельности Верхне-Обского БВУ - нет.

[подробнее...](#)

Водохозяйственная обстановка 28.05.2018

Режим работы Новосибирского водохранилища: приток 4180 м³/с, сброс 4206 м³/с, уровни на 08-00: средний 112,72 мБС (-2 см/сут), у плотины гидроузла 112,72 мБС; уровень воды р.Обь в г.Новосибирске составляет 94,78 мБС (352см) изменение за сутки +2 см.

[подробнее...](#)
[Все новости >>>](#)

SIBWATER 1.0

Web-платформа регистрации гидрологических параметров
внутриконтинентальных водных объектов.

МЕНЮ

Водные объекты
О проекте
Github

© 2018 Copyright: sibwater.ict.nsc.ru

Рисунок А.1 — Стартовая страница веб-интерфейса информационной системы

Страница, показанная на рисунке А.2 содержит список водных объектов. В этом разделе пользователь может ознакомиться с перечнем водных объектов для которых производится сбор данных в ГИС.

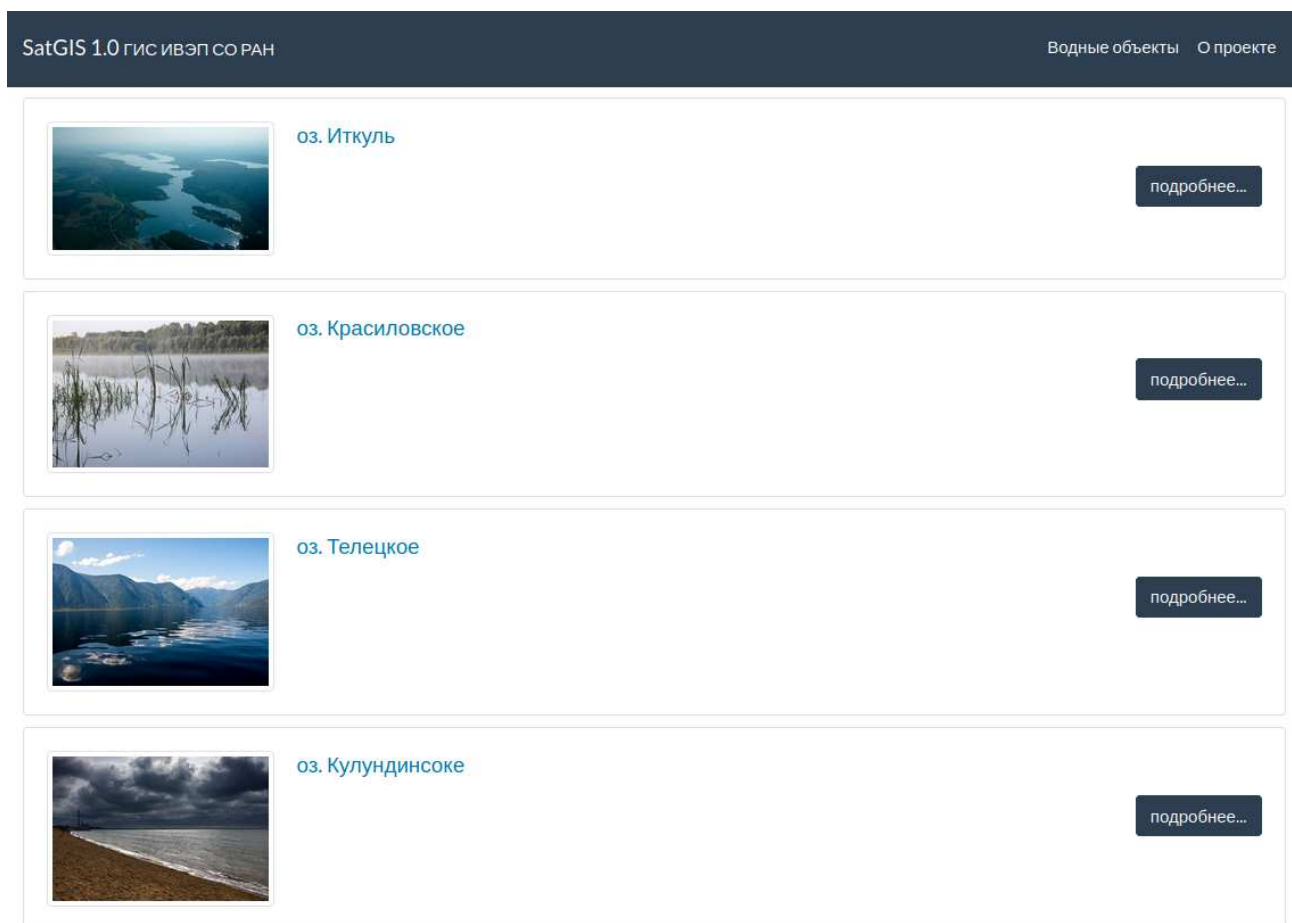
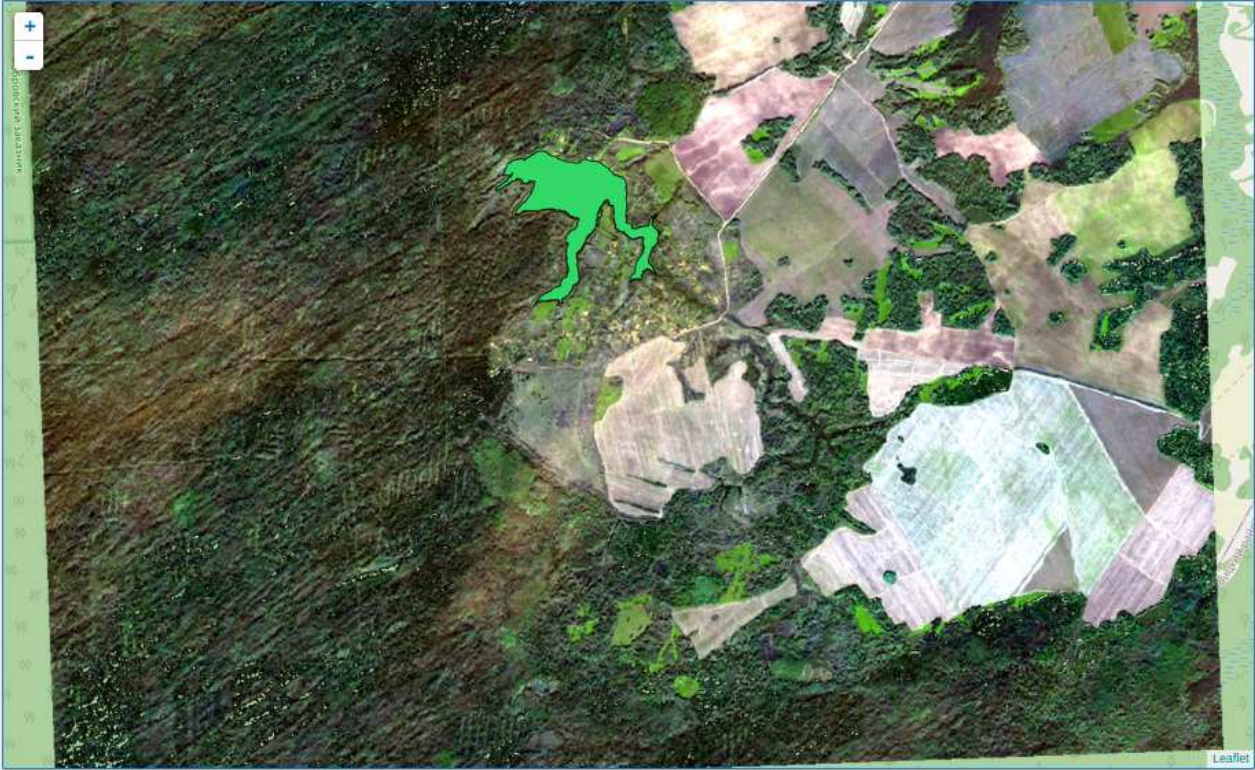


Рисунок А.2 — Фрагмент страницы списка водных объектов

Раздел водного объекта состоит из веб-карты на которую, для визуализации, пользователь может добавлять наборы данных. Доступные данные расположены под картой где есть две вкладки «Спутниковые данные» и «Натурные данные & АПИК» (рисунок А.3) . «Спутниковые данные» содержат список обработанных для этого водного объекта данных. Это могут быть растровые изображения или векторные полигоны. Чтобы добавить снимок на карту нужно отметить флаг checkbox возле его названия. Так же можно добавлять на карту результаты экспедиционных измерений.

SatGIS 1.0 ГИС ИВЭП СО РАН Водные объекты О проекте



Спутниковые данные Натурные данные & АПИК

# id	Слой	Параметр	Формат	Дата
49	<input checked="" type="checkbox"/> S2A_MSIL2A_20190927T052651_N0213_R105_T45UUU_20190927T094013	0.69 км2, NDWI, площадь	vector	27 сентября 2019 г. 12:02
48	<input checked="" type="checkbox"/> S2A_MSIL2A_20190927T052651_N0213_R105_T45UUU_20190927T094013	RGB	raster	27 сентября 2019 г. 12:02
32	<input type="checkbox"/> S2A_MSIL1C_20181204T054211_N0207_R005_T44UQE_20181204T064752	Комбинация каналов 4-3-2	raster	4 декабря 2018 г. 12:00
33	<input type="checkbox"/> S2A_MSIL1C_20181204T054211_N0207_R005_T44UQE_20181204T064752	NDSI	raster	4 декабря 2018 г. 12:00
34	<input type="checkbox"/> S2A_MSIL1C_20180927T052651_N0213_R105_T45UUU_20180927T094013	NDWI	raster	27 сентября 2018 г. 12:02

Рисунок А.3 — Страница водного объекта

Данные наземных измерительных комплексов и экспедиционных натуральных наблюдений визуализируются, аналогичным образом на веб-карте ГИС, а так же в виде таблиц и графиков. На рисунке А.4 показан пример отображения данных измерительного комплекса АПИК. Для получения информации пользователю необходимо указать измеряемый параметр и период за который ему нужны данные.

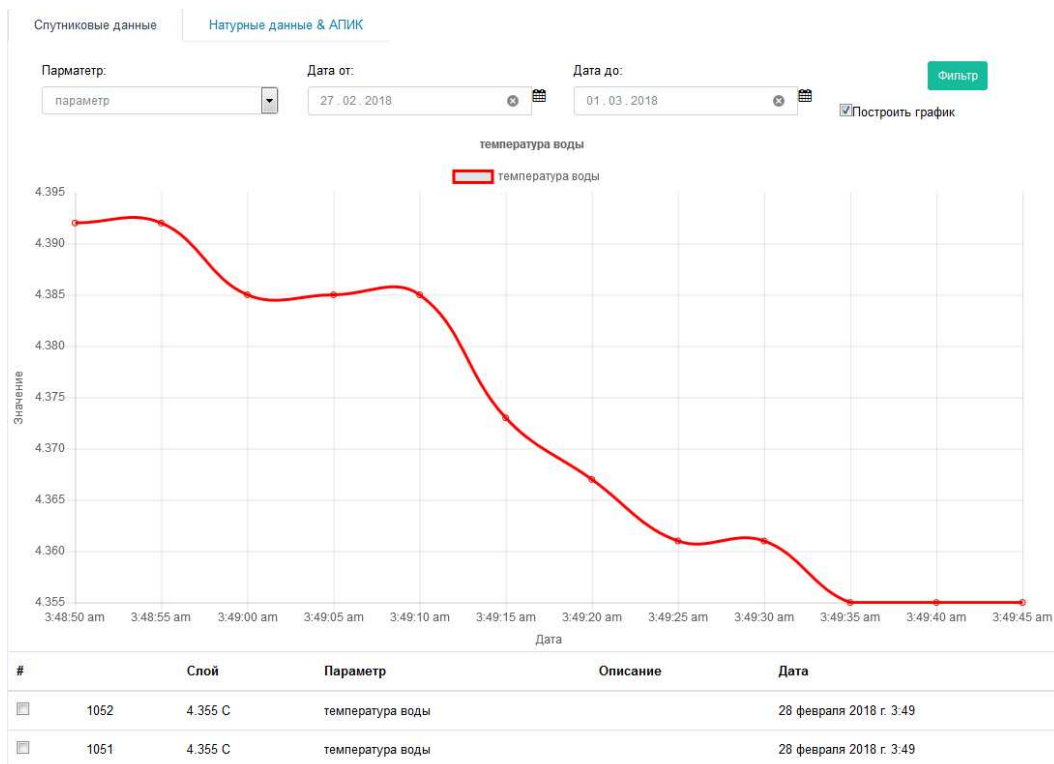


Рисунок А.4 — Пример визуализации данных измерительного комплекса АПИК

Панель администрирования. Для получения доступа к панели администрирования, необходимо авторизоваться при помощи формы, которая доступна по адресу <http://sibwater.ict.nsc.ru/admin/>, затем пользователь попадает в закрытый раздел интерфейса, который показан на рисунке А.5. Слева располагаются основные блоки компонентов системы, а справа выведена история последних операций пользователей.

Основные компоненты ГИС, доступные через панель администрирования представлены ниже.

1. Модуль управления вычислительными задачами (Periodic Tasks).
2. Модуль управления векторными полигонами, загруженными в базу данных (Shapeeditor)
3. Компонент, позволяющий осуществлять управление пользователями и группами пользователей, а так же настройку разграничения прав доступа к разделам ГИС (Пользователи и группы).
4. Модуль «Приложение» — является основным компонентом, его главные функции заключаются в следующем:
 - а) Редактирование списка водных объектов, для которых осуществляется мониторинг.

- б) Управление данными, загруженными в систему.
- в) Управление списком измеряемых параметров водных объектов.
- г) Настройка доступа к удаленным источникам данных.
- д) Управление результатами обработки данных.

SibWater 1.0

The screenshot displays the administration interface for SibWater 1.0, organized into several sections:

- PERIODIC TASKS:** Includes Crontabs, Intervals, Periodic tasks, and Solar events, each with 'Добавить' (Add) and 'Изменить' (Edit) options.
- SHAPEEDITOR:** Includes Attribute values, Attributes, Features, and Shapefiles, each with 'Добавить' (Add) and 'Изменить' (Edit) options.
- ПОЛЬЗОВАТЕЛИ И ГРУППЫ (Users and Groups):** Includes Группы (Groups) and Пользователи (Users), each with 'Добавить' (Add) and 'Изменить' (Edit) options.
- ПРИЛОЖЕНИЕ (Application):** Includes Водные объекты (Water objects), Единицы измерения (Units), Загруженные данные (Loaded data), Измерения параметров (Parameter measurements), Источники данных (Data sources), Новости (News), Параметры (Parameters), and Слои данных (Data layers), each with 'Добавить' (Add) and 'Изменить' (Edit) options.
- ПРОСТЫЕ СТРАНИЦЫ (Simple Pages):** Includes Простые страницы (Simple pages) with 'Добавить' (Add) and 'Изменить' (Edit) options.

On the right side, there is a panel titled 'Последние действия' (Recent Actions) containing a list of 'Мои действия' (My Actions):

- S2A_MSIL1C_20181207T055221_N водохранилище (Data layer)
- Получение данных, Sentinel-2, NDSI: every day (Periodic task)
- Получение данных, Sentinel-2, NDSI: every day (Periodic task)
- every day (Interval)
- Users (Group)
- every 2 days (Interval)
- 30 2 * * * (m/h/d/dM/MY) Asia/Barnaul (Crontab)
- 30 2 * * * (m/h/d/dM/MY) UTC (Crontab)
- dawn_astronomical (0.000002, 0.000002) (Solar event)
- dawn_astronomical (0.000002, 8.000002) (Solar event)

Рисунок А.5 — Панель администрирования ГИС

Модуль управления вычислительными задачами основан на библиотеке Celery, которая предназначена для организации и управления распределенными

очередями вычислительных задач [108]. Для связки Celery и платформы Django был использован пакет `django-celery-beat`, который позволяет организовать мониторинг и управление задачами в панели администрирования Django [146]. Данный пакет формирует раздел управления, генерирует необходимые формы.

Основные функции данного раздела перечислены ниже:

1. Формирование расписание задач в формате Crontab;
2. Временные интервалы с периодичностью которых можно устанавливать запуски вычислительных задач;
3. Редактирование задач.

Форма создания/редактирования задачи содержит следующие поля:

1. Название задачи;
2. Выпадающий список со всеми доступными вычислительными модулями;
3. Кнопка включения или выключения задачи;
4. Описание задачи;
5. Расписание выполнения задачами;
6. Аргументы.

Приложение Б

Акты и свидетельства

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО
о государственной регистрации базы данных

№ 2018621910

Гидрооптические параметры водоёмов Западной Сибири

Правообладатель: **Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт водных и экологических проблем Сибирского отделения Российской академии наук (ИВЭП СО РАН) (RU)**

Авторы: **Суторихин Игорь Анатольевич (RU), Донцов Александр Андреевич (RU), Коломейцев Андрей Алексеевич (RU), Литвиненко Светлана Александровна (RU), Фроленков Игорь Михайлович (RU)**

Заявка № **2018621374**
Дата поступления **04 октября 2018 г.**
Дата государственной регистрации
в Реестре баз данных **03 декабря 2018 г.**

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности



Г.П. Ильев



Рисунок Б.1 — Свидетельство о государственной регистрации базы данных.
Гидрооптические параметры водоёмов Западной Сибири

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО
о государственной регистрации базы данных

№ 2018621130

Гидрологические параметры рек и водоёмов Западной Сибири

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт водных и экологических проблем Сибирского отделения Российской академии наук (ИВЭП СО РАН) (RU)*

Авторы: *Донцов Александр Андреевич (RU),
Суторихин Игорь Анатольевич (RU)*

Заявка № **2018620418**
Дата поступления **11 апреля 2018 г.**
Дата государственной регистрации
в Реестре баз данных **24 июля 2018 г.**



*Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*

 **Г.П. Ивлиев**

Рисунок Б.2 — Свидетельство о государственной регистрации базы данных.
Гидрологические параметры рек и водоёмов Западной Сибири

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2017617154

«ML Geo processing»

Правообладатель: **Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт водных и экологических проблем Сибирского отделения Российской академии наук (RU)**

Авторы: **Донцов Александр Андреевич (RU),
Суторихин Игорь Анатольевич (RU)**



Заявка № **2017611248**

Дата поступления **15 февраля 2017 г.**

Дата государственной регистрации
в Реестре программ для ЭВМ **27 июня 2017 г.**

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

 **Г.П. Ивлиев**

Рисунок Б.3 — Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. ML Geo processing



ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ВОДНЫХ
РЕСУРСОВ
ВЕРХНЕ-ОБСКОЕ БАСЕЙНОВОЕ
ВОДНОЕ УПРАВЛЕНИЕ
(Верхне-Обское БВУ)

**ОТДЕЛ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ
ПО АЛТАЙСКОМУ КРАЮ**

656056, г. Барнаул, ул. Пролетарская, 61
телефон (385-2) 63-22-00
факс 63-22-47
E-mail: altaiwater22@mail.ru

от « 24 » мая 2018 г. № 07-05/458

Справка

об использовании результатов кандидатской диссертации Донцова
Александра Андреевича «Геоинформационная веб-система сбора и
обработки гидрологических и гидробиологических данных о состоянии
водоёмов»

Настоящей справкой подтверждаю, что выполненные в рамках диссертационной работы А.А. Донцова исследования и их практическая реализация в виде программного комплекса геоинформационной системы используются в Верхне-Обском бассейновом водном управлении Федерального агентства водных ресурсов для определения площадей акваторий озер и водохранилищ на территории Алтайского края, регистрации образования песчаных наносов в виде побочней и осередков в руслах рек, мониторинга установления и схода ледового покрова на водоемах и фиксации изменения береговой линии рек.

Заместитель руководителя Управления –
начальник Отдела



В.И. Кормаков

Рисунок Б.4 — Справка об использовании результатов диссертационного исследования в Верхне-Обском бассейновом водном управлении Федерального агентства водных ресурсов

**ООО «ЦЕНТР ИНЖЕНЕРНЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ»**

656031, г. Барнаул 31 ул. Папанинцев, 129
Тел.: (3852) 38-35-85 Факс: (3852) 38-36-00
E-mail: jorov52@mail.ru

от 16.07.2018 № 294/07-18

СПРАВКА

об использовании результатов кандидатской диссертации Донцова
Александра Андреевича «Геоинформационная веб-система сбора и
обработки гидрологических и гидробиологических данных о состоянии
водоёмов»

Настоящей справкой подтверждаю, что выполненные в рамках диссертационной работы А.А. Донцова исследования и их практическая реализация в виде программного комплекса геоинформационной системы были апробированы при проведении инженерных изысканий в части мониторинга установления и схода ледового покрова на водоёмах, а также фиксации изменения береговой линии рек и озер в период паводков. В целом, разработанный программный комплекс показал высокую эффективность, оперативность и существенно ускорил проведение инженерных работ на водных объектах Сибири.

Главный инженер

В.А. Жоров

Жоров В.А.
(3852) 38-35-85



Рисунок Б.5 — Справка об использовании результатов диссертационного исследования в ООО «Центр инженерных технологий»