

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Институт космических и информационных технологий
Кафедра систем искусственного интеллекта

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой СИИ
_____ Г. М. Цибульский
подпись
«__» _____ 2017 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

09.03.02 Информационные системы и технологии

Анализ сезонных подтоплений опор ВЛЭП по данным ДЗЗ

Руководитель

подпись, дата

Р. В. Брежнев

Выпускник

подпись, дата

А. Г. Вырвинский

Нормоконтролер

подпись, дата

М. А. Аникьева

Красноярск 2017

Продолжение титульного листа бакалаврской работы по теме «Анализ сезонных подтоплений опор ВЛЭП по данным ДЗЗ»

Нормоконтролер

подпись, дата

М. А. Аникьева

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Институт космических и информационных технологий
Кафедра систем искусственного интеллекта

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой СИИ
_____ Г. М. Цибульский
подпись
«__» _____ 2017 г.

**ЗАДАНИЕ
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ
в форме бакалаврской работы**

Студенту Вырвинскому Андрею Геннадьевичу

Группа КИ13-14Б Направление 09.03.02

Информационные системы и технологии

Тема выпускной квалификационной работы: Анализ сезонных подтоплений опор ВЛЭП по данным ДЗЗ

Утверждена приказом по университету № 2567/с от 01.03.2017 г.

Руководитель ВКР: Р. В. Брежнев, старший преподаватель кафедры систем искусственного интеллекта ИКИТ СФУ

Исходные данные для ВКР: Спутниковые изображения среднего разрешения, векторный слой опор ВЛЭП, решающее правило (индекс NDWI)

Перечень разделов ВКР: Введение, обзор информационных систем и технологий в области детектирования водных объектов, разработка и реализация алгоритма для анализа подтоплений опор ВЛЭП, заключение, список использованных источников.

Перечень графического материала: Презентация, выполненная в Microsoft Office PowerPoint.

Руководитель ВКР

подпись

Р. В. Брежнев

инициалы и фамилия

Задание принял к исполнению

подпись

А. Г. Вырвинский

инициалы и фамилия студента

«__» _____ 2017 г.

График

выполнения выпускной квалификационной работы студентом направления 09.03.02 «Информационные системы и технологии», профиля 09.03.02.04 «Информационные системы в медиаиндустрии» приведен в таблице 1.

Таблица 1 — График выполнения этапов ВКР

Наименование этапа	Срок выполнения этапа	Результат выполнения этапа	Примечание руководителя (отметка о выполнении этапа)
Ознакомление с целью и задачами работы	5.03 – 10.03	Краткий обзор по теме ВКР	Выполнено
Сбор и анализ литературных источников	11.03 – 25.03	Список использованных источников	Выполнено
Обзор систем аналогичных разрабатываемой	26.03 – 2.04	Обзор аналогов	Выполнено
Решение первой задачи ВКР	3.04 – 23.04	Доклад с презентацией по первой задаче ВКР	Выполнено
Решение второй задачи ВКР	24.04 – 09.05	Доклад с презентацией по второй задаче ВКР	Выполнено
Решение третьей задачи ВКР	10.05 – 15.05	Доклад с презентацией по третьей задаче ВКР	Выполнено
Компоновка отчета и презентации по результатам решения задач ВКР	26.05 – 6.06	Отчет по результатам решения задач ВКР	Выполнено
Предварительная защита результатов ВКР	7.06	Доклад и презентация по проделанной работе	Выполнено

Окончание таблицы 1

Наименование этапа	Срок выполнения этапа	Результат выполнения этапа	Примечание руководителя (отметка о выполнении этапа)
Нормоконтроль (Н/К)	6.06 – 19.06	Пояснительная записка, презентация к ВКР	
Защита ВКР	22.06	Доклад и презентация по результатам бакалаврской работы	

Студент

А. Г. Вырвинский

подпись

Руководитель ВКР
Старший преподаватель
кафедры СИИ

Р. В. Брежнев

подпись

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа по теме «Анализ сезонных подтоплений опор ВЛЭП по данным ДЗЗ» содержит 55 страниц текстового документа, 19 рисунков, 14 использованных источников.

ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ЗЕМЛИ, СПЕКТРАЛЬНЫЕ ПРИЗНАКИ, ДЕТЕКТИРОВАНИЕ ВОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ.

Целью данной работы является анализ изменения береговой линии водных объектов в период половодья при помощи данных ДЗЗ для прогноза возможных подтоплений опор ВЛЭП.

Для достижения цели были поставлены задачи:

- обзор и анализ способов детектирования водных объектов по спутниковым изображениям среднего и высокого разрешения;
- разработка программного алгоритма детектирования водных объектов с применением анализа спектральных характеристик;
- программная реализация разработанного алгоритма;
- анализ риска подтопления опор ВЛЭП при помощи результатов работы алгоритма.

В результате выполнения ВКР был разработан алгоритм детектирования водной поверхности по спутниковому изображению, а также проведен анализ риска подтопления опор ВЛЭП на выделенном участке реки Енисей.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1 Обзор информационных систем и технологий в области детектирования водных объектов.....	7
1.1 Обзор существующих систем мониторинга ЧС.....	7
1.2 Обзор способов детектирования водных объектов.....	15
1.3 Вывод по главе 1	25
2 Разработка и реализация алгоритма для анализа подтоплений опор ВЛЭП ...	26
2.1 Описание структуры алгоритма.....	26
2.2 Реализация разработанного алгоритма	29
2.3 Применение полученных результатов для анализа возможных подтоплений опор ВЛЭП.....	41
2.4 Вывод по главе 2	45
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	46
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	47
ПРИЛОЖЕНИЕ А	49

ВВЕДЕНИЕ

Классификация типов поверхностного покрытия, а также их анализ, является одним из наиболее распространенных применений дистанционного зондирования Земли. Одна из основных задач классификации — выделение водных объектов с поверхности суши.

Спутниковый мониторинг водных объектов в настоящее время находит свое применение как в научных исследованиях, посвященных, например, проблемам воздействия климатических изменений на природные системы [1], так и во множестве систем, посвященных практическому использованию, таких как спутниковый мониторинг трансграничных вод, применение данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) для общего мониторинга состояния водных объектов, космический мониторинг чрезвычайных ситуаций и т.д.

Данная работа рассматривает применение данных ДЗЗ для наблюдения за подтоплениями опор ВЛЭП вследствие сезонных изменений площади водных объектов на примере Красноярского края.

Сибирский регион, частью которого является Красноярский край, обладает обширной территорией с развитой сетью водных объектов. Большинство из них, например, реки Енисей, Чулым, Кан, Ангара и другие, подвержены сезонному изменению уровня воды и площади русла. Чрезвычайные ситуации, возникающие в следствии сезонного разлива рек, сопровождаются большими материальными затратами на их устранение. Одним из основных типов чрезвычайных ситуаций в данном случае является подтопление опор ВЛЭП. Это явление становится причиной ослабления грунта, что может привести к падению опор, повреждению проводов, падению проводов на землю. Это ведет к нарушению стабильности обеспечения населения и предприятий электрической энергией, а также к опасности поражения электрическим током людей и животных.

Наблюдение и возможное прогнозирование подтоплений опор ВЛЭП является важной задачей энергетических компаний и служб МЧС. В условиях

обширности территории Красноярского края, а также труднодоступности некоторых регионов, таких как сплошные массивы леса или тундровые зоны, поиск области разрыва электрической сети, вызванного падением опоры ВЛЭП, становится сложной задачей, требующей больших затрат человеческих и технических ресурсов. Меры по предотвращению таких чрезвычайных ситуаций являются основополагающими для стабильности обеспечения населения и предприятий электрической энергией.

Создание алгоритма обработки спутниковых снимков, с возможностью получить информацию о сезонных изменениях площадей водных объектов в районах их пересечения опорами ВЛЭП, позволит спрогнозировать риск возможных подтоплений, что может помочь службам МЧС и энергетических компаний с подготовкой средств по предотвращению падения опор или с поиском нарушения электрической сети.

В соответствии с вышеизложенным, была выявлена цель работы: анализ изменения береговой линии водных объектов в период половодья при помощи данных ДЗЗ для прогноза возможных подтоплений опор ВЛЭП.

А также поставлены следующие задачи:

- обзор и анализ способов детектирования водных объектов по спутниковым изображениям среднего и высокого разрешения;
- разработка программного алгоритма детектирования водных объектов с применением анализа спектральных характеристик;
- программная реализация разработанного алгоритма;
- анализ риска подтопления опор ВЛЭП при помощи результатов работы алгоритма.

1 Обзор информационных систем и технологий в области детектирования водных объектов

1.1 Обзор существующих систем мониторинга ЧС

Половодье, наряду с таким понятием, как паводки — сравнительно кратковременное, не периодическое и интенсивное увеличение расхода воды и подъём её уровня в реке в результате сильных дождей или быстрого таяния снега и ледников при оттепели, которое в отличие от половодья случается в любое время года, а также загромождение русла реки льдом, прорывы гидрологических сооружений, оползни и обвалы в долинах водостоков — все это является причиной гидрологической чрезвычайной ситуации (ЧС), названной наводнением.

Наводнение — это значительное затопление местности в результате подъёма уровня воды в реке, озере, водохранилище или море. Помимо возможного нарушения целостности электрической сети, проходящей в зоне воздействия наводнения, данная ЧС наносит большой материальный ущерб экономике, социальной сфере и природной среде. В следствии этого наблюдение за изменением состояния уровня и площади водных объектов осуществляется в системах космического мониторинга ЧС наряду с другими типами ЧС, такими как загрязнения, пожары, землетрясения и другими.

Мировые системы космического мониторинга ЧС

Обзорная схема систем космического мониторинга ЧС мира представлена на рисунке 1.

Первая специализированная система мониторинга ЧС была представлена группой стран во главе с Великобританией (международная система Disaster Monitoring Constellation, DMC), вторая — национальная, создавалась в Китае (система первого этапа «2+1»). В рамках международной системы мониторинга

ЧС DMC были объединены ресурсы нескольких серийных мини-спутников, разработанных британской компанией SSTL по контрактам с Алжиром, Великобританией, Нигерией, Турцией и Китаем [2]. Мини-спутники — это класс малых спутников, которые имеют полную массу (вместе с топливом) от 100 до 500 кг. Также к мини-спутникам иногда относят «лёгкие спутники» массой от 500 до 1000 кг. Такие спутники могут использовать платформы, компоненты, технологии обычных «больших» спутников. Все мини-спутники DMC массой 120–160 кг оснащены многокамерными линзовыми мультиспектральными оптическими системами с широкой полосой захвата.

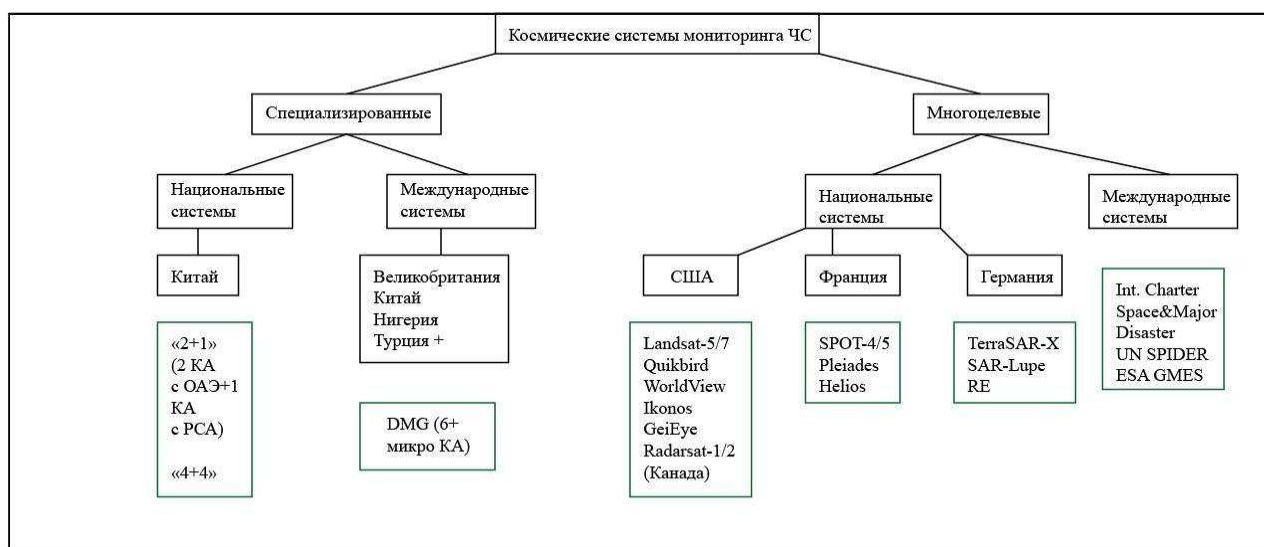


Рисунок 1 — Космические системы мониторинга чрезвычайных ситуаций мира

В 2002–2009 гг. в рамках программы DMC, на типовые солнечно-синхронные орбиты высотой 686 км были выведены 7 мини-спутников двух поколений: Alsat-1, Bilsat, Nigeriasat-1, UK-DMC, Beijing-1, UK-DMC-2 и Deimos-1. Несмотря на официальное наименование системы, мини-спутники DMC предназначены в основном для съёмки в интересах национальных операторов. Тем не менее, все страны — члены DMC ежедневно предоставляют 5% ресурсов спутников для съёмки и отслеживания ЧС. Кроме того, часть свободных ресурсов используется в коммерческих целях, для чего создан

консорциум DMCII. Система DMC с 2005 г. входит в Хартию «Космос и Глобальные Бедствия» и пополняется новыми спутниками [2].

Система первого этапа под названием «2+1» состоит из двух спутников HJ-1A/B и радиолокационного спутника HJ-1C. Мини-спутники HJ-1A и HJ-1B (Huan Jing — «Хуаньцзин», «Окружающая среда») массой по 500 кг оснащены типовыми оптическими сканерными системами для съёмки с пространственным разрешением 30 м в полосе захвата 700 км в четырёх спектральных зонах (3 канала видимого спектра и один — ближнего ИК). Также на спутнике HJ-1A впервые в китайской практике установлена гиперспектральная оптическая камера, которая позволяет получать изображения в 115 узких спектральных зонах видимого и ближнего ИК участков спектра (ширина 5 нм, диапазон 0,45–0,95 мкм) с пространственным разрешением 100 м в полосе захвата 50 км. Мини-спутник HJ-1B оснащён также оптическим сканером для съёмки в четырёх участках ИК спектра (ближний, коротковолновый, средневолновый и тепловой) с пространственным разрешением 150 м и 300 м (тепловой канал) в полосе захвата 720 км. Аппаратура съёмки в ИК диапазоне позволяет в дневное и ночное время определять характеристики очагов пожаров, выявлять зоны повышенной тектонической активности и районы загрязнения акваторий. Оба мини-спутника размещены на рабочей солнечно-синхронной орбите высотой 650 км и имеют срок активного существования 3 года [2].

Разработка космической системы мониторинга ЧС, получившая наименование Small Satellite Constellation for Environment and Disaster Monitoring and Forecasting, SSCEDMF, началась в 2000 г. по совместному проекту государственного агентства охраны окружающей среды и госкомитета по защите от катастроф (аналог МЧС) Китая. Система получила также неофициальное обозначение «4+4», вследствие того, что она будет состоять из 4 спутников с оптической аппаратурой и 4 спутников с радаром, что обеспечит возможность съёмки любого района Земли каждые 12 часов [3].

Российские космические системы мониторинга ЧС

В состав отечественной системы космического мониторинга Земли входят орбитальный и наземный сегменты, а также коммуникационная инфраструктура. Наземный сегмент состоит из сетей станций наблюдения, интегрированных баз данных, средств моделирования и принятия решения, опирающихся на результаты тематической обработки данных ДЗЗ. Для оперативного решения задач МЧС с помощью космических средств мониторинга Земли создана ведомственная «Система космического мониторинга ЧС» (СКМ ЧС), объединяющая элементы наземной инфраструктуры и коммуникации. В настоящее время в состав СКМ входят центры приёма и обработки космической информации в Москве, Вологде, Красноярске и Владивостоке. В основе СКМ ЧС лежат принципы открытой сетцентрической архитектуры, которая основана на сетевых вычислениях, при которых функции системы являются динамическими и мигрирующими между многочисленными серверами и клиентами, универсальности и поэтапного наращивания возможностей [2].

В интересах мониторинга ЧС используются в основном ресурсы спутников ДЗЗ ведущих мировых операторов RADARSAT-1 (Канада), ENVISAT (ESA), EROS A/B (Израиль), SPOT 4/5 (Франция), IRS-P5/P6 (Индия), Terra/Aqua (США), а также отечественного высокодетального спутника «Ресурс-ДК1». Возможности спутникового мониторинга ЧС в России расширились после начала эксплуатации нового метеоспутника «Метеор-М № 1», оснащённого комплектом сканеров среднего пространственного разрешения. В планах Роскосмоса — запуски новых КА с аппаратурой съёмки Земли, на примере специализированного мини-спутника для мониторинга ЧС «Канопус-В», запущенного в 2012 году.

В рамках функционирующей единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (РСЧС) космическая информация наиболее активно применяется при установленном факте ЧС в целях оценки и снижения ущерба, а также при ликвидации последствий ЧС.

Перспективными планами предусмотрено дальнейшее развитие отечественной системы космического мониторинга Земли, включая орбитальный и наземный сегменты, совершенствование СКМ ЧС, наземных комплексов обработки, моделирования и принятия решения.

Российские информационные системы мониторинга ЧС

Геоинформационная система автоматизированной информационно-управляющей системы (ГИС), в соответствии со словарем терминов МЧС России, — это средство компьютерного представления данных и знаний комплекса наук о Земле: сложная информационная система, включающая мощную операционную систему, интерфейс пользователя, системы ввода баз данных и отображения графической информации, картографирование природных и социально-экономических явлений. ГИС позволяет обрабатывать массивы покомпонентной гетерогенной пространственно-координированной информации, поддерживать базы данных для широкого класса географических объектов, воспринимать и обрабатывать пространственные особенности геоэкологических ситуаций, осуществлять диалоговый режим работы пользователя, быструю настройку системы на решение разного рода задач (оценка состояния ресурса, экологическое картографирование, принятие управленческих решений).

В настоящее время идет активное сотрудничество между МЧС России и информационными компаниями космического мониторинга, с целью внедрения компьютерной обработки космических данных в различные типы задач, решаемых работниками службы МЧС. Согласно данным компании «Совзонд», в работы служб МЧС уже внедрены две крупные специализированные ГИС космического мониторинга чрезвычайных ситуаций — ГИС «Космоплан» и ГИС «Каскад».

ГИС «Космоплан» — система, разработанная группой компаний «СКАНЭКС», решающая задачу прогнозирования возникновения ЧС,

экстренного реагирования, планирования работ по противодействию, оценки нанесенного ущерба и т.д. При разработке также предъявлялись следующие требования к функциональному обеспечению:

- автоматизация загрузки данных;
- методология и инструментарий для дешифрирования обстановки в зоне ЧС по космическим снимкам;
- формирование отчетных материалов («ситуационных карт»);
- базовая пространственную опору в виде высокодетального и актуального покрытия из космоснимков, картографических и топографических данных;
- интеграция дополнительных источников данных (кадастр, внутриведомственные базы данных).

В ходе разработки данной системы были достигнуты следующие результаты:

- увеличение оперативности и полноты получения информации для предоставления отчетных документов со стороны специалистов Управления по космическому мониторингу о наличии требуемых космических данных по определенной территории;
- интегрирование данных системы космического мониторинга МЧС;
- повышение качества производных продуктов космосъемки за счет автоматизации обработки и наличия инструментов работы с данными;
- создание каталога ситуационных карт и методики анализа обстановки в зоне ЧС;
- усовершенствование системы формирования отчетных документов по данным космического мониторинга;
- создание технологии 3D-визуализации для оценки ситуации в зоне ЧС с использованием высокоточной информации о рельефе местности и оперативной космической съемки.

ГИС «Космоплан» состоит из следующих компонентов:

1. Подсистема подготовки данных отвечает за обработку сырого потока информации, включая извлечение в стандартном формате метаданных и подготовку данных для публикации в полном пространственном разрешении; в подсистему поступают данные из различных источников — с российских спутников по линии Роскосмоса, с приемных станции СКМ МЧС, данные с зарубежных спутников от коммерческих поставщиков.

2. Веб-геоинформационная система на базе платформы GeoMixer, которая включает как общий функционал по каталогизации, визуализации и работе с пространственными данными, так и специализированные приложения, ориентированные на задачи анализа обстановки в зоне ЧС.

3. Внешних подключаемых геосервисов.

В зависимости от специфики стоящей задачи для получения информации используются оптические и радиолокационные снимки, различного спектрального диапазона и пространственного разрешения. Обработка снимков производится автоматизированными методами и посредством визуально-интерактивного метода экспертного дешифрирования.

Результатом работы системы являются:

- ортофототрансформированные данные спутниковой съемки на территорию интереса;
- векторный слой результатов дешифрирования.

Результаты космического мониторинга могут использоваться для решения широкого спектра задач МЧС, например, оперативного мониторинга природных пожаров, осуществления контроля несанкционированных сельхоз палов, учета площадей территорий, пострадавших от пожаров, мониторинга хода половодья и паводков и т.д.

ГИС «Каскад» — геоинформационная система, разработка которой началась в 1993 году инженерной информационной компанией «ИНКОМ». Система предназначена для поддержки управленческой деятельности на базе

геоинформационных технологий обработки информации. На базе программного обеспечения «Каскад» разработаны системы по учету деятельности объектов хозяйствования, системы по ведению оперативной обстановки. В программной среде диалог оператора и ЭВМ организован с использованием стандартизованного интерфейса меню, разработанного на основе программного интерфейса приложений (API) операционной системы Windows. Этим обеспечивается сокращение времени на освоение работы оператора с системой, поскольку элементы графического интерфейса (меню, окна, формы, статусная строка, линейки прокрутки и др.) являются общепринятыми и широко используются всеми Windows-приложениями.

ГИС «Каскад» предоставляет следующие функциональные возможности:

- отображение картофона с обстановкой в произвольном масштабе, любого объема, состава объектов и слоев;
- определение координат, измерение площади, расстояния, углов;
- нанесение информации в интерактивном режиме или на основе обработки входной информации, в том числе с GPS;
- создание, дополнение и редактирование библиотеки условных обозначений;
- формирование оперативной обстановки на бумажных картах с привязкой к расположению листа или склейки на плоттере;
- производство качественного вывода на печать изображения электронной карты и обстановки;
- получение текстовой и графической информации об объекте;
- подключение специализированных функциональных задач по работе с картой и обстановкой.

Результаты работы ГИС «Каскад» могут применяться для мониторинга и прогноза обстановки по природным пожарам, радиационной и гидрологической обстановки, сейсмоданных и другое.

1.2 Обзор способов детектирования водных объектов

За последнее время исследователями было разработано несколько методов картирования водных поверхностей, среди которых [8]: методы тематической классификации, метод линейного разделения, метод одноканального порогового анализа, метод спектральных индексов. Каждый из данных методов отличается требованиями к подготовке исходных данных, изучению территории исследования, а также сложности и длительности вычислений. Помимо метода классификации, большое значение также имеет понимание принципа многозональности съемки и признаков водных объектов на снимках.

Спектральные признаки водной поверхности

Главным источником информации при проведении космического мониторинга, как правило являются снимки видимого и ближнего инфракрасного диапазона спектра (рисунок 2). Также дополнительную информацию дают снимки среднего и дальнего инфракрасного излучения.

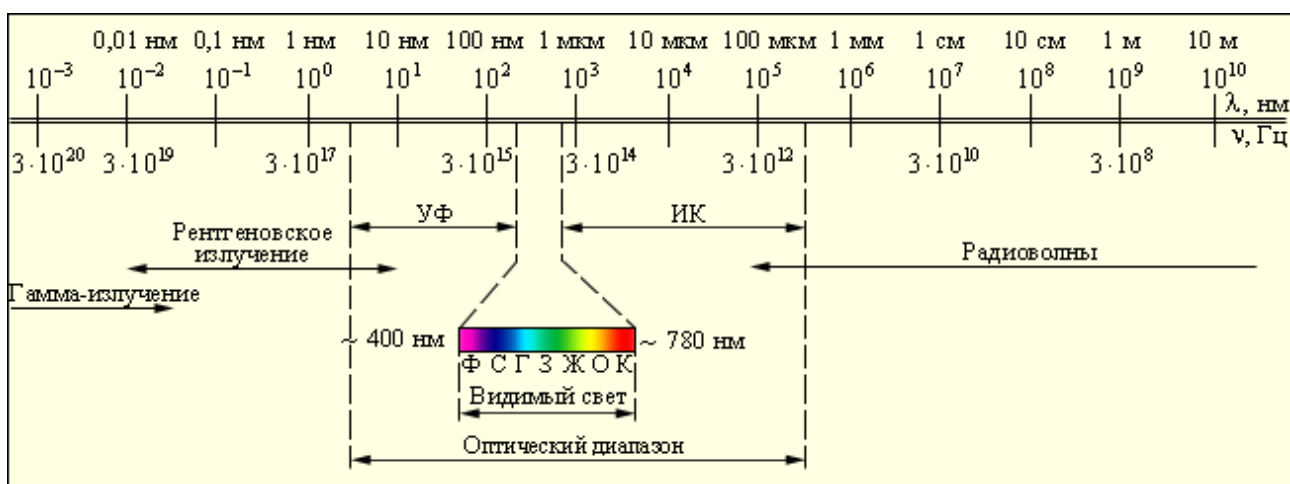


Рисунок 2 — Шкала электромагнитных волн

Принцип одновременной съемки поверхности в различных спектральных диапазонах, запись которых ведется в несколько каналов, называется

многозональной съемкой. Большинство поверхностей лучше распознаются на многозональных снимках, вследствие различий в своих спектральных свойствах.

Спектральные признаки объекта — это свойства, характеризующие поглощение, пропускание и отражение электромагнитных волн оптического диапазона в данном объекте.

Спектральные свойства различных объектов земной поверхности обладают огромным многообразием. Тем не менее, объекты одного и того же типа, например, горные породы, водная поверхность, снег, облака и т.д., обладают типичными для этого класса объектов особенностями.

Взаимодействие солнечного излучения с поверхностью воды является сложным процессом. Однако в настоящее время закономерности этого взаимодействия считаются достаточно понятными для исследования водных объектов. Отражение солнечного излучения от водной поверхности представлено тремя типами [4]:

1. отражательная способность от поверхности (Surface reflectance);
2. отражательная способность от дна (Bottom reflectance);
3. объемная отражательная способность (Volume reflectance).

Помимо этого, влияние также оказывают отражение неба от поверхности воды и рассеяние света в атмосфере [5].

В первую очередь солнечные лучи взаимодействуют с поверхностью воды. Часть света от солнца и неба (включая облака) отражается здесь (рисунок 3). Эта отраженная энергия называется поверхностным отражением. Часть света попадает в воду, взаимодействует с материей воды и рассеивается вверх. Это называется объемным отражением. Коэффициент объемного отражения является критическим параметром, так как только он содержит информацию, относящуюся к качеству воды. Прозрачные водоемы имеют очень малый показатель объемного отражения (6–8 процентов), в то время как мутная вода способна отражать значительную часть излучения.

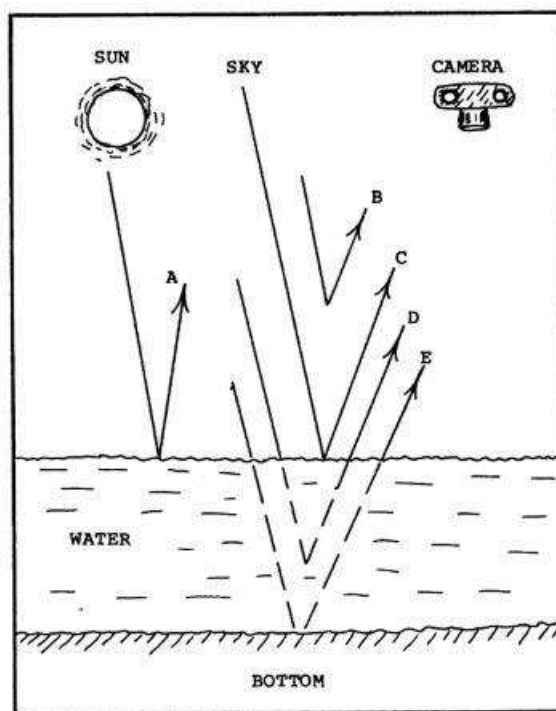


Рисунок 3 — Схема отражения излучения от поверхности воды. А — поверхностное отражение солнечного излучения, В — рассеяние света в атмосфере, С — поверхностное отражение неба, D — объемное отражение, E — отражение от дна.

При наличии большого количества фитопланктона, наблюдается понижение спектральной яркости в синей ($\sim 0,4$ мкм) и красной ($0,64\text{--}0,69$ мкм) частях диапазона, т.е. в полосах поглощения хлорофилла. В мелкой прозрачной воде часть света может проходить сквозь воду и достигать дна, где она может отражаться назад. Лучи, проходящие до дна и отражающиеся обратно, являются нежелательными шумами в системе, кроме случая исследования дна водоема.

Отражение каждого типа зависит от длины волны излучения. Например, короткие длины волн, соответствующие синему цвету, практически полностью отражаются от поверхности воды. В тоже время излучение с длиной волны, соответствующей зеленому цвету, больше всего проникает в толщу воды. При изучении поверхности воды часто применяются ближний и средний

инфракрасный спектры, т.к. они практически полностью поглощаются поверхностной пленкой воды [6].

Детектирование объектов с помощью тематической классификации с обучением

Для объективного компьютерного анализа многозональных изображений применяется классификация пикселей изображения методами, разработанных в рамках теории обработки сигналов и анализа данных статистических исследований. Во всех пакетах тематической обработки данных дистанционного зондирования имеется стандартный набор таких алгоритмов классификации изображений, отличающихся только деталями реализации.

Классификация — это процесс приписывания каждому пикселю изображения индекса, соответствующего некоторой категории (классу) объектов земной поверхности (водные объекты, леса, с/х культуры, различные типы застройки и т.п.).

В общем виде большинство алгоритмов тематической классификации рассматривает каждый пиксель как n -мерный векторный образ $\vec{x} = (x_1, \dots, x_n)$, состоящий из значений яркости пикселя в каждом канале изображения [7].

Совокупности всех векторов-образов соответствует определенное множество точек изображения, которое называются пространством признаков.

Задача классификации заключается в разбиении признакового пространства на области, соответствующие различным тематическим категориям (классам) объектов земной поверхности. То есть по каждому измерению классам будут сопоставлены определенные интервалы значений, один или несколько для каждого класса.

В зависимости от полноты информации об объектах исследования в теории распознавания образов выделяют два подхода к организации процесса распознавания: распознавание с обучением и распознавание без обучения. В методологии тематической обработки изображений эти методы называют,

соответственно, контролируемая классификация (supervised classification) и неконтролируемая классификация (unsupervised classification).

Распознавание с обучением применяется в тех случаях, когда информации слишком много для того, чтобы точно определить, сколько всего классов можно выделить на анализируемом объеме данных. Поэтому при классификации выбираются только те классы, которые приведут к решению поставленной задачи. Это делается путем указания их типичных признаков с помощью процедуры обучения. Распознавание без обучения выполняется в предположении, что заранее известно общее количество классов и типичные для них характеристики образов.

Несмотря на то, что практически все специалисты, работающие с данными дистанционного зондирования в конкретных прикладных областях, имеют представление о средствах классификации многослойных изображений, часто использование этих методов оказывается мало эффективным. Получение точных результатов требует грамотно выбранной схемы классификации, основанной на конкретной области применения и внешних условиях, а также тщательной подготовки исходных данных.

Детектирование объектов методом линейного разделения

На ряду с другими способами детектирования объектов, применяется метод линейного разделения. Математическая задача данного алгоритма — разделение элементов некоторого множества на два класса.

Данная задача сводится к построению линейного решающего правила, то есть нахождения такого вектора весов $w = (w_0, \dots, w_n)$, где w_0 — пороговое значение, что при значении функции $y = f(u) > 0$, $u = wx$, вектор x относится к первому классу, а при $y = f(u) \leq 0$ — ко второму.

Простейшим способом построения решающего правила является метод разделения центров масс. В этом методе начальный вектор весов вычисляется по формуле:

$$w = \frac{\sum_{i=1}^k x^i - \sum_{j=1}^l y^j}{k+l}, \quad (1)$$

где векторы x^i — векторы первого класса, а векторы y^j — второго [9].

Линейные решающие правила, построенные на основании разделения центров масс, могут быть неточными на примерах из обучающей выборки даже в тех случаях, когда известно их линейное разделение. Однако метод центров масс часто используют для определения начального значения весового вектора.

Использование метода линейного разделения для детектирования водной поверхности может оказаться сложной задачей при учете спектральных характеристик воды в различных диапазонах спутниковых снимков. Данный метод требует объемных вычислений, а также может оказаться неточным при построении линейного решающего правила, что потребует дополнительного анализа и настройки.

Детектирование методом одноканального порогового анализа

Сегментация подразумевает разделение изображения на области (либо контуры), соответствующие объектам. Наиболее логичный способ объединения некоторой области в один сегмент — определение общих свойств. Или идентификация контуров с помощью определения различий между областями (краями области).

Самое простое свойство, по которому могут делиться пиксели в некоторой области — это интенсивность. Таким образом, естественный способ сегментировать такие области через пороговое значение. Порог генерирует двоичные изображения, присваивая всем пикселям ниже некоторого порога

значение, равное нулю, а пикселям выше этого порога единицу (разделение пикселей на границе порога не имеет значение до тех пор, пока нет противоречия) [10].

Основная проблема порогового анализа заключается в том, что рассматривается только интенсивность, без каких-либо зависимостей между пикселями и каналами изображения. Нет никакой гарантии, что пиксели, идентифицированные процессом порогового анализа, являются смежными. Такой процесс может легко включить посторонние пиксели, которые не являются частью детектируемой области, а также пропустить некоторые пиксели внутри определяемой области. По мере увеличения шума на изображении эти эффекты проявляются в большей мере, в связи с тем, что повышается вероятность неправильного определения интенсивности даже внутри определяемой области. При редактировании порога зачастую либо теряется много пикселей детектируемого объекта, либо в него включается множество посторонних пикселей.

Другой проблемой являются участки света и тени, присутствующие на изображении. Некоторые части одной и той же области будут ярче или темнее в зависимости от освещенности участка. Решением данной проблемы может являться наличие массива локальных пороговых значений, взамен одного глобального порога, для различных участков изображения.

Метод одноканального порогового анализа имеет свои плюсы при его использовании для дешифрирования водных поверхностей. Генерация двоичного изображения является достаточным для выделения воды с поверхности исходного снимка, требуя для этого минимум вычислений. Несмотря на это, данный метод может оказаться неэффективным из-за отсутствия учета связей между пикселями изображения, а также принципа многозональной съемки.

Детектирование воды методом спектральных индексов

За последнее время большое распространение получили многоканальные спектральные индексы, в силу простоты использования и вычислений, и эффективности своей работы. Спектральный индекс представляет собой число, полученное путем арифметических операций (например, отношение, сумма, нормированная разность) над значениями интенсивности двух или более спектральных диапазонов. Метод имеет схожесть с одноканальным пороговым анализом, однако вместо интенсивности пикселя в одном канале изображения, для классификации берется соответствующее значение индекса, учитывающее связи между двумя или более диапазонами снимка. Эффективность применения спектральных индексов обусловлена учетом особенностей отражения и поглощения солнечного излучения различными объектами на снимке, зависимости которых выведены эмпирически.

Для детектирования поверхности воды наибольшее распространение получили NDWI — Normalized Difference Water Index (водный индекс нормированной разности), NDSI — Normalized Difference Snow Index (снежный индекс нормированной разности), а также NDVI — Normalized Difference Vegetation Index (вегетационный индекс нормированной разности).

Впервые о водных индексах услышали в 1996 году, когда Stuart K. Mcfeeters представил NDWI — Normalized Difference Water Index (водный индекс нормированной разности) для определения границ водных объектов с помощью зеленого (band 2) и ближнего инфракрасного (band 4) канала Landsat TM. S.K. Mcfeeters (1996) предложил пороговое значение, равное нулю, для извлечения информации с космических снимков о поверхностных водах, используя исходные цифровые данные Landsat. Все положительные значения, вычисленные по NDWI, классифицируются в качестве водной поверхности, а отрицательные — в качестве неводной [11]:

$$NDWI = \frac{b_{green} - b_{NIR}}{b_{green} + b_{NIR}}, \quad (2)$$

где b_{green} и b_{NIR} — значения интенсивности пиксела в зеленом и ближнем инфракрасном (0,845–0,885 мкм) канале соответственно.

NDWI является одними из наиболее широко используемых показателей воды с различными областями применения, включая отображение поверхностных вод, землепользование и изменение покрова, анализ песка и экологические исследования.

Другой не редко применяющийся индекс для детектирования водных объектов — NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) — вегетационный индекс нормированной разности — это стандартизированный индекс, показывающий наличие и состояние растительности (относительную биомассу). Один из самых распространенных и используемых индексов для решения задач, использующих количественные оценки растительного покрова. Вычисляется по следующей формуле:

$$NDVI = \frac{b_{NIR} - b_{red}}{b_{NIR} + b_{red}}, \quad (3)$$

где b_{NIR} и b_{red} — значения интенсивности излучения пикселя в ближнем инфракрасном (0,845–0,885 мкм) и красном каналах соответственно.

Благодаря особенностям спектральных диапазонов, использующихся в NDVI, значения индекса имеют устойчивое значение для объектов, не связанных с растительностью, что позволяет использовать данный параметр для их детектирования. Значения NDVI обычно принимают отрицательные значения для воды, снега и льда, менее $-0,2$ для воды и малые значения ниже нуля для снега и льда.

NDSI (Normalized difference snow index) — снежный индекс нормированной разности — показатель покрытия территории снегом,

предназначенный для обнаружения снега на земной поверхности по данным дистанционного зондирования Земли. Позволяет различать на космических снимках заснеженные территории от облаков. Для расчета индекса используются значения спектральной яркости в зеленом и, как правило, среднем инфракрасном (1,6 мкм) диапазонах спектра. NDSI вычисляется по формуле [12]:

$$NDSI = \frac{b_{green} - b_{SWIR}}{b_{green} + b_{SWIR}}, \quad (4)$$

где b_{green} — отражение в зелёной области спектра, b_{SWIR} — отражение в средней инфракрасной области спектра (1,6 мкм).

Помимо среднего инфракрасного диапазона с длиной волны 1,6 мкм (SWIR), по мере развития датчиков космических аппаратов и получаемых от спутников изображений, различными исследователями в своих работах также использовались диапазоны среднего инфракрасного излучения с длинами волн 3–50 мкм (MIR) [13].

Значение индекса для участков земной поверхности, занятых снегом, равняется 0,4 и более. Водные объекты также могут принимать значение NDSI, равное 0,4, однако они имеют коэффициент отражения менее 11% в зеленом диапазоне и менее 10% в среднем инфракрасном (SWIR).

Использование многоканальных спектральных индексов на практике является широко распространенным способом детектирования поверхностей, в том числе водных, из-за своей простоты и наименьших вычислительных затрат. В отличие от одноканального порогового анализа, формулы вычисления индексов выведены эмпирическим путем и учитывают особенности отражения и поглощения различных поверхностей. Эффективность использования конкретного индекса может варьироваться в зависимости от исследуемой территории, поэтому выбор используемой формулы будет зависеть от анализа полученных результатов исследуемой области.

1.3 Вывод по главе 1

В данной главе был проведен обзор функционирующих геоинформационных систем «Космоплан» и «Каскад». Существующие ГИС мониторинга ЧС содержат модуль детектирования водных объектов с целью наблюдения за ходом изменения площадей водоемов во время паводков. Разрабатываемый алгоритм позволит провести анализ изменения береговой линии за несколько сезонов в период половодья и определить возможный риск подтопления опор ВЛЭП, пролегающих в исследуемом районе.

Были приведены спектральные характеристики воды на спутниковых снимках, а также методы детектирования водных поверхностей: методы тематической классификации, метод линейного разделения, метод одноканального порогового анализа, метод спектральных индексов. Для проектируемого модуля предполагается использовать метод спектральных индексов, как наиболее простой для реализации и быстрый для вычислений, но в тоже время, имеющий высокую точность дешифрирования поверхностей. Были приведены три широко используемых индекса: NDWI, NDVI и NDSI. Тип используемого индекса предполагается определить на этапе реализации алгоритма, сравнив полученные результаты для конкретной территории.

2 Разработка и реализация алгоритма для анализа подтоплений опор ВЛЭП

2.1 Описание структуры алгоритма

Разрабатываемый алгоритм предназначен для автоматического детектирования водной поверхности по спутниковому снимку. Для данной цели будет использоваться метод вычисления спектральных индексов, основанный на закономерностях отражения и поглощения света различными поверхностями.

Описание входных и выходных данных

Для получения результата работы алгоритма необходимо предоставить два спектральных диапазона спутникового снимка, значения интенсивности пикселей которых будут использоваться при вычислении индекса. Тип канала определяется применяемым спектральным индексом. Помимо значений интенсивности пикселей, файлы также должны содержать метаданные о географической привязке. Для этих целей служит формат растровых изображений, названный GeoTIFF — открытый формат представления растровых данных в формате TIFF, в которую, помимо основных данных об изображении, также добавляется несколько видов гео-тегов, которые определяют вид картографической проекции, систему географических координат, модель геоида, датум и любую другую информацию, необходимую для точного пространственного ориентирования космического снимка.

Таким образом входными данными алгоритма являются два файла формата GeoTiff, которые представляют собой определенные каналы спутникового изображения.

Результатами работы алгоритма будут являться растровый файл, в котором представлена информация об областях нахождения водной поверхности на

снимке, а также векторный файл, полученный в результате процесса векторизации растра и содержащий векторный слой водной поверхности.

Выходными данными алгоритма являются растровый файл формата GeoTIFF, а также векторный файл shape-формата.

Модуль работы с входными и выходными данными

Для произведения операций с пикселями спутникового изображения, необходимо подготовить их для использования. Этой цели служит подмодуль работы с входными данными алгоритма. Данный участок алгоритма позволяет открыть файлы, представленные каналами снимка формата GeoTIFF, также загружая в память исполняемого алгоритма информацию о проекции, метаданные, координатную систему, географическую привязку, размер растра и некоторую дополнительную информацию. После процесса открытия файлов, необходимо преобразовать данные о пикселях изображения в каждом из каналов в массив данных.

По окончании работы данного подмодуля, входные данные преобразуются в форму, пригодную для дальнейшей обработки в виде процесса дешифрирования пикселей воды на изображении.

Подмодуль работы с выходными данными позволяет записать результаты обработки спутникового изображения в отдельные файлы. В процессе своей работы модуль создает растровый файл формата GeoTIFF, по размерам соответствующий исходным, в который записываются выделенные на спутниковом изображении пиксели, а также географические данные, полученные в подмодуле работы с входными данными. Далее полученный растр проходит операцию векторизации.

По окончании работы данного подмодуля, результаты исполнения алгоритма детектирования пикселей воды преобразуются в выходные данные, представленные в форматах GeoTIFF и shape.

Модуль детектирования пикселей воды

Подмодуль детектирования пикселей воды представляет собой алгоритм, основанный на использовании многоканальных спектральных индексов. Данный метод представляет собой пороговую функцию, где в качестве исследуемого признака используются вычисленные по определенной формуле значения. Каждый из индексов, также, как и пороговое значение, выведены эмпирическим путем на основе многочисленных исследований и предоставляют относительно точные результаты в совокупности с минимальными вычислительными затратами. Для преследуемой задачи — дешифрирования пикселей воды, наиболее часто используются такие индексы как:

1. NDWI — Normalized Difference Water Index (водный индекс нормированной разности), вычисляемый по формуле (2).

2. NDVI — Normalized Difference Vegetation Index (вегетационный индекс нормированной разности), вычисляемый по формуле (3).

3. NDSI — Normalized Difference Snow Index (снежный индекс нормированной разности), вычисляемый по формуле (4).

Индексы могут показывать различную точность получаемых результатов при их применении в разных климатических условиях, условиях высокой облачности и т. д. Выбор используемого индекса следует делать при проверке и сравнении получаемых результатов на тестовых данных, соответствующих региону, в котором планируется дальнейшее использование разработанного алгоритма.

2.2 Реализация разработанного алгоритма

Библиотеки GDAL/OGR по работе с растровыми и векторными данными

При работе с растровыми и векторными форматами данных возникает необходимость в использовании программных библиотек, разработанных с целью проведения операций над изображениями. Помимо основных операций, при работе со спутниковыми снимками также является необходимостью наличие инструментов работы с гео-пространственными данными. Одной из таких библиотек является GDAL/OGR.

GDAL (Geospatial Data Abstraction Library) — библиотека для чтения и записи растровых и векторных гео-пространственных форматов данных, выпускаемая под Open Source лицензией X/MIT организацией Open Source Geospatial Foundation (OSGeo). Библиотека предоставляет вызывающим приложениям единую абстрактную модель данных для всех поддерживаемых форматов. При сборке можно также включить дополнительные утилиты. С помощью этих утилит можно выполнять конвертацию и обработку данных используя интерфейс командной строки.

Сопутствующая библиотека OGR, являющаяся частью дерева исходных кодов GDAL, предоставляет похожие возможности для векторных данных.

Библиотека GDAL поддерживает такие растровые форматы, как GeoTIFF, Erdas Imagine, JPEG2000 и другие, всего 142 драйвера. Поддерживаемые векторные форматы (84 драйвера): ESRI Shapefile, ESRI ArcSDE, ESRI FileGDB, GML, KML и другие.

Алгоритм был реализован на языке программирования Python, который поддерживает работу GDAL/OGR.

GDAL Python API состоит из пяти основных модулей:

gdal — Python интерфейс к библиотеке GDAL

ogr — Python интерфейс к библиотеке OGR

osr — работа с системами координат

gdal_array — вспомогательные функции

gdalconst — константы

Библиотека GDAL предоставляет такие функции, как получение информации о количестве каналов растра, извлечение данных и метаданных, представление полного растра или его каналов в виде массива, а также работа блоками. Помимо этого, GDAL позволяет создавать файл выбранного растрового формата с указанными параметрами, с поддержкой поканальной записи и записи информации о проекции, а также векторизовать растровое изображение.

Библиотека OGR предоставляет возможности по работе со слоями векторного изображения по индексу или имени, позволяет узнать количество объектов в слое, информацию о используемой проекции и системе координат, охват слоя, количество полей. Также поддерживается работа с полями и геометрией объектов, создание и редактирование слоев векторного изображения. По аналогии с библиотекой GDAL, OGR имеет возможность создания и сохранения векторных файлов различных форматов.

При реализации алгоритма использовались следующие функции библиотеки GDAL:

1. `gdal.Open()` — открытие растрового файла;
2. `GetProjection()` и `GetGeoTransform()` — получение информации о проекции и координатной системе;
3. `GetRasterBand()` и `ReadAsArray()` — получение канала растра и запись его в массив;
4. `RasterXSize` и `RasterYSize` — получение размеров растра по осям X и Y;
5. `GetDriverByName()` и `Create()` — создание растрового файла;
6. `SetProjection()`, `SetGeoTransform()`, `GetRasterBand().WriteArray()` — запись информации о проекции и др., а также массива данных в созданный растровый файл;
7. `Polygonize()` — векторизация растрового изображения.

Использованные функции библиотеки OGR:

1. GetDriverByName(), CreateDataSource() — создание векторного файла;
2. CreateLayer() — создание слоя в данном файле.

Сравнение результатов работы алгоритма на тестовых данных

Проверка работы разработанного алгоритма проводилась на фрагменте спутникового снимка рек Енисей и Ангара на юге Красноярского края. Исходное изображение в градациях серого с извлечением красного канала представлено на рисунке 4. Изображение в градациях серого, использующее ближний инфракрасный спектр, представлено на рисунке 5.

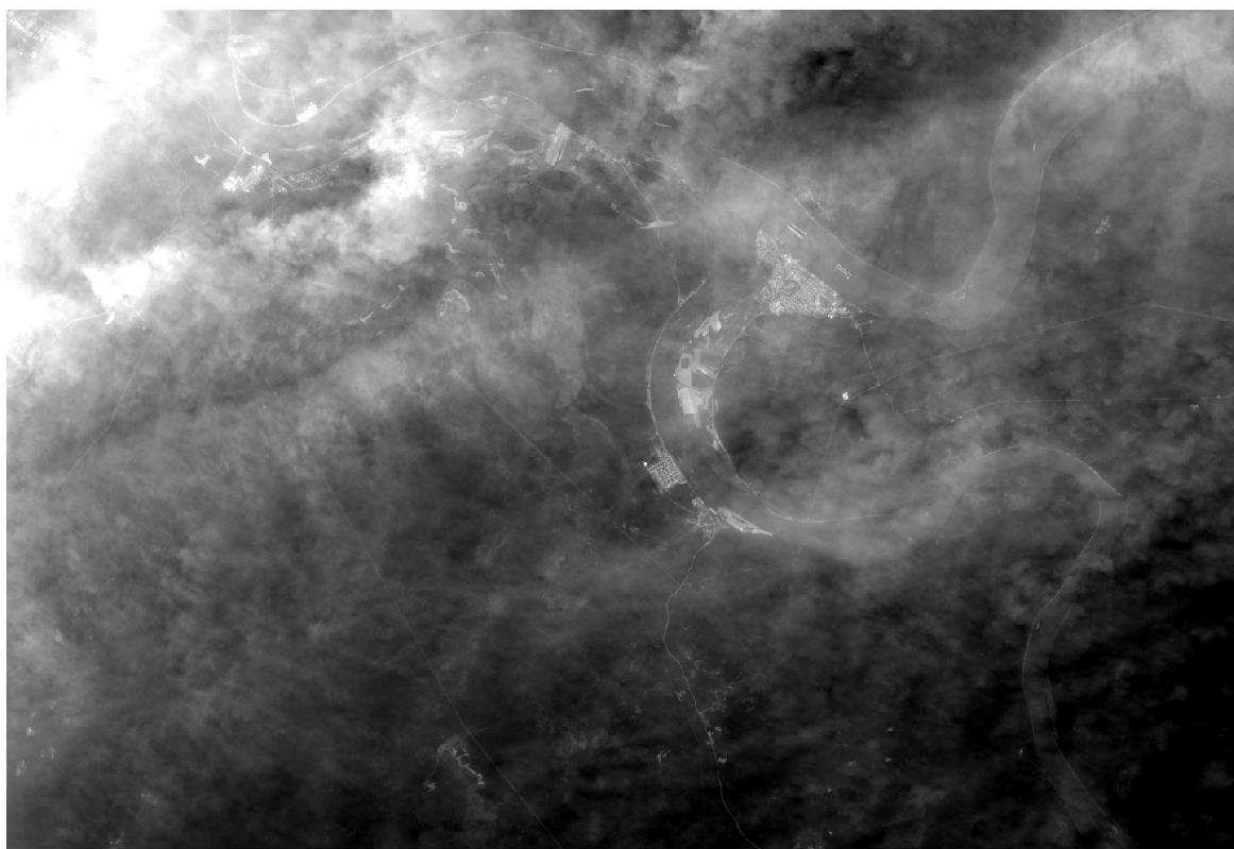


Рисунок 4 — Исходное изображение, красный канал



Рисунок 5 — Исходное изображение, ближний инфракрасный канал

Результат работы алгоритма при использовании водного индекса нормированной разности с пороговым значением, равным 0, представлен на рисунке 6.

Использование вегетационного индекса нормированной разности с пороговым значением, равным 0,1, продемонстрировано на рисунке 7.

Результат обработки снимка с использованием снежного индекса нормированной разности с пороговым значением, равным 0,2, приведен на рисунке 8.

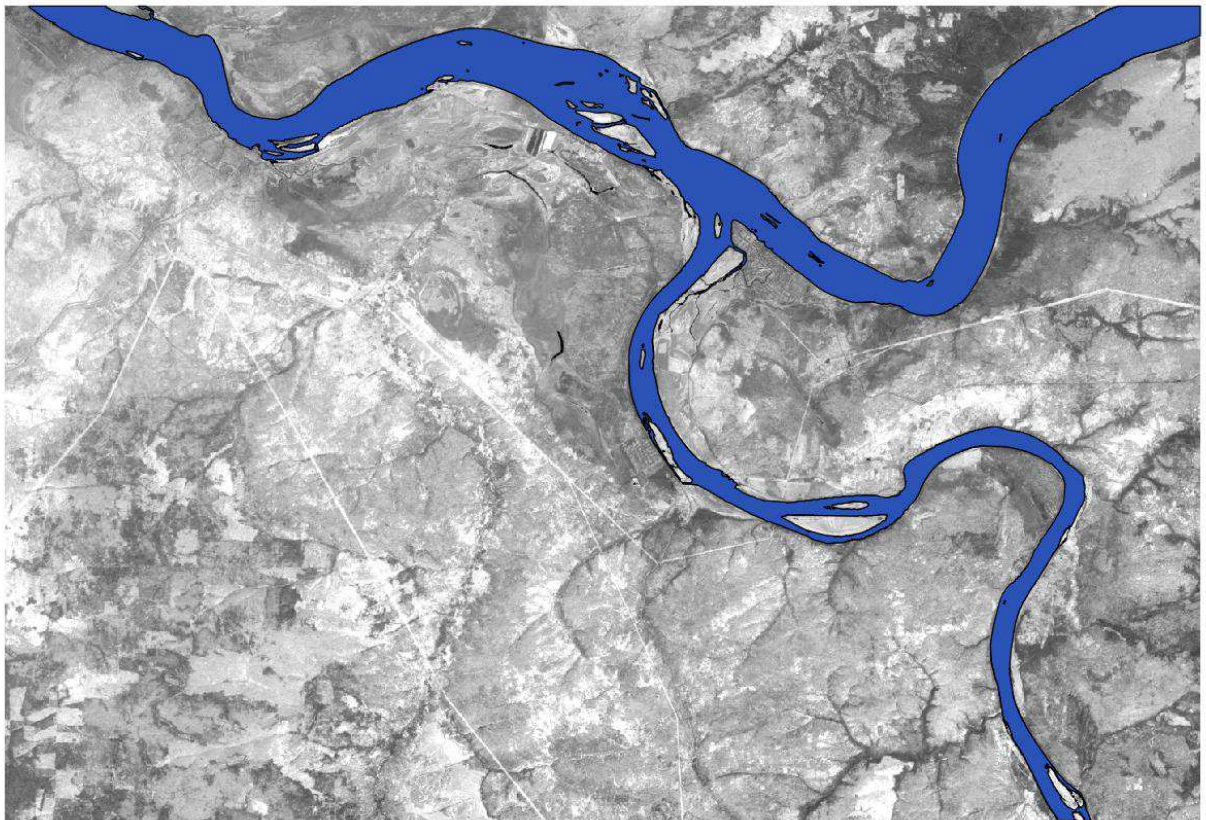


Рисунок 6 — Результат работы алгоритма с использованием NDWI

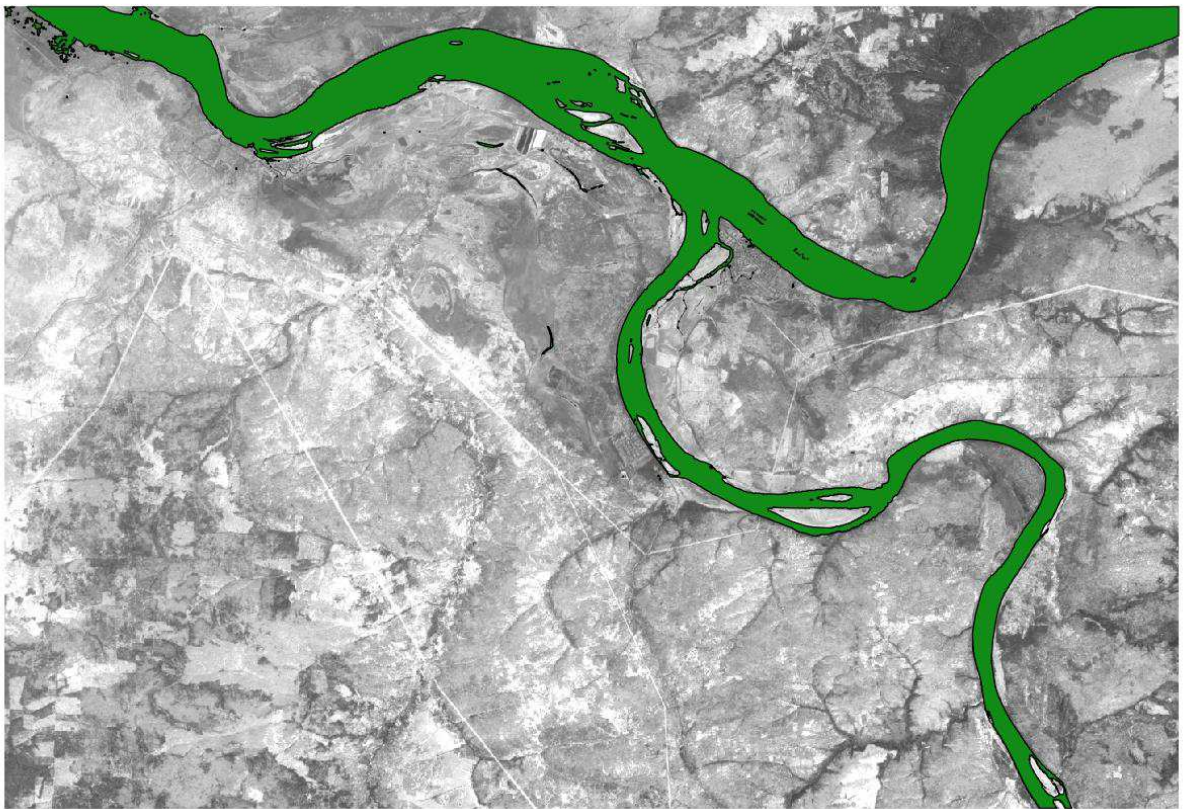


Рисунок 7 — Результат работы алгоритма с использованием NDVI

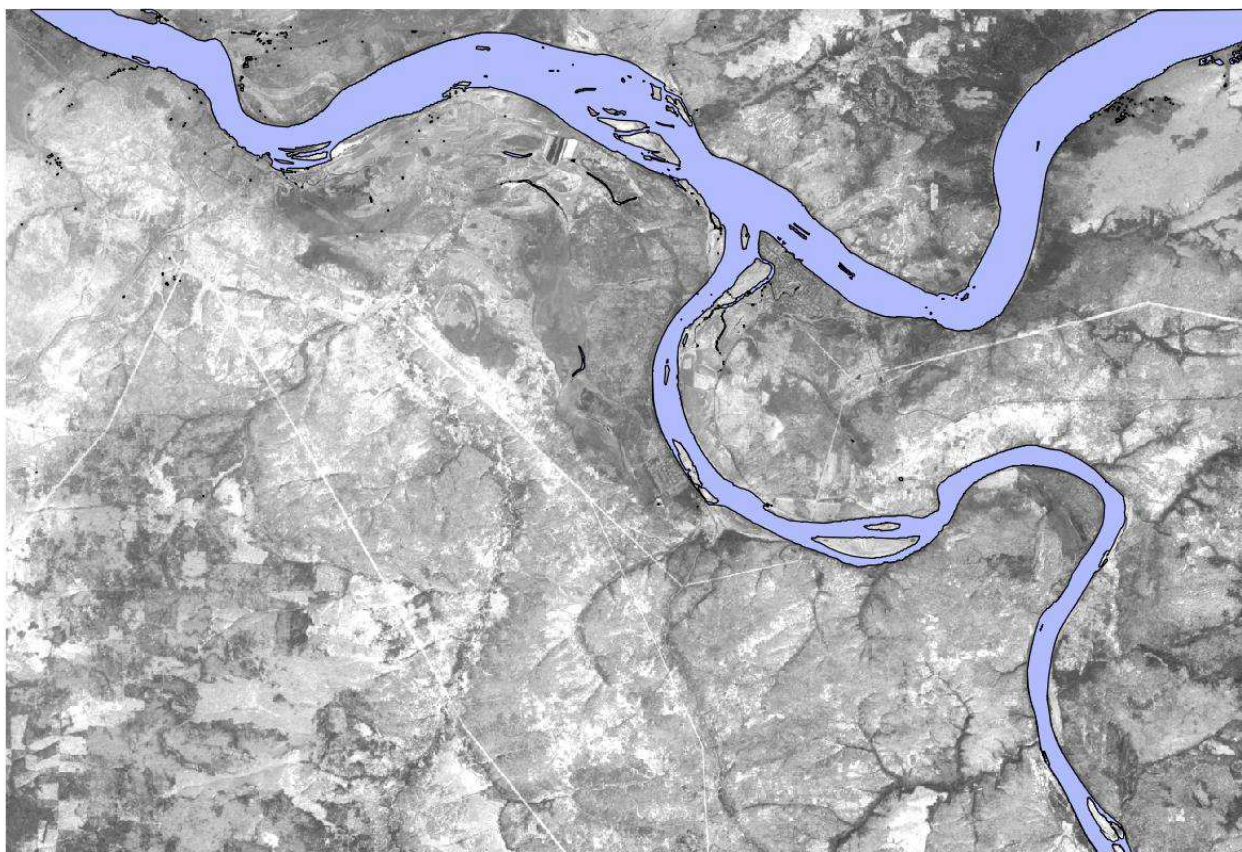


Рисунок 8 — Результат работы алгоритма с использованием NDSI

Для оценки точности полученных изображений зачастую используются такие показатели, как площадь выделенных полигонов, количество извлеченных пикселей и другие. С целью определения эффективности использования того или иного индекса на данной территории будет использоваться расчет ошибки классификации и построение матрицы ошибок, основанной на подсчете количества выделенных пикселей.

Матрица ошибок представляет собой инструмент, использующий кросс-табуляцию (средство представления совместного распределения двух переменных, предназначенное для исследования связи между ними) для показа того, как соотносятся значения совпадающих классов, полученные из различных источников. В качестве источников могут выступать, например, проверяемый растр (тематическая классификация) и опорный более точный источник данных (растр или набор полевых данных в виде точек). При интерпретации результатов обычно полагается, что проверяемый результат потенциально является

неточным, а проверочный растр хорошо отражает реальную ситуацию. В противном случае, если проверочный растр также несовершенен, нельзя говорить об «ошибке», а следует говорить о «разнице» между двумя наборами данных. Для построения матрицы могут использоваться все ячейки растра (пиксели) или выборка ячеек, расположенных случайно, стратифицировано случайно или согласно какому-либо другому распределению.

По одной из осей матрицы записываются названия классов легенды классификации проверяемого набора данных, по второй — классы легенды данных, используемых для проверки (рисунок 9).

		Реальные классы					Σ
		A	B	C	D	E	
Расчетные классы	A	n_{AA}	n_{AB}	n_{AC}	n_{AD}	n_{AE}	n_{A-}
	B	n_{BA}	n_{BB}	n_{BC}	n_{BD}	n_{BE}	n_{B-}
	C	n_{CA}	n_{CB}	n_{CC}	n_{CD}	n_{CE}	n_{C-}
	D	n_{DA}	n_{DB}	n_{DC}	n_{DD}	n_{DE}	n_{D-}
	E	n_{EA}	n_{EB}	n_{EC}	n_{ED}	n_{EE}	n_{E-}
Σ		n_{-A}	n_{-B}	n_{-C}	n_{-D}	n_{-E}	N

Рисунок 9 — Матрица ошибок

Главная диагональ матрицы показывает случаи, где расчетные классы и реальные данные совпадают (правильная классификация). Сумма значений диагональных элементов показывает общее количество правильно классифицированных пикселей, а отношение этого количества к общему количеству пикселей в матрице N называется общей точностью классификации и обычно выражается в процентах:

$$overall\ accuracy = \frac{n_{AA} + n_{BB} + n_{CC} + n_{DD} + n_{EE}}{N}, \quad (5)$$

где n_{AA} , n_{BB} , n_{CC} , n_{DD} , n_{EE} , N — значения соответствующих ячеек матрицы ошибок.

Для определения точности определенного расчетного класса, необходимо разделить количество правильно классифицированных пикселей этого класса на общее количество пикселей в этом классе согласно проверочным данным. Этот показатель также называют «точностью производителя» (*producer's accuracy*), так как он показывает, насколько хорошо результат классификации для этого класса совпадает с проверочными данными. Для класса А:

$$producer's\ accuracy_A = \frac{n_{AA}}{n_{-A}}. \quad (6)$$

Похожий показатель может быть вычислен для реального класса, если разделить количество правильно классифицированных пикселей класса на общее количество пикселей в этом классе согласно проверяемым данным. Этот показатель называют «точностью пользователя» (*user's accuracy*), так как он показывает пользователю классификации насколько вероятно, что данный класс совпадает с результатами классификации. Для класса А:

$$user's\ accuracy = \frac{n_{AA}}{n_{A-}}. \quad (7)$$

Вне-диагональные элементы показывает случаи несовпадения между расчетными и реальными классами (ошибки классификации).

Построение матрицы ошибок производится по сегменту изображения, представленного на рисунке 10, выборка для реального класса производится при помощи инструментов информационной системы Quantum GIS.



Рисунок 10 — Сегмент изображения

Матрица ошибок для индекса NDWI представлена на рисунке 11. Поля «Да» и «Нет» отражают количество попавших в класс водной поверхности пикселей.

NDWI	Реальный класс			
		ДА	НЕТ	Σ
ДА		14110	14	14124
НЕТ		483	93513	93996
Σ		14593	93527	108120

Рисунок 11 — Матрица ошибок для индекса NDWI

Расчет общей точности классификации производится по формуле (5), для индекса NDWI она равна:

$$overall\ accuracy_{NDWI} = \frac{14110 + 93513}{108120} = 0,99.$$

Точность производителя для класса водной и неводной поверхности для индекса NDWI рассчитывается по формуле (6) и равна:

$$producer's\ accuracy_{ДА} = \frac{14110}{14593} = 0,96,$$

$$producer's\ accuracy_{НЕТ} = \frac{93513}{93527} = 0,99.$$

Точность производителя для класса водной поверхности — 96%, для неводной — 99%. Это означает, что с точностью 96% пиксели реального класса, принадлежавшие воде, были классифицированы индексом как водные, а с точностью 99% неводные пиксели были отнесены алгоритмом к классу неводной поверхности.

Точность пользователя рассчитывается по формуле (7) и для индекса NDWI она равна:

$$user's\ accuracy_{NDWI} = \frac{14110}{14124} = 0,99.$$

Точность пользователя для класса водной поверхности — 99%. Высокая точность пользователя показывает, что в классификации мало ошибок комиссии (error of commission), т.е. мало пикселей, не являющихся водой, были классифицированы как водные.

Матрица ошибок для индекса NDVI представлена на рисунке 12.

NDVI	Реальный класс			Σ
		ДА	НЕТ	
	ДА	14505	217	14722
	НЕТ	713	92685	93398
	Σ	15218	92902	108120

Рисунок 12 — Матрица ошибок для индекса NDVI

Общая точность классификации, точности производителя и точность пользователя для индекса NDVI равны:

$$overall\ accuracy_{NDVI} = \frac{14505 + 92685}{108120} = 0,99,$$

$$producer's\ accuracy_{ДА} = \frac{14505}{15218} = 0,95,$$

$$producer's\ accuracy_{НЕТ} = \frac{92685}{92902} = 0,99,$$

$$user's\ accuracy_{NDVI} = \frac{14505}{14722} = 0,98.$$

Матрица ошибок для индекса NDSI представлена на рисунке 13.

NDSI	Реальный класс			Σ
		ДА	НЕТ	
	ДА	14490	417	14961
	НЕТ	396	92763	93159
	Σ	14886	93108	108120

Рисунок 13 — Матрица ошибок для индекса NDSI

Общая точность классификации, точности производителя и точность пользователя для индекса NDSI равны:

$$overall\ accuracy_{NDSI} = \frac{14490 + 92763}{108120} = 0,99,$$

$$producer's\ accuracy_{ДА} = \frac{14490}{14886} = 0,97,$$

$$producer's\ accuracy_{НЕТ} = \frac{92763}{93108} = 0,99,$$

$$user's\ accuracy_{NDVI} = \frac{14590}{14961} = 0,97.$$

Обобщающая таблица для результатов классификации фрагмента снимка при помощи индексов NDWI, NDVI и NDSI представлена на рисунке 14.

Индекс	Общая точность	Точность производителя для класса воды	Точность производителя для неводного класса	Точность пользователя
NDWI	99%	96%	99%	99%
NDVI	99%	95%	99%	98%
NDSI	99%	97%	99%	97%

Рисунок 14 — Сводная таблица

Как видно из таблицы, представленной на рисунке 14, все 3 индекса показывают высокую общую точность на тестовых данных, из чего следует, что каждый из данных индексов можно использовать для разработанного алгоритма, получая относительно точные результаты классификации. Индекс NDWI имеет наиболее высокую точность пользователя, это означает, что данный индекс имеет наименьшее количество ошибок в неправильной классификации неводных пикселей. Наибольшей точностью производителя для класса воды обладает индекс NDSI, который показывает, что наибольшее количество водных

пикселей, классифицированных как водные, было определено данным индексом. Также каждый индекс обладает высоким показателем точности производителя для неводного класса, что связано с большой площадью территории, не занятой водой.

Анализируя совокупность показателей точности классификации, можно сделать вывод, что наиболее оптимальным будет использования индекса NDWI, который показывает относительно высокие показатели по всем четырем параметрам, а также имеет наименьшее количество ошибок комиссии.

2.3 Применение полученных результатов для анализа возможных подтоплений опор ВЛЭП

Для оценки влияния сезонных изменений площади воды на проходящие вблизи опоры ВЛЭП, необходимо наличие векторных слоев, содержащих данные об этих опорах. На рисунке 15 представлен фрагмент линий электропередач, пересекающих исследуемый участок реки Енисей.

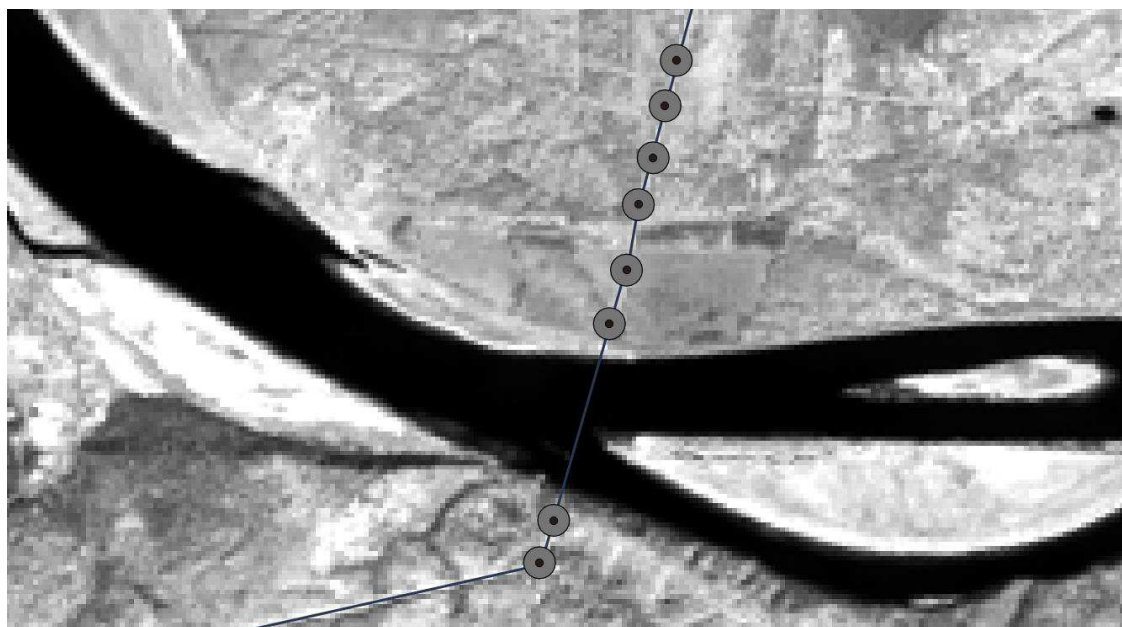


Рисунок 15 — Векторный слой ВЛЭП и их опор

В целях анализа рисков подтопления, вокруг каждой опоры была выделена буферная зона, радиус которой был принят равным соответствующей охранной зоне ВЛЭП. Согласно ГОСТ 12.1.051-90 «ССБТ. Электробезопасность. Расстояния безопасности в охранной зоне линий электропередачи напряжением свыше 1000 В» охранный зона воздушных линий электропередачи, проходящих через водоемы (реки, каналы, озера и т.д.) принимается равной 100 м (\pm 30 м, учитывая аппаратные особенности спутника Landsat-8).

Для определения динамики изменения площади водной поверхности был использован разработанный алгоритм, который позволяет провести автоматизированную обработку спутникового изображения на предмет наличия водных объектов. Обработывая снимки за разные временные периоды, можно получить представление об изменении площади данного участка водного объекта во время различных фаз водного режима в течении нескольких лет.

В качестве проверочных данных были взяты фрагменты снимков реки Енисей за период конца лета 2015 года, а также конца мая — середины июня 2013–2016 годов. Пример полученных результатов представлен на рисунке 16.

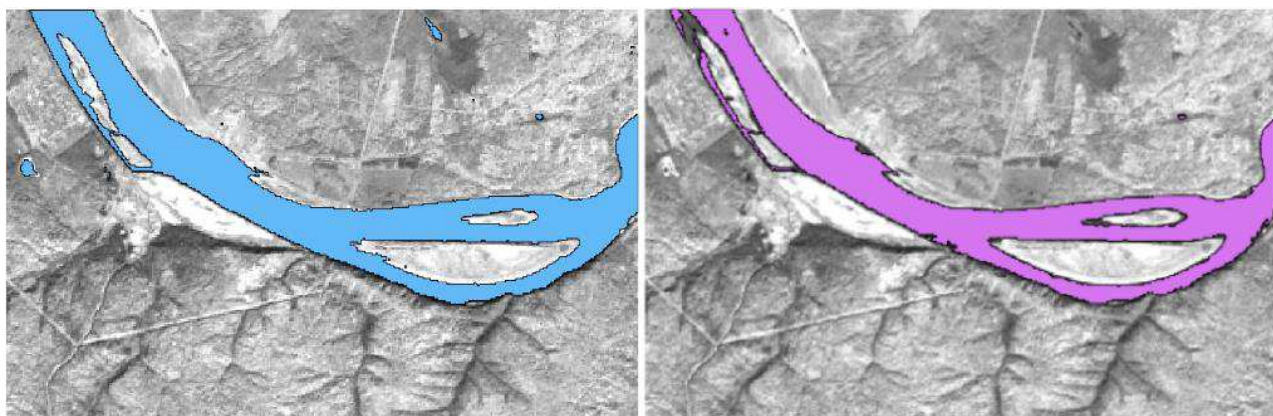


Рисунок 16 — Векторный слой водной поверхности за конец мая 2016 (слева) и начало сентября 2015 (справа)

Для оценки изменения площади воды был использован инструмент геоинформационной системы Quantum GIS модуля fTools «Разность». Данный инструмент совмещает слои таким образом, что в выходном слое содержатся

только те участки, которые не пересекаются со слоем отсечения. Таким образом, указав в качестве исходного слой водной поверхности за конец мая 2016, а в качестве отсекающего слой начала сентября, были получены результаты изменения площади реки за данный период (рисунок 17). Полученные результаты можно интерпретировать как изменение вследствие весеннего половодья реки Енисей.

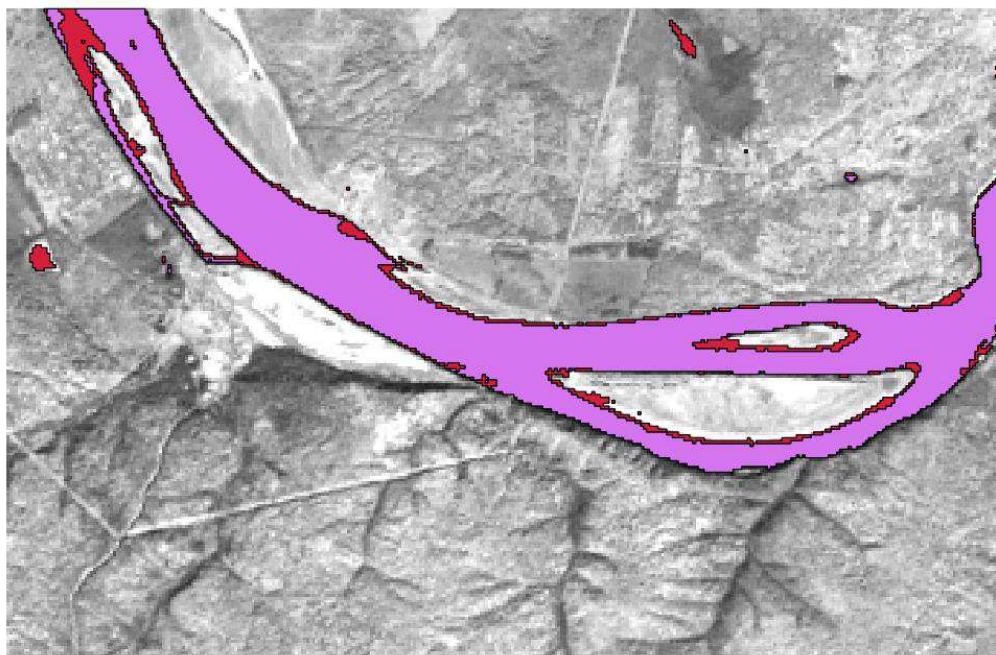


Рисунок 17 — Разность слоев водной поверхности

Для получения более полной информации о динамике изменения площади водоема, разработанный алгоритм был применен на снимках периода половодья за разные годы съемки.

На рисунке 18 представлены результаты его работы, представляющие собой снимки водной поверхности в периоды половодья с 2013 по 2016 год. Совмещая данную информацию с результатами, полученными в период нормального уровня воды и представленными на рисунке 16, можно отметить значительное увеличение площади водной поверхности в период половодья. Однако несмотря на это, можно заметить относительную стабильность уровня

воды в районе пролегания опор ВЛЭП, даже в годы наибольшего изменения площади водоема, например, в 2014 и 2016 годах.

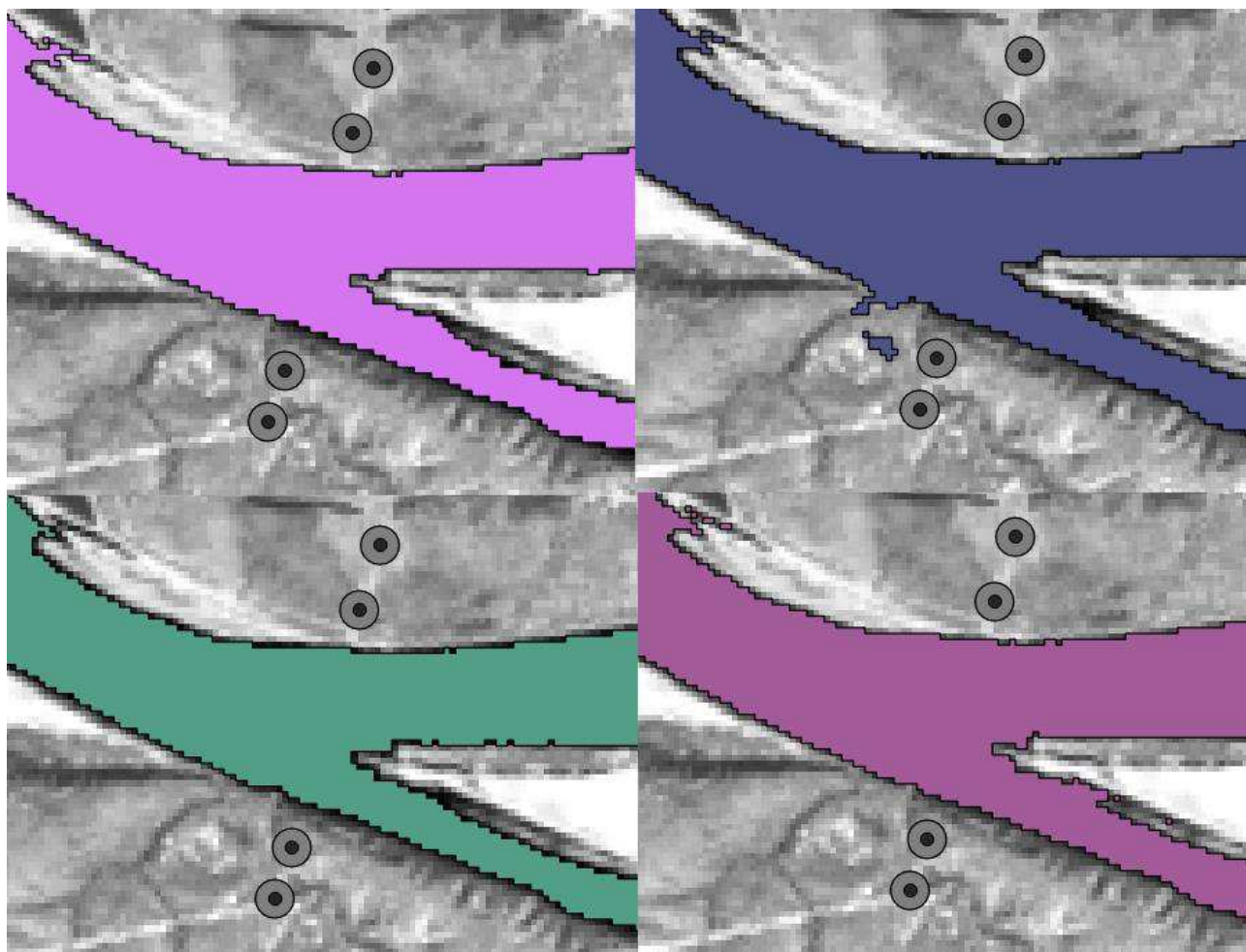


Рисунок 18 — Снимок водоема в периоды половодья (слева направо): 2013, 2014, 2015, 2016 года

Объединив полученную информацию с данными о пролегающих в данном участке реки опорах ВЛЭП, можно заметить большую удаленность опор от водоема даже в периоды половодья, сопровождающимся наибольшим увеличением уровня воды в реке. Данное расстояние, как минимум, в два раза больше предустановленных ранее размеров буферных зон опор (рисунок 19).

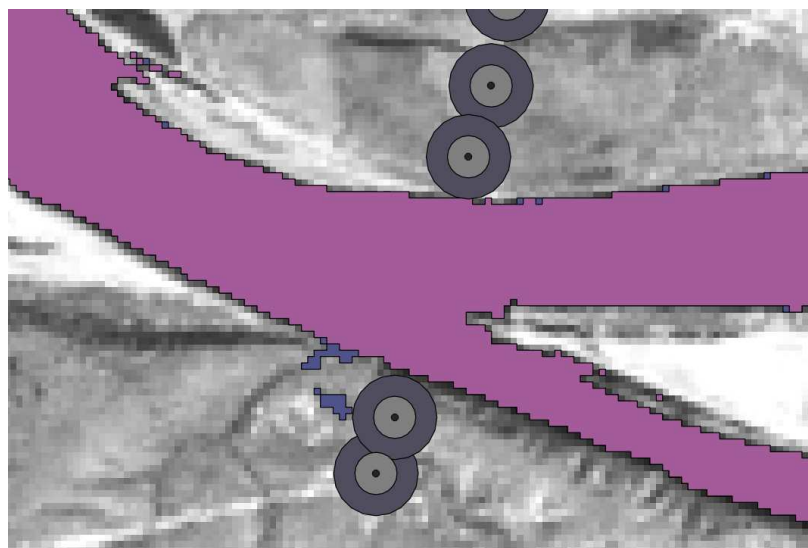


Рисунок 19 — Удаленность опор в сравнении с удвоенным размером буферной зоны

Вследствие стабильности увеличения уровня воды в периоды половодья за разные годы, а также большой удаленности водной поверхности от охранной зоны опор, можно сделать вывод, что опоры ВЛЭП, пролегающие в данном участке реки Енисей, имеют низкий риск подтопления.

2.4 Вывод по главе 2

В данной главе была проведена разработка и реализация алгоритма детектирования воды на спутниковом изображении. Были перечислены входные и выходные данные, а также представлено описание подмодулей. После того, как были получены результаты работы алгоритма на тестовых данных, посредством построения и анализа матрицы ошибок был выбран используемый спектральный индекс. На исследуемом участке реки Енисей был проведен анализ сезонных изменений площади водной поверхности в результате половодья, а также сделан вывод о риске подтопления опор ВЛЭП, пролегающих через данный участок водоема.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Спутниковый мониторинг, сегментация и классификация снимков, извлечение данных из спутниковых изображений, а также использование данных дистанционного зондирования Земли в целом, находят большое применение в современных информационных системах. В ВКР рассматривалось применение данных технологий на примере анализа сезонных подтоплений опор ВЛЭП.

В работе были рассмотрены современные Российские геоинформационные системы мониторинга чрезвычайных ситуаций, функции которых наиболее схожи с исследуемой проблемой, однако не решающие ее. Был произведен обзор и краткое сравнение возможных методов детектирования воды на спутниковом изображении, по результатам которого был выбран метод расчета спектральных индексов.

На основе выбранного метода был разработан и реализован алгоритм, позволяющий автоматизированно получить векторный файл дешифрованной водной поверхности на снимке. Тип используемого индекса был определен при помощи расчета ошибки классификации и построения матрицы ошибок, после получения результатов работы алгоритма на тестовых данных.

При помощи векторных данных, полученных в результате работы алгоритма, был проведен анализ возможных подтоплений опор ВЛЭП выделенного участка реки Енисей Красноярского края.

Разработанный в процессе исследования алгоритм может быть использован как модуль информационной системы, предоставляя возможность детектирования водной поверхности на спутниковом изображении.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Обязов, В.А. Изменения климата в междуречье Аргуни и Онона в контексте глобального потепления [Текст] / В.А. Обязов — Вестник Забайкальского государственного университета, 2011 – № 7 – С. 78–85.
2. Тертышников, А.В. Оперативный космический мониторинг ЧС: история, состояние и перспективы. [Текст] / А.В. Тертышников, А.А. Кучейко — Земля из космоса, 2010 – выпуск 4.
3. Ms. Zhou You. Small Satellite Constellation for Environment and Disaster Monitoring and Forecasting (SSCEDMF) [Текст] / Ms. Zhou You — Satellite Disaster Reduction Application Center Ministry of Civil Affairs, CHINA, June 2009.
4. Farooq, S. Spectral Reflectance of Land Covers [Текст] / S. Farooq — Department of Geology Aligarh Muslim University, Aligarh (India).
5. Koutsandereas John D. Proceedings [Текст] / John D. Koutsandereas — Environmental Protection Agency, Office of Monitoring Systems, 1973.
6. Лабутина, И.А. Использование данных дистанционного зондирования для мониторинга экосистем ООПТ. Методическое пособие [Текст] / И.А. Лабутина, Е.А. Балдина — Всемирный фонд дикой природы (WWF России). Проект ПРООН/ГЭФ/МКИ «Сохранение биоразнообразия в российской части Алтае-Саянского экорегиона» – М., 2011. – 88 с.
7. Чабан, Л.Н. Тематическая классификация многозональных (многослойных) изображений в пакете ERDAS. Методические указания. [Текст] / Л.Н. Чабан — МИИГАиК, 2006. – 44 с.
8. Ji, L. Analysis of dynamic thresholds for the normalized difference water index [Текст] / L. Ji, L. Zhang, B. Wylie — Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 2009 – №75. P. 1307–1317.
9. Гильмуллин, Т.М. Применение нейросетей для решения классических задач линейного и нелинейного разделения элементов множества на классы [Текст] / Т.М. Гильмуллин — Математика и алгоритмы: сб. ст., 2013.

10. Morse, Bryan S. Morse. Thresholding. [Текст] / Bryan S. Morse — Brigham Young University, 2000.
11. Meilbya, Henrik. Automated Water Extraction Index: A New Technique for Surface Water Mapping Using Landsat Imagery [Текст] / Gudina L. Feyisaa, Henrik Meilbya, Rasmus Fensholtb, Simon R. — Remote Sensing of Environment, January 2014 – Proud 140:23–35.
12. Cox, Helen. Mapping snow cover using MODIS Part II: Normalized Difference Snow Index [Текст] / Helen Cox, Maziyar Boustani, Laura Yetter — California State University – Northridge, 2014.
13. Hall, Dorothy K. Normalized-Difference Snow Index (NDSI) [Текст] / Dorothy K. Hall, George A. Riggs — Encyclopedia of Snow, Ice and Glaciers Part of the series Encyclopedia of Earth Sciences Series, 26 August 2014 – pp 779–780.
14. СТО 4.2-07-2014 Система менеджмента к построению, изложению и оформлению документов учебной деятельности. – Введ. 30.12.2013. – Красноярск: СФУ, 2013. – 60 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Плакаты презентации



Рисунок А.1 — Плакат презентации 1

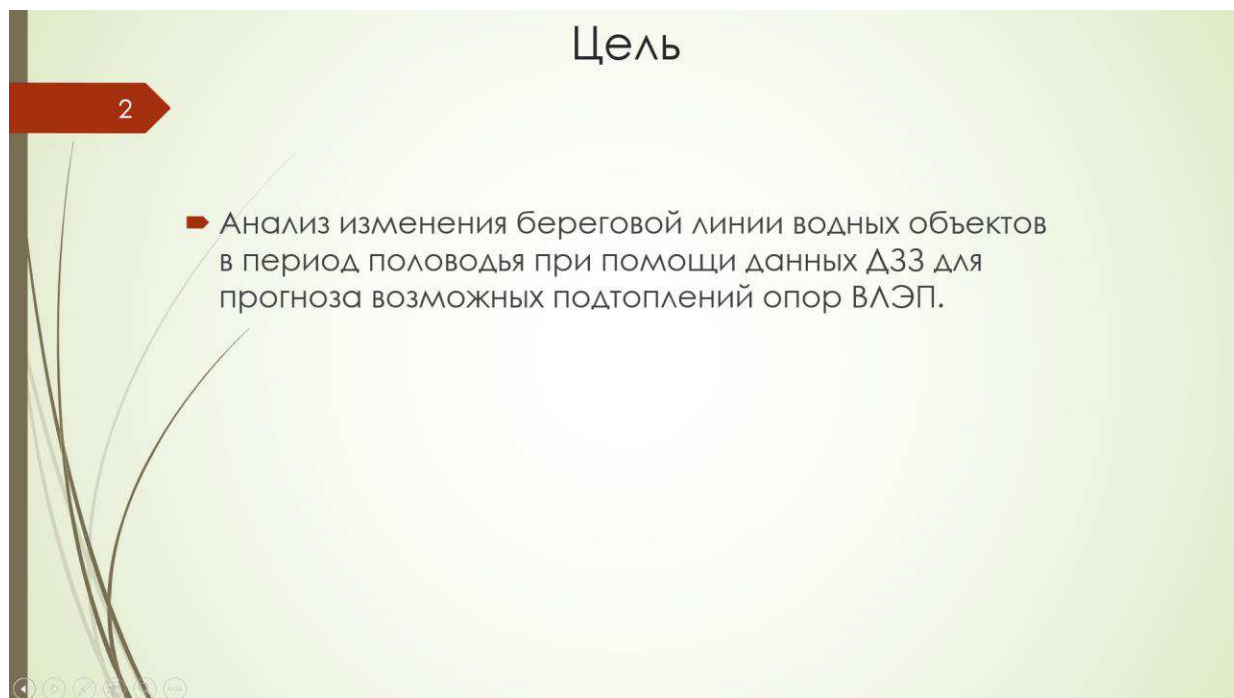


Рисунок А.2 — Плакат презентации 2

Задачи

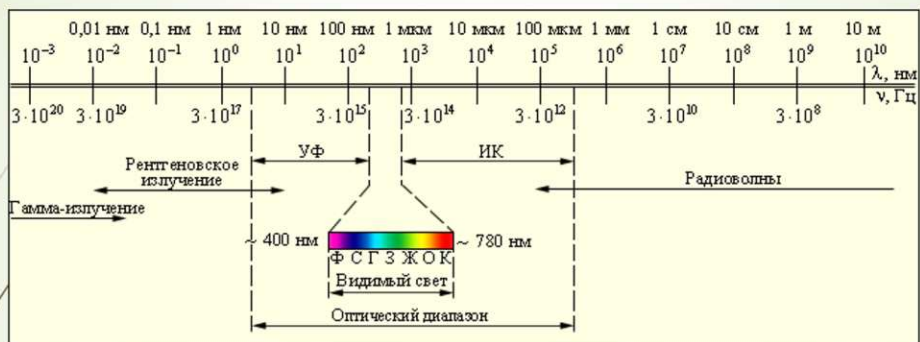
3

- Обзор и анализ способов детектирования водных объектов по спутниковым изображениям среднего и высокого разрешения;
- Разработка программного алгоритма детектирования водных объектов с применением анализа спектральных характеристик;
- Программная реализация разработанного алгоритма;
- Анализ риска подтопления опор ВЛЭП при помощи результатов работы алгоритма.

Рисунок А.3 — Плакат презентации 3

Спектральные признаки водных объектов

4



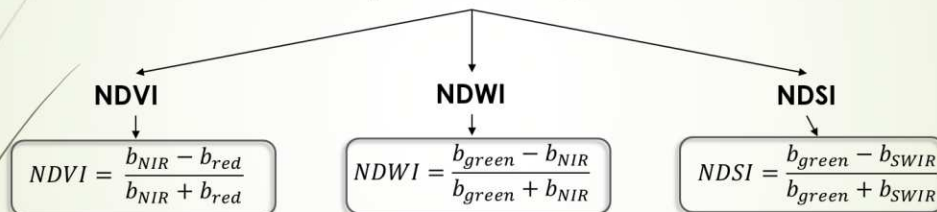
- Высокая отражательная способность коротких длин волн, соответствующих синему цвету;
- Длины волн, соответствующие зеленому цвету, обладают наибольшей проникающей способностью;
- Почти полное поглощение инфракрасного спектра.

Рисунок А.4 — Плакат презентации 4

Обзор способов детектирования водных объектов с использованием спектральных характеристик

5

Спектральные индексы



Тип объекта	Значение NDVI	Значение NDWI	Значение NDSI
Снег и лед	$-0,20 < X < -0,05$	$X > 0,7$	$X > 0,4$
Вода	$-0,5 < X < 0$	$0 < X < 0,7$	$0,2 < X < 0,5$

Рисунок А.5 — Плакат презентации 5

Описание алгоритма

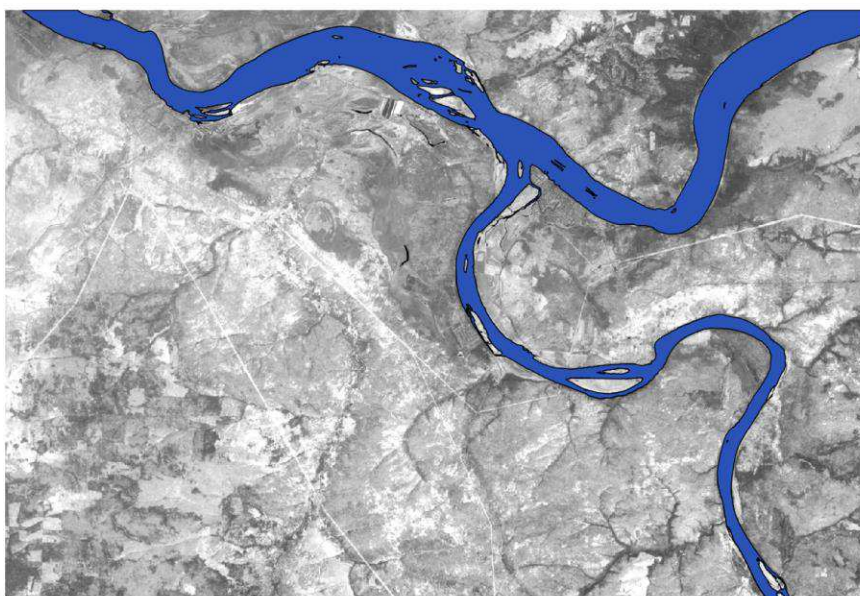
6



Рисунок А.6 — Плакат презентации 6

Сравнение результатов работы алгоритма

7

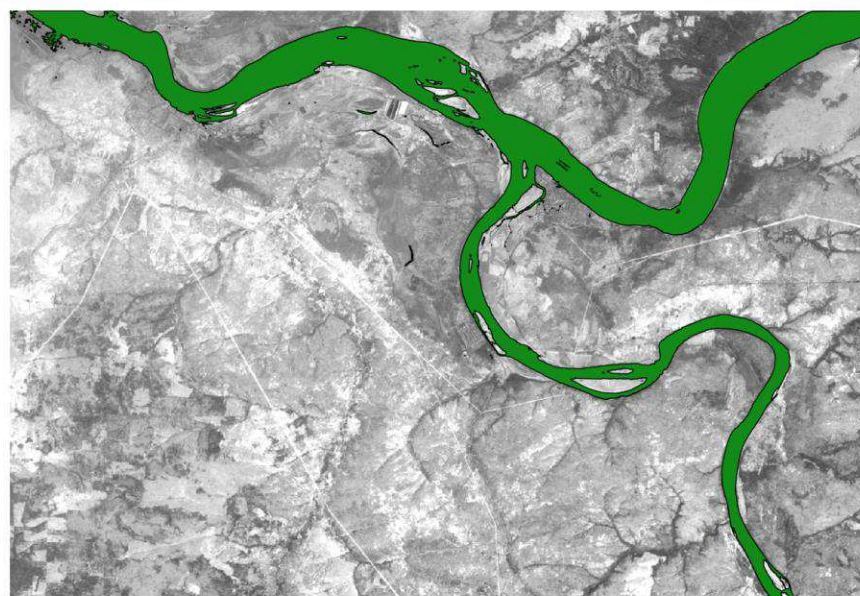


NDWI

Рисунок А.7 — Плакат презентации 7

Сравнение результатов работы алгоритма

8

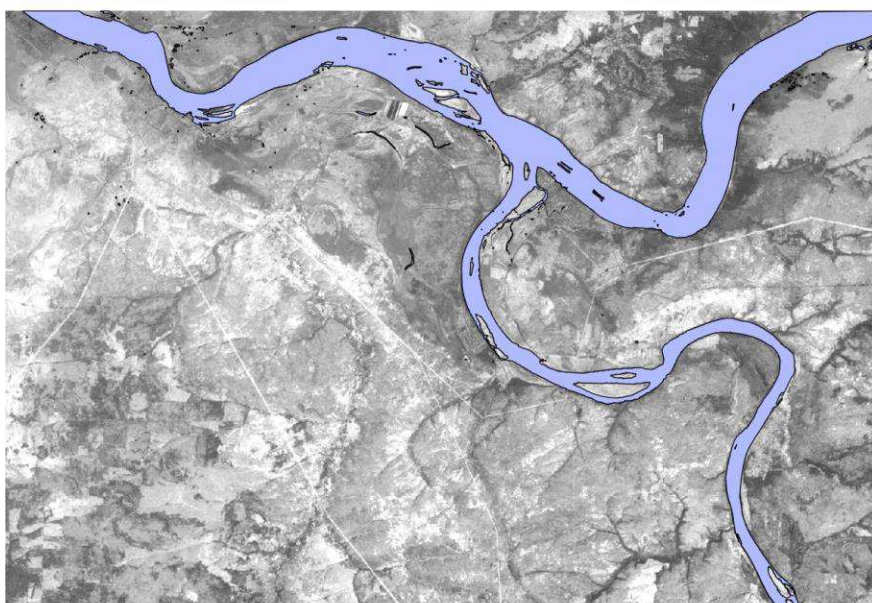


NDVI

Рисунок А.8 — Плакат презентации 8

Сравнение результатов работы алгоритма

9



NDSI

Рисунок А.9 — Плакат презентации 9

Сравнение результатов работы алгоритма

10



$$\text{overall accuracy} = \frac{n_{AA} + n_{BB} + n_{CC} + n_{DD} + n_{EE}}{N}, \quad (1)$$

где n_{AA} , n_{BB} , n_{CC} , n_{DD} , n_{EE} , N — значения соответствующих ячеек матрицы ошибок.

$$\text{producer's accuracy}_A = \frac{n_{AA}}{n_{-A}}, \quad (2)$$

$$\text{user's accuracy} = \frac{n_{AA}}{n_{A-}}. \quad (3)$$

Индекс	Общая точность	Точность производителя для класса воды	Точность производителя для неводного класса	Точность пользователя
NDWI	99%	96%	99%	99%
NDVI	99%	95%	99%	98%
NDSI	99%	97%	99%	97%

Рисунок А.10 — Плакат презентации 10

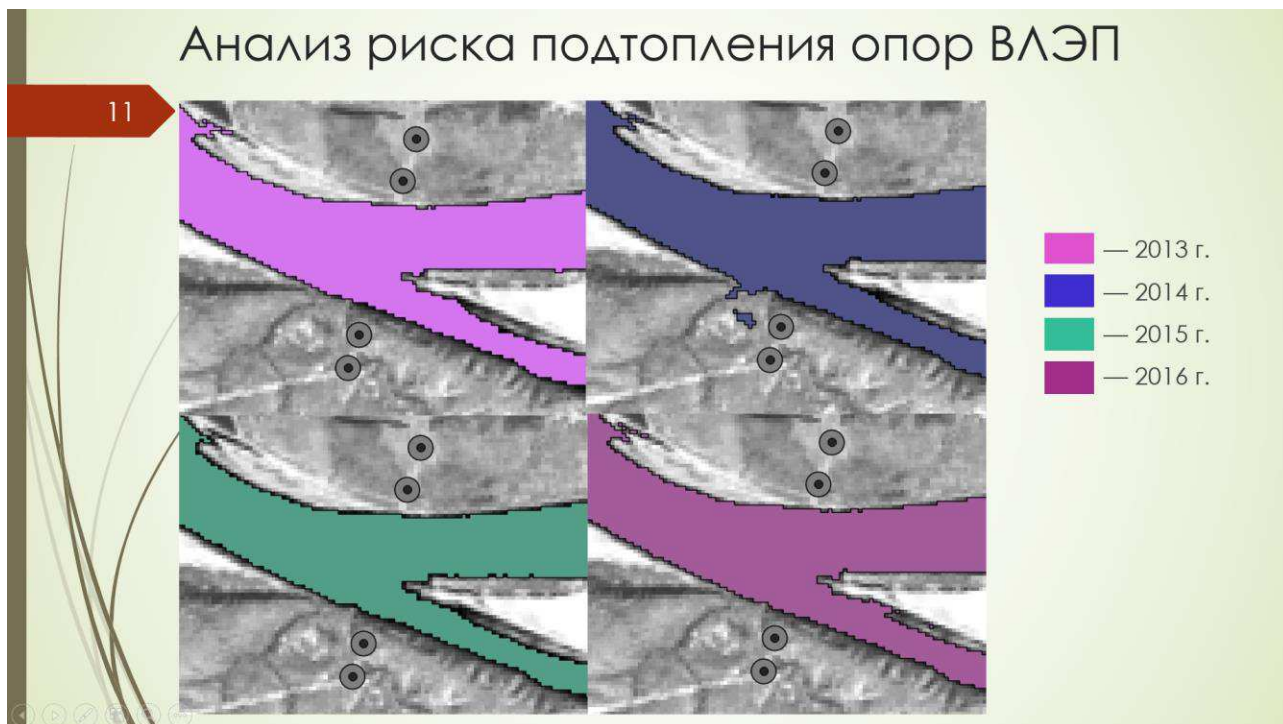


Рисунок А.11 — Плакат презентации 11

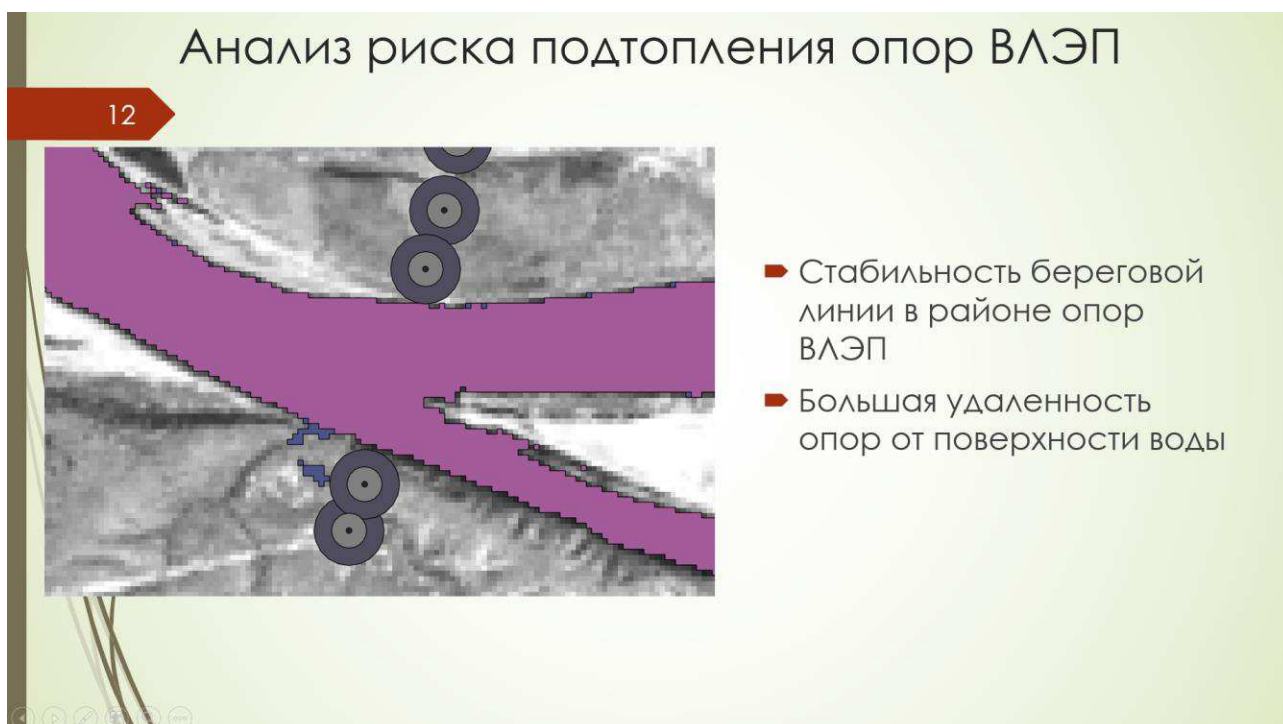


Рисунок А.12 — Плакат презентации 12

Заключение

13

- ▶ Проведен обзор спектральных характеристик и методов детектирования воды;
- ▶ Разработан и реализован алгоритм детектирования водной поверхности по спутниковому изображению;
- ▶ Проведен анализ риска подтопления опор ВЛЭП на выделенном участке реки Енисей.

Рисунок А.13 — Плакат презентации 13

Заявление о согласии выпускника на размещение выпускных квалификационных работ в электронном архиве ФГАОУ ВО СФУ

1 Я, Вырвинский Андрей Геннадьевич

студент Института космических и информационных технологий группы КИ13-14Б

Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Сибирский федеральный университет» (далее – ФГАОУ ВО СФУ), разрешаю ФГАОУ ВО СФУ безвозмездно воспроизводить и размещать (доводить до всеобщего сведения) в полном объеме написанную мною в рамках выполнения образовательной программы выпускной квалификационной работы бакалавра

на тему: Анализ сезонных подтоплений опор ВЛЭП по данным ДЗЗ

в открытом доступе на веб-сайте СФУ, таким образом, чтобы любой пользователь данного портала мог получить доступ к выпускной квалификационной работе (далее – ВКР) из любого места и в любое время по собственному выбору, в течение всего срока действия исключительного права на выпускную работу.

2 Я подтверждаю, что выпускная работа написана мною лично, в соответствии с правилами академической этики и не нарушает авторских прав иных лиц.

« 20 » июня 2017г.



подпись