Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное бюджетное
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«УДМУРТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Институт естественных наук
Кафедра географии, картографии и геоинформатики

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
НА ТЕМУ

ПОСТРОЕНИЕ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ МЕСТНОСТИ НА БАЗЕ ДАННЫХ СПУТНИКОВОЙ МНОГОЗОНАЛЬНОЙ СЪЕМКИ И ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ РЕЛЬЕФА

Работу выполнила студентка группы ОБ-05.03.03-41
Белорусова Екатерина Юрьевна /_____/

Научный руководитель: к. г. н., доцент кафедры географии, картографии и геоинформатики
Рублева Елена Алексеевна /_____/

Зав. кафедрой географии, картографии и геоинформатики,
к.г.н., Сидоров Валерий Петрович

_____
(решение о допуске)

_____
(подпись)

«___» _____20___г.

Ижевск – 2026 г.

ВКР УдГУ

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 3
ГЛАВА 1. ОСНОВНЫЕ ВИДЫ ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЕЙ В ГИС 6
1.1. Понятие и виды 6
1.2. Источники данных для создания ЦММ 12
ГЛАВА 2. ДАННЫЕ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ И ИХ ОБРАБОТКА 16
2.1. Методы дистанционного зондирования 16
2.3. Спутники Landsat 19
ГЛАВА 3. ДЕШИФРИРОВАНИЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ 23
3.1. Понятие дешифрирования и его методы 23
3.2. Дешифрирование в QGIS 26
ГЛАВА 4. ПОСТРОЕНИЕ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ МЕСТНОСТИ В QGIS 29
4.1. Получение цифровых моделей рельефа 29
4.2. Создание цифровой модели местности. 34
4.3. Создание цифровой модели местности с использованием данных дешифрирования и цифровых моделей рельефа 44
ЗАКЛЮЧЕНИЕ 47
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ 48
ПРИЛОЖЕНИЕ 51

ВКР УлГУ

ВВЕДЕНИЕ

Основным фактором развития человеческой цивилизации сегодня становятся информационные ресурсы, а информация является неотъемлемой частью всех видов человеческой деятельности. Важнейшей составляющей информации является геоинформация.

Хотя компьютерные технологии активно развиваются, некоторые задачи моделирования и структурирования данных всё ещё не имеют оптимального решения. В то же время в разных отраслях появляются новые программные продукты — они помогают работать эффективнее: быстрее и точнее.

Спрос на реалистичное представление пространственных данных ускоряет развитие технологий трёхмерного моделирования объектов и пространств.

Моделирование местности и её последующий анализ на основе построенных моделей становятся неотъемлемой составляющей научных исследований в области наук о Земле, экологии, прикладной географии, земельного кадастра и инженерных проектов.

Цифровая обработка пространственных данных и их представление в виде цифровых моделей местности широко применяются для решения разнообразных задач: анализ распространения участков загрязнений, метеорологии и климатологии, моделирование месторождений, коммуникаций, сооружений, видимости и затопления территорий, изучении склоновых процессов, водного стока, миграции химических элементов, а также во многих проектах по устойчивому развитию территорий.

Активное внедрение дистанционных методов исследования окружающей среды требует совершенствования методик дешифрирования — важного элемента комплексного процесса разработки и составления карт [12].

Актуальность выпускной квалификационной работы заключается в том, что в эпоху цифровизации и стремительного развития геоинформационных технологий создание точных и детализированных

ВКР УдГУ

цифровых моделей местности приобретает особую важность. Использование цифровых моделей рельефа в сочетании с данными спутниковой многозональной съемки дает возможность получать многостороннюю информацию о территории. Современные общества сталкиваются с комплексом задач в области территориального планирования, сельского хозяйства, мониторинге окружающей среды, чрезвычайных ситуаций, и градостроительства, решение которых невозможно без точных пространственных данных и их визуального представления.

Целью выпускной квалификационной работы является построение цифровой модели местности на базе данных спутниковой многозональной съемки и цифровой модели рельефа.

Для достижения цели необходимо выполнить *следующие задачи*:

1. Определить понятия цифровой модели рельефа, цифровой модели местности и цифровой модели ситуации;
2. Изучить методы дистанционного зондирования Земли и характеристики спутников;
3. Проанализировать основные методы дешифрирования;
4. Построить цифровую модель местности в QGIS, используя данные дистанционного зондирования.

Объект исследования – методы, алгоритмы и технологические приёмы, обеспечивающие построение ЦММ на основе данных спутниковой съёмки и ЦМР.

Предмет исследования – построение цифровой модели местности.

Теоретическую и методологическую основу работы составили научные труды авторов: Т. А. Хлебниковой, С. Р. Горбцова, Е. Д. Добровольской, Р. В. Пермякова, Л. А. Головиной, Д. С. Дубовик, Д. В. Лисицкого, Е. А. Жалковского, Е. И. Халугина, Т. В. Верещака, Н. С. Подобедова, Б. Б. Серапинаса, И. К. Лурье, А. М. Берлянта, Е. Г. Капралова, А. В. Кошкарева, В. С. Тикунова, А. И. Мартыненко, Т. П. Варшаниной, О. А. Плисенко, В. Я. Цветкова.

ВКР УлГУ

В ходе исследования автором использовалась система методов: теоретический, описательный, картографический, геоинформационный.

Информационной базой исследования выступил материал данных дистанционного зондирования Земли в виде данных спутниковой многозональной съемки (Landsat 8,9) и цифровых моделей рельефа: SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), ALOS (AW3D30), Copernicus и FABDEM.

Практическая значимость работы. Технология, используемая автором при данном исследовании, может быть использована для построения цифровых моделей местности в таких областях как: геодезия, картография, кадастр, градостроительство, транспортная система, экология, сельское хозяйство и МЧС.

ВКР УДГУ

ГЛАВА 1. ОСНОВНЫЕ ВИДЫ ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЕЙ В ГИС

1.1. Понятие и виды

Развитие автоматизированных методов обработки информации способствовало формированию нового направления в моделировании — цифрового моделирования, а также появлению соответствующих геопространственных продуктов, таких как цифровые модели местности (ЦММ) и цифровые модели рельефа (ЦМР).

Термин «цифровые» происходит от понятия «цифровые вычислительные машины» (ЦВМ). На начальных этапах развития вычислительной техники выделяли два типа машин: аналоговые (АВМ) и цифровые (ЦВМ).

Оцифровка (digitizing, digitising, digitalization) представляет собой информационную технологию преобразования аналоговых данных в дискретную (цифровую) форму, пригодную для обработки с помощью компьютерных систем [7].

Аналоговые вычислительные машины обрабатывали непрерывные сигналы посредством специализированных электронных схем, выполнявших функциональное преобразование информации. Алгоритм обработки задавался через переходную характеристику такой схемы [17].

Для дифференцирования непрерывного сигнала, поступающего на вход системы, применялась дифференцирующая цепочка: в результате исходный сигнал преобразовывался в непрерывную производную от него. Аналогичным образом выполнялись операции интегрирования и решения дифференциальных уравнений.

Таким образом, алгоритм обработки информации был жёстко реализован в электронной схеме и не допускал перестройки. Это обусловило узкоспециализированный характер аналоговых ЭВМ и высокую стоимость их производства.

ВКР УлГУ

Цифровые вычислительные машины (ЦВМ) преобразовывали аналоговые сигналы в дискретные последовательности без потери информативности [9].

Чтобы обработать данные на ЦВМ, их нужно было оцифровать — перевести в цифровую форму, что и определило суть термина «цифровой».

Преимущества ЦВМ перед АВМ:

- универсальность за счёт программных решений;
- более низкая стоимость производства.

Благодаря этим преимуществам ЦВМ вытеснили аналоговые машины. Сегодня АВМ почти не используются — кроме отдельных специализированных устройств. Поскольку все ПК цифровые, термин «цифровой» по отношению к компьютерам уже не применяют [12].

Термин «цифровой» сохранился для обозначения ряда данных и систем (например, цифровых методов, снимков, фотокамер, данных и информации). В современном употреблении он указывает на то, что информация в таких данных и системах представлена в дискретной форме и предназначена для обработки с помощью современных компьютерных технологий [13].

В информатике и геоинформатике цифровое моделирование основано на применении математических методов и программных средств для построения моделей объектов. Такой подход позволяет эффективно анализировать, визуализировать и прогнозировать свойства и поведение изучаемых систем [2].

Цифровая модель рельефа (ЦМР), или Digital Elevation Model (DEM), - это трёхмерное математическое и компьютерное представление земной поверхности (Рис. 1). В отличие от более комплексной цифровой модели местности (ЦММ), которая включает все объекты на поверхности (здания, растительность, инфраструктуру), ЦМР отображает исключительно «голую» землю - рельеф без антропогенных и природных объектов.

ВКР УлГУ

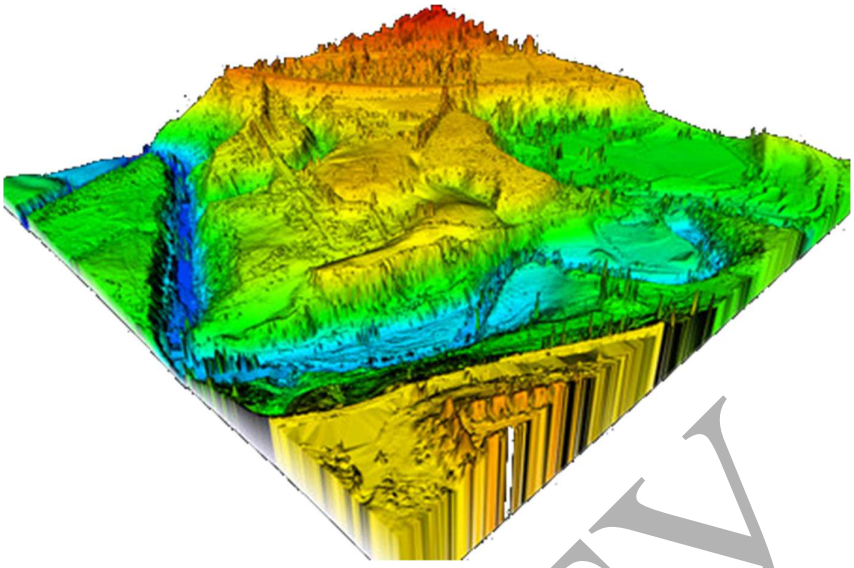


Рис. 1. Цифровая модель рельефа [24]

Структура данных

Основу любой ЦМР составляет массив точек с пространственными координатами (X,Y) и высотной отметкой (Z). Способы организации данных различаются - каждый имеет свои преимущества и сферы применения:

- Регулярная сетка (GRID/растр). Поверхность разбивается на ячейки одинакового размера (пиксели), каждая из которых содержит единственное значение высоты. Формат удобен для геоанализа: расчёта уклонов, экспозиций склонов, гидрологического моделирования и других задач.
- Нерегулярная триангуляционная сеть (TIN). Рельеф моделируется в виде сети взаимосвязанных треугольников. Вершины треугольников - точки с известными координатами и высотой. Метод обеспечивает гибкую детализацию: в районах со сложным рельефом (горы, овраги) треугольники мельче, на равнинах - крупнее. Это экономит вычислительные ресурсы без потери точности.
- Изолинии (горизонтали). Рельеф представлен векторными линиями, соединяющими точки с равной высотой. Классический

ВКР УлГУ

картографический способ отображения, удобный для визуального анализа и традиционных карт.

Основные виды моделей рельефа

- Цифровая модель рельефа (ЦМР / DEM). Описывает поверхность земли, очищенную от всех объектов — растительности, зданий, сооружений. Показывает истинную форму земной поверхности.
- Цифровая модель поверхности (ЦМП / DSM - Digital Surface Model). Включает все объекты на земле: высоту леса (с кронами), зданий, ЛЭП и т.д. Например, в ЦМП высота лесного массива будет включать высоту деревьев, тогда как в ЦМР — только высоту земной поверхности под ними.

Ключевые технические параметры

Качество и применимость ЦМР определяются рядом характеристик:

1. Пространственное разрешение. Размер одной ячейки сетки или среднее расстояние между точками. Определяет минимальный объект, различимый на модели:
    - высокое разрешение (менее 1 м) - для детального проектирования дорог, зданий, анализа оползней, инженерных изысканий;
    - среднее разрешение (1–30 м) - подходит для регионального планирования, гидрологического моделирования, оценки водосборных бассейнов;
    - низкое разрешение (более 30 м) - применяется для глобальных климатических исследований, общего анализа рельефа, картографирования больших территорий.
2. Точность (вертикальная погрешность). Степень соответствия высотных значений в модели реальной местности. Измеряется в сантиметрах или метрах, часто оценивается через RMSE (среднеквадратическую ошибку). Современные модели, созданные по данным лидарной съёмки, достигают точности в несколько сантиметров. Зависит от источника данных и метода создания.

ВКР УлГУ

3. Плотность точек. Количество измерений высот на единицу площади (например, точек на квадратный метр). Высокая плотность обеспечивает плавную и детализированную картину рельефа, позволяя фиксировать даже небольшие формы (бугры, промоины, микрорельеф).
4. Формат хранения. Зависит от структуры данных:
    - растровые модели - GeoTIFF, ASCII Grid;
    - облака точек и TIN-сети - Shapefile, LAS/LAZ.
5. Актуальность данных. Временной срез, к которому относится модель. Рельеф может меняться из-за природных процессов (эрозия, оползни, абразия) или деятельности человека (карьеры, строительство, мелиорация). Для мониторинга изменений требуется регулярное обновление модели.

Значение ЦМР

Цифровая модель рельефа - фундаментальный геопространственный продукт. Её точность и разрешение напрямую определяют возможность решения широкого спектра задач:

- инженерные изыскания и проектирование инфраструктуры;
- гидрологическое моделирование (расчёт стока, зон затопления);
- анализ устойчивости склонов и оценка оползневой опасности;
- планирование землепользования и градостроительство;
- экологические исследования и мониторинг изменений ландшафта;
- климатические и геоморфологические исследования;
- создание топографических карт и визуализация рельефа.

ЦМР служит основой для множества прикладных и научных задач, где критически важна точная информация о форме и высотных характеристиках земной поверхности.

Цифровая модель ситуации (ЦМС) представляет собой систему элементов ситуации как множество условных знаков на плане, которыми отображается разнообразная топографическая информация [5].

ВКР УдГУ

Цифровая модель местности (ЦММ) – это трёхмерное цифровое представление участка земной поверхности и расположенных на нём объектов. Модель включает данные о рельефе, зданиях, растительности, инфраструктуре и других элементах ландшафта. Она может быть представлена как в двухмерном, так и в трехмерном пространстве.

Внутренняя архитектура ЦММ многогранна и адаптируется под конкретные задачи. Она может существовать в виде плотного «облака точек» -первозданного массива данных, полученного с лидара, где каждая точка несёт информацию о своём положении, цвете и интенсивности отражения. Для оптимизации и анализа эти данные преобразуются в структурированные форматы: TIN (нерегулярная триангуляционная сеть), где поверхность моделируется набором взаимосвязанных треугольников. Оптимальна для моделирования рельефа с переменной детализацией. Или GRID - регулярная сетка ячеек, каждая из которых содержит значение высоты или другого параметра. Удобна для геоанализа и расчётов. Кроме того, модель включает векторные объекты - точные цифровые контуры зданий, дорог и коммуникаций, обогащённые атрибутивной информацией (материал стен, тип покрытия, пропускная способность).

Качество и применимость ЦММ определяются набором строгих технических характеристик.

- Пространственное разрешение — это «зоркость» модели, её способность различать мелкие детали. Оно варьируется от сверхвысокого (сантиметры) для проектирования отдельного здания до низкого (десятки метров) для глобальных климатических исследований.
- Точность выступает мерой достоверности. Различают абсолютную точность (соответствие модели реальным координатам на местности) и относительную (правильность взаимного расположения объектов внутри самой модели).

ВКР УлГУ

- Атрибутивная наполненность превращает геометрическую модель в семантическую базу данных, где каждый объект описан по множеству параметров.
- Актуальность является критическим фактором: модель — это слепок реальности в конкретный момент времени, и её ценность для мониторинга изменений напрямую зависит от свежести данных.

Процесс создания этого цифрового двойника опирается на комплекс различных технологий: от воздушного и наземного лазерного сканирования (*LiDAR*) и фотограмметрии с использованием беспилотников до классических геодезических измерений и спутниковой съёмки.

В качестве итога можно сказать, что цифровая модель местности - это мощный аналитический инструмент, который позволяет не просто видеть территорию, но и моделировать её поведение: рассчитывать объёмы земляных работ, прогнозировать зоны затопления, анализировать видимость или интегрировать новые здания в существующую городскую ткань через *BIM*-технологии. Это переход от пассивного картографирования к активному управлению пространством, где точность геодезии встречается с мощью цифровых вычислений.

1.2. Источники данных для создания ЦММ

Источники пространственных данных составляют основу информационного обеспечения геоинформационных систем (ГИС).

Создание цифровой модели местности (ЦММ) - это многоэтапный процесс, основанный на интеграции данных из разнообразных источников. Выбор конкретного метода сбора данных зависит от ряда факторов: требуемой точности модели, масштаба проекта, выделенного бюджета и доступности исследуемой территории.

Основные источники данных для создания ЦММ

1. Дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ)

ВКР УлГУ

Этот метод - один из наиболее распространённых для построения моделей средних и крупных территорий. Включает несколько подходов:

Аэрофотосъёмка. Выполняется с использованием пилотируемых самолётов или вертолётов. Полученные снимки высокого разрешения обрабатываются методами фотограмметрии: по перекрывающимся изображениям строится трёхмерная модель. Это проверенный временем и надёжный метод.

Съёмка с беспилотных летательных аппаратов (БПЛА / дронов). Сегодня это один из самых востребованных методов благодаря оптимальному сочетанию высокой детализации, скорости сбора данных и относительно невысокой стоимости. БПЛА позволяют формировать облака точек с плотностью до сотен точек на квадратный метр, что обеспечивает сантиметровую точность итоговой модели.

Спутниковая съёмка. Применяется для создания региональных и глобальных моделей. Ключевое преимущество — огромный охват территории за один проход спутника. Пространственное разрешение коммерческих спутников обычно уступает авиационным методам, но постоянно совершенствуется.

2. Активное лазерное сканирование (LiDAR)

Метод обеспечивает получение наиболее точных и детализированных данных о рельефе и расположенных на нём объектах:

Воздушное лазерное сканирование (ВЛС/ALS). Лазерный сканер монтируется на борт самолёта или дрона. Во время полёта система испускает тысячи лазерных импульсов в секунду, направляя их к земной поверхности, а затем фиксирует время их возвращения. В результате создаётся плотное облако точек, детально описывающее форму поверхности — включая здания, кроны деревьев и другие объекты. LiDAR способен «проникать» сквозь негустую растительность, что делает его незаменимым для построения истинной цифровой модели рельефа (ЦМР).

ВКР УлГУ

Наземное лазерное сканирование (НЛС/TLS). Используется для высокоточной съёмки локальных объектов: фасадов зданий, мостов, карьеров, сложных инженерных сооружений. Обеспечивает максимальную детализацию на небольших участках.

3. Геодезические измерения

Методы этой группы позволяют получить максимально точные координаты отдельных точек. Они служат основой для калибровки и верификации данных, собранных дистанционными методами:

GNSS/GPS-измерения. Спутниковые геодезические приёмники определяют координаты (в т.ч. высоту) опорных точек с миллиметровой точностью. Такие точки выполняют роль «реперов» - они привязывают всю модель к реальной системе координат.

Тахеометрическая съёмка. Электронный тахеометр измеряет углы и расстояния до характерных точек местности. Метод отличается высокой точностью, но трудоёмок при работе с большими площадями. Чаще применяется для создания моделей сложных промышленных площадок или строительных участков.

4. Картографические материалы и архивные данные

Используются для создания ретроспективных моделей либо в качестве базовой основы:

Оцифровка топографических карт. Существующие бумажные или растровые карты векторизуются, а горизонтали преобразуются в цифровую модель высот. Точность таких моделей ограничена масштабом исходной карты.

Архивные космические снимки. Применяются для анализа изменений местности во времени - например, для изучения динамики береговой линии или роста городов.

Гибридный подход: сочетание методов

На практике для создания качественной ЦММ часто используют комбинацию различных методов. Типичный пример гибридного подхода:

ВКР УлГУ

1. Для общего покрытия большой территории применяют спутниковую съёмку - она даёт базовый слой данных с широким охватом.

2. Участки особого интереса (например, зоны планируемого строительства или сложные участки рельефа) уточняют с помощью данных с БПЛА - это повышает детализацию в ключевых зонах.

3. Всю модель жёстко привязывают к сети опорных геодезических пунктов (полученных через GNSS/GPS или тахеометрическую съёмку) - это гарантирует абсолютную точность координат и высот.

Такой комплексный подход позволяет: оптимизировать затраты (не использовать высокоточные методы на всей территории), обеспечить требуемую детализацию в зонах интереса, гарантировать точность привязки к реальным координатам, сократить сроки выполнения проекта за счёт параллельного сбора данных разными методами.

ВКР УдГУ

ГЛАВА 2. ДАННЫЕ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ И ИХ ОБРАБОТКА

2.1. Методы дистанционного зондирования

Технологии дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) классифицируются на две фундаментальные группы - пассивные и активные методы, различающиеся по физическому принципу получения данных.

Пассивные методы базируются на регистрации естественного электромагнитного излучения, отражённого от земной поверхности либо испускаемого ею в качестве вторичного теплового излучения (например, солнечного света). Ключевым преимуществом данной группы методов выступает отсутствие необходимости в искусственном источнике излучения, что снижает энергозатраты и упрощает техническую реализацию.

К числу наиболее значимых разновидностей пассивного зондирования относятся:

- оптическое и фотографическое зондирование в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах, обеспечивающее создание высокодетализированных изображений местности;
- тепловая инфракрасная съёмка, фиксирующая собственное тепловое излучение объектов и позволяющая анализировать температурные аномалии;
- многоспектральная и гиперспектральная съёмка, регистрирующая излучение в множестве узких спектральных каналов и обеспечивающая выявление уникальных спектральных характеристик материалов.

Эти методы находят широкое применение в картографии, экологическом мониторинге, сельском хозяйстве, градостроительстве и других областях, где требуется анализ оптических и тепловых свойств земной поверхности.

Активные методы предполагают использование искусственного источника направленного излучения, облучающего поверхность, с последующей регистрацией отражённого сигнала. Ключевое преимущество

ВКР УлГУ

данной группы - независимость от условий естественного освещения и возможность функционирования в любых метеорологических условиях.

Наиболее распространёнными активными технологиями являются:

- радиолокация (радарное зондирование), основанная на излучении радиоимпульсов и анализе их отражения, обладающая высокой проникающей способностью и способностью «видеть» сквозь облачность;
- лидарное сканирование (LiDAR), использующее лазерные импульсы для получения высокоточных пространственных данных и построения детализированных трёхмерных моделей.

Данные методы особенно эффективны при решении задач, требующих высокой точности и устойчивости к внешним условиям: мониторинга ледовой обстановки, обнаружения нефтяных разливов, построения цифровых моделей рельефа, археологических исследований и т. д.

Методы ДЗЗ различаются не только физическим принципом, но и платформой, с которой осуществляется наблюдение. Выбор платформы определяется масштабом исследования, требуемым пространственным разрешением и спецификой решаемых задач.

- Космические аппараты (спутники) обеспечивают глобальный охват и регулярный мониторинг обширных территорий, позволяя систематически отслеживать долгосрочные изменения (климатические процессы, динамику урбанизации, состояние ледников).
- Авиационные платформы (самолёты, беспилотные летательные аппараты) предоставляют возможность получения снимков сверхвысокого разрешения и оперативного реагирования на чрезвычайные ситуации, а также позволяют использовать специализированные датчики, не всегда применимые на спутниках.
- Наземные станции служат для калибровки и валидации спутниковых данных, высокоточного локального мониторинга (деформации сооружений, оползневые процессы) и тестирования новых сенсоров.

Обработка и анализ данных дистанционного зондирования

ВКР УлГУ

Собранные данные подвергаются многоступенчатой компьютерной обработке, включающей:

1. Первичную обработку - радиометрическую калибровку (приведение к физическим единицам измерения), геометрическую коррекцию (устранение искажений, вызванных рельефом и движением носителя) и атмосферную коррекцию (учёт влияния атмосферы на сигнал).

2. Тематическую обработку - дешифрирование снимков, автоматическую классификацию изображений и создание производных информационных продуктов (карт растительности, влажности, температуры и т.п.).

3. Анализ и интерпретацию - сравнение разновременных данных для выявления изменений, интеграцию с геоинформационными системами (ГИС) и другими источниками информации, моделирование природных и антропогенных процессов, прогнозирование их развития.

Современные системы активно задействуют технологии искусственного интеллекта и машинного обучения для автоматизации анализа снимков. Это позволяет выявлять незаконные виды деятельности (например, несанкционированную вырубку лесов), контролировать рекультивацию земель, оценивать урожайность сельскохозяйственных культур, отслеживать деградацию почв, моделировать природные риски (наводнения, пожары, оползни) и решать иные прикладные задачи.

Сочетание пассивных и активных методов ДЗЗ, реализуемых на различных платформах и в разных диапазонах электромагнитного спектра, обеспечивает получение многомерной, комплексной информации о состоянии земной поверхности. Это гарантирует:

- независимость от погодных условий и времени суток;
- высокую точность и детальность данных;
- регулярность и систематичность наблюдений;
- возможность комплексного анализа природных и антропогенных процессов.

ВКР УлГУ

Технологии ДЗЗ превратились в незаменимый инструмент для решения широкого спектра задач — от глобального мониторинга климатических изменений до локального управления природными ресурсами. Их применение способствует устойчивому развитию, рациональному природопользованию и повышению эффективности принятия управленческих решений в различных отраслях науки и практики.

2.3. Спутники Landsat

Спутники Landsat 9 (Рис. 2) и Landsat 8 были запущены 27 сентября 2021 года с базы ВВС США Ванденберг, продолжив череду дистанционного зондирования Земли, начавшуюся с запуска спутника Landsat 1 в 1972 году. После 90-дневного периода проверки Landsat 9 ежедневно делает снимки вместе со своим виртуальным двойником Landsat 8. Оба спутника делают снимки поверхности Земли с интервалом в 16 дней, сдвинутым на 8 дней. Таким образом, спутник Landsat каждые 8 дней делает снимки всего земного шара с помощью практически идентичных приборов — Operational Land Imager (OLI) и тепловизионного инфракрасного сканера (TIRS).



Рис. 2. Landsat 9

С 11 по 17 ноября в период первичной проверки на орбите (OIV) был выполнен маневр «подлет», в ходе которого Landsat 9 пролетел под Landsat 8, когда тот выходил на конечную орбиту. В результате два космических

аппарата одновременно сделали снимки одной и той же точки на поверхности Земли практически из одного и того же места. Этот маневр предоставил уникальную возможность для взаимной калибровки двух приборов. Результаты этого анализа легли в основу первоначальной калибровки Landsat 9 в конце периода работы над проектом OIV.

Характеристики спутников Landsat 8 и 9. Одним из ключевых критериев при разработке Landsat 9 было стремление сделать его максимально похожим на Landsat 8 по радиометрическим, геометрическим, спектральным и пространственным характеристикам. Цель состояла в том, чтобы данные наблюдения Земли, полученные с помощью этих двух приборов, были неотличимы друг от друга. Оба прибора Operational Land Imager (OLI) имеют одинаковое расстояние между пикселями на местности (30 м), одинаковую систему управления ориентацией, одинаковую бортовую систему радиометрической калибровки, одинаковую конструкцию телескопа и фокальной плоскости, а также одинаковые спектральные фильтры. По сути, спектральные фильтры для Landsat 9 OLI (или OLI-2) были выбраны из той же партии, что и фильтры для Landsat 8 OLI. Исторически сложилось так, что при перекрестной калибровке с помощью пролета под спутником наиболее ограничивающим фактором были различия в спектральных диапазонах. Наиболее существенное различие между OLI и OLI-2 с точки зрения радиометрической калибровки заключается в том, что для OLI-2 загружаются все 14 бит данных для каждого пикселя изображения, а для OLI — только 12 бит. Что касается TIRS на спутнике Landsat 8 и TIRS-2 на спутнике Landsat 9, то наиболее существенное различие заключается в дополнительной защите, установленной на TIRS-2 для решения известной проблемы с рассеянным светом на TIRS.

Перекрестная калибровка на основе событий в нижней части экрана. В рамках программы Landsat часто использовались маневры с пролетом под объектом съемки. Первое успешное применение такого маневра для перекрестной калибровки было проведено для тематических картографов

ВКР УлГУ

Landsat 4 и 5 (Thematic Mappers, TM), как описано в работе Метцлера и Малилы. В то время снимки Landsat были очень большими по сравнению с доступными вычислительными ресурсами. Поэтому анализ проводился только для одной пары снимков. Результаты показали, что разница в относительном усилении между датчиками составляла от 2% до 14%. Несмотря на то, что в этом анализе использовались крайне ограниченные данные, он показал ценность перекрестной калибровки с использованием маневров под днищем спутника, поскольку тематические картографы Landsat 4 и 5 были практически идентичными и создавались одновременно.

Landsat 7, запущенный в 1999 году, также был выведен на орбиту таким образом, чтобы он находился под Landsat 5. В результате с 1 по 4 июня того же года приборы сделали снимки одного и того же участка земной поверхности, как описано в работе Тейе и др. Эти усилия были сосредоточены на анализе больших однородных территорий на трех снимках: в долине Рейлроуд, штат Невада; в Ниобраре, штат Небраска; и в Вашингтоне, округ Колумбия. Ключевое различие между Landsat 5 TM и Landsat 7 Thematic Mapper Plus (ETM+) заключалось в спектральных диапазонах. К моменту запуска Landsat 7 усовершенствование конструкции спектральных фильтров, а также более глубокое понимание атмосферных явлений позволили разработать фильтры с более точными спектральными диапазонами. К сожалению, эти различия приводят к разнице в показаниях приборов, даже если оба прибора одновременно делают снимки одной и той же поверхности через одну и ту же атмосферу. Эти различия также зависят от отражательной способности поверхности, поэтому их невозможно предсказать или смоделировать. Таким образом, они вносят большую неопределенность в процесс. К счастью, отражательная способность поверхности в долине Рейлроуд-Вэлли была измерена во время пролета, и спектральные различия можно было учесть. Результаты анализа показали

ВКР УлГУ

хорошее соответствие в диапазонах 1–3 (синий, зеленый, красный), но плохое соответствие на более длинных волнах.

После запуска спутника Landsat 8 в феврале 2013 года появилась еще одна возможность для сближения спутников Landsat 7 и Landsat 8. 29–30 марта 2013 года Landsat 8 пролетел под Landsat 7 на пути к выходу на орбиту. С запуском Landsat 8 началась новая эра в оснащении спутников Landsat: на смену приборам для получения тематических изображений пришли сканеры. Кроме того, были внесены кардинальные изменения в спектральные диапазоны, чтобы устранить влияние особенностей атмосферного поглощения. Мишра и соавторы описывают процесс перекрестной калибровки ETM+ с помощью нового оперативного датчика для съемки земной поверхности (OLI) на борту Landsat 8. Из-за значительных различий в спектре между датчиками совпадающий анализ изображений проводился только для нескольких участков Сахары, по которым была доступна обширная гиперспектральная информация, полученная с помощью датчика Hyperion на спутнике Earth Observing 1 (EO-1). Результаты этого анализа показали, что два инструмента дают совпадающие результаты с погрешностью не более 2 % и неопределённостью оценок примерно в 4 %.

С запуском спутника Landsat 9 было запланировано еще одно сближение с Землей. Однако на этот раз возможности были гораздо шире, чем раньше. Поскольку два набора приборов — OLI/OLI-2 и TIRS/TIRS-2 — практически идентичны, существенно сократились и спектральные различия. Кроме того, благодаря современным компьютерным технологиям можно было анализировать все совпадающие наборы снимков. Это позволило проводить более тщательный анализ с меньшей погрешностью [26].

ВКР УлГУ

ГЛАВА 3. ДЕШИФРИРОВАНИЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

3.1. Понятие дешифрирования и его методы

Дешифрирование (от франц. *déchiffrer* — разгадывать) представляет собой научно-методический подход к исследованию территорий, водных пространств и атмосферных явлений на основе анализа изображений, полученных методами дистанционного зондирования Земли (Рис. 3). Суть метода заключается в распознавании объектов на снимках, определении их качественных и количественных характеристик, а также выявлении пространственных и функциональных взаимосвязей между ними.

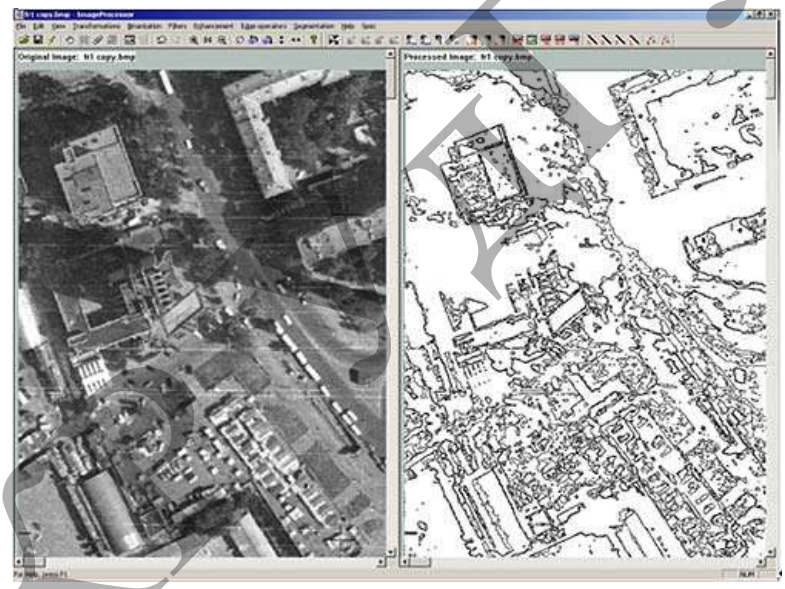


Рис. 3. Дешифрирование снимка

Процесс дешифрирования базируется на интерпретации дешифровочных признаков — характеристик объектов, фиксируемых на изображениях. Различают:

- прямые дешифровочные признаки, непосредственно отображаемые на снимке: форма, размер, тон/цвет, тень, текстура и рисунок поверхности;
- косвенные дешифровочные признаки, основанные на пространственно-функциональных взаимосвязях объектов: природные (влияние рельефа на растительность), антропогенные (функциональные

ВКГЭУ

связи между объектами инфраструктуры) и природно-антропогенные (воздействие человеческой деятельности на ландшафт).

По целям исследования выделяют два основных типа дешифрирования:

1. Общегеографическое, включающее:
    - топографическое — ориентированное на получение данных для картографирования (населённые пункты, гидрография, дорожная сеть, рельеф);
    - ландшафтное — направленное на изучение природных комплексов и их компонентов.
2. Отраслевое (специальное), фокусирующееся на анализе конкретных объектов или явлений: геологических структур, сельскохозяйственных угодий, лесных массивов, археологических памятников, водных объектов, экологических нарушений и т.д.

Методы дешифрирования дифференцируются по двум ключевым критериям: принципу организации работы и степени автоматизации.

По принципу организации работы различают:

- полевой метод, предполагающий непосредственное сопоставление изображения на снимке с реальной обстановкой на местности. Применяется для уточнения объектов, не отображаемых на снимках (например, подземных коммуникаций), и сбора дополнительных данных;
- камеральный метод, реализуемый в лабораторных условиях без выхода на местность. Основан на анализе дешифровочных признаков и эталонов с применением специализированного программного обеспечения;
- комбинированный метод, сочетающий полевые и камеральные исследования. Обеспечивает высокую точность и полноту информации за счёт взаимной верификации данных;
- аэровизуальный метод, осуществляемый пилотом или оператором во время полёта. Используется для оперативного анализа в чрезвычайных

ВКР УлГУ

ситуациях (пожары, наводнения) или предварительного обследования территории.

По степени автоматизации выделяют:

- визуальный метод, при котором анализ снимков выполняется человеком на основе профессионального опыта и знаний. Позволяет учитывать сложные косвенные признаки, но трудоёмок для больших объёмов данных;
- машинно-визуальный метод, предусматривающий предварительную обработку снимков с помощью программных средств (улучшение контраста, фильтрация) с последующим визуальным анализом. Сочетает скорость машинной обработки с экспертной интерпретацией;
- автоматизированный метод, где программное обеспечение выполняет первичную обработку и классификацию данных, а оператор корректирует результаты. Основан на алгоритмах распознавания образов и эффективен для типовых задач (учёт лесов, дорог);
- автоматический метод, реализующий полную автоматизацию процесса с применением технологий искусственного интеллекта и машинного обучения. Включает контролируемую классификацию (с обучением на эталонах) и неконтролируемую кластеризацию (например, алгоритмы ISODATA, K-Means). Отличается высокой скоростью обработки больших массивов данных, но требует точной настройки алгоритмов и последующей верификации результатов.

Дешифрирование реализуется в рамках последовательных этапов:

1. Обнаружение объектов — выявление элементов на снимке, контрастирующих с фоновым изображением.
2. Идентификация — соотнесение обнаруженных объектов с известными классами (дороги, здания, леса и т.д.) на основе прямых и косвенных признаков.
3. Интерпретация — раскрытие содержательных характеристик объектов, включая их качественные и количественные параметры, а также

ВКР УлГУ

установление пространственных, функциональных и причинно-следственных взаимосвязей.

Дешифрирование служит фундаментальным инструментом в следующих областях:

- картография и геоинформатика (создание и обновление топографических карт);
- геология и минерагения (картирование пород, поиск месторождений);
- сельское и лесное хозяйство (оценка состояния угодий, учёт биомассы);
- экология и мониторинг окружающей среды (выявление загрязнений, оценка антропогенного воздействия);
- градостроительство и инфраструктура (планирование застройки, анализ транспортной сети);
- чрезвычайное реагирование (оперативная оценка ущерба от пожаров, наводнений, оползней);
- климатология и гидрология (анализ динамики водоёмов, снежного покрова, ледников).

Дешифрирование представляет собой междисциплинарный метод пространственного анализа, интегрирующий достижения геоинформатики, фотограмметрии, искусственного интеллекта и отраслевых наук. Его эффективность определяется сочетанием методологических подходов, адекватностью выбора дешифровочных признаков и уровнем автоматизации процессов обработки данных. Современные технологии (машинное обучение, ГИС, ДЗЗ) существенно расширяют возможности дешифрирования, обеспечивая высокую точность, скорость и масштабируемость исследований.

ВКР УлГУ

3.2. Дешифрирование в QGIS

QGIS – это географическая информационная система с открытым исходным кодом. Проект зародился в мае 2002 года и был создан как проект на SourceForge в июне того же года. В настоящее время QGIS работает на

большинстве платформ Unix, Windows и macOS. QGIS разработан с использованием инструментария Qt и C++. QGIS работает быстро и имеет приятный, простой в использовании графический интерфейс пользователя (GUI) [29].

QGIS работает с векторными и растровыми данными. Векторные данные – точки (координаты, представленные в декартовой системе координат), полилинии и полигоны. Каждому объекту соответствует запись в атрибутивной таблице: вместе они образуют геобазу данных. Растровые данные представляют собой пространственную модель с регулярной сеткой пикселей, в которые записаны значения показателя, будь то связанные с морфологическими характеристиками (высота, уклоны, экспозиция и т. д.) (Рис. 4), так и интенсивностью отражательной способностью поверхности в различных спектральных диапазонах в данных космической съемки).

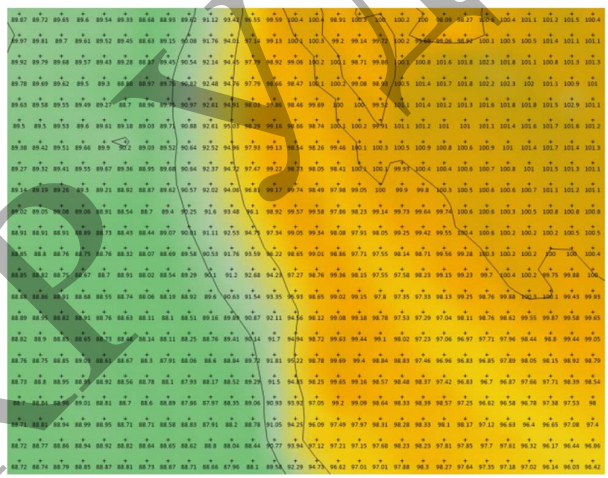


Рис. 4. Графическое представление растровой модели данных

QGIS позволяет просматривать и работать с комбинацией векторных и растровых данных (в 2D или 3D) в различных форматах и проекциях без преобразования во внутренний или общий формат. Поддерживаемые форматы включают:

- Базы данных PostGIS, SpatiaLite и MS SQL Spatial, Oracle Spatial, векторные форматы, поддерживаемые установленной библиотекой OGR, включая GeoPackage, ESRI Shapefile, MapInfo, SDTS, GML и многие другие;

ВКГТУ

- Форматы растров и изображений, поддерживаемые установленной библиотекой GDAL (Geospatial Data Abstraction Library), такие как GeoTIFF, ERDAS IMG, ArcInfo ASCII GRID, JPEG, PNG и многие другие;
- Трехмерные модели (поддерживаются TINs и регулярные сетки);
- Векторные тайлы;
- Растровые и векторные данные из баз данных GRASS (location/mapset);
- Пространственные данные, предоставляемые в виде веб-сервисов OGC, включая WMS, WMTS, WCS, WFS и WFS-T;
- Электронные таблицы (ODS / XLSX).

Кроме того, поддерживаются временные данные, являющиеся промежуточным звеном при проведении расчетов и пространственного анализа [23].

Модуль Dzetsaka:AI-Powered Remote Sensing Classification

Dzetsaka — это плагин для ГИС QGIS, предназначенный для классификации растровых данных (часто спутниковых снимков) с использованием обучающих данных. Изначально разработан для определения типов растительности, но может применяться и для классификации других типов земельного покрова (например, воды, застройки, лугов, населённых пунктов и т. д.).

Плагин поддерживает 11 алгоритмов машинного обучения, включая Gaussian Mixture Model, Random Forest, Support Vector Machines, K-Nearest Neighbors, XGBoost, CatBoost и другие [29].

ВКР УлГУ

ГЛАВА 4. ПОСТРОЕНИЕ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ МЕСТНОСТИ В QGIS

4.1. Получение цифровых моделей рельефа

Построение цифровой модели рельефа SRTM

SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) — это цифровая модель поверхности (DSM) с размером пикселя в 30 м (1 угловая секунда) для США и 90 м. для остального мира. Один из самых популярных источников данных о рельефе. Покрывает территорию между 60 градусами северной широты и 56 градусами южной широты. Погрешность в определении высоты может составлять до 16 м [27].

Первым этапом скачивания была регистрация на сайте OpenTopography. На главной странице сайта OpenTopography в разделе *Данные => Каталог данных* представлены наборы данных с координатной привязкой, созданные на основе спутниковых, воздушных и морских исследований с использованием различных датчиков (например, радаров, лидаров, сонаров, фотокамер) для определения топографии и батиметрии. Выбираем Глобальная топографическая миссия Shuttle Radar Topography Mission (SRTM). Определяем область данных для обработки – город Ижевск и Завьяловский район Удмуртской Республики (Рис. 5).

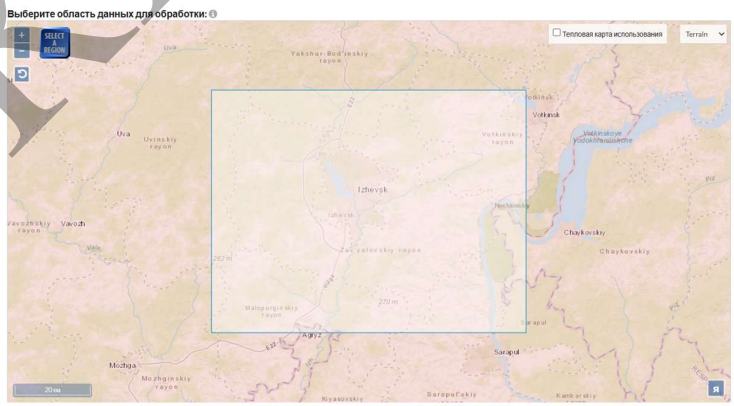


Рис. 5. Область данных для обработки

ВКР УдГУ

Также на сайте есть возможность выбрать формат данных и растровую визуализацию (Рис. 6). После настройки необходимых параметров готовый набор приходит на электронную почту.

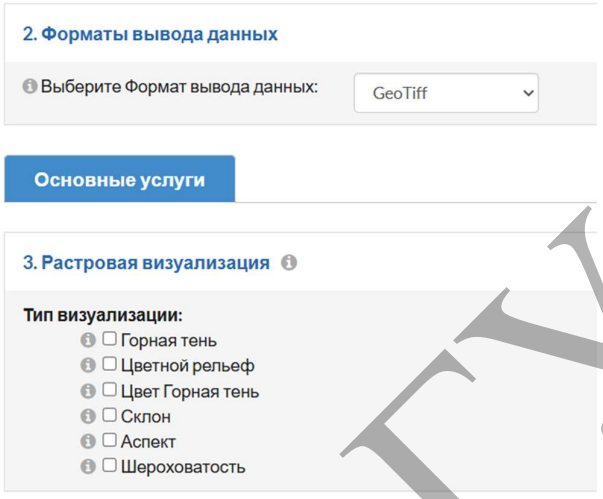
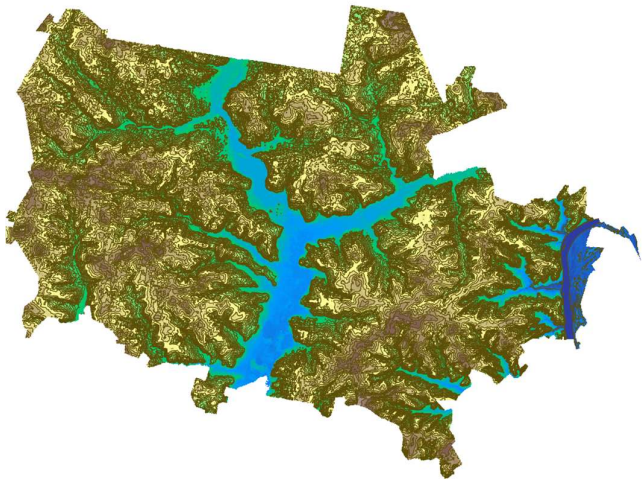


Рис. 6. Выбор параметров

Следующим этапом является загрузка ЦМР в среду ГИС. Для этого в программе QGIS через меню Браузер добавляем цифровую модель рельефа. Трансформируем ее в нужную проекцию. Обрезаем изображение по контуру Завьяловского района – команда *Растр => Извлечение => Обрезать растр по маске*, выбираем слой растра и слой маски и нажимаем *Выполнить*. После, через меню *Растр => Извлечение => Создать изолинии*. Выбираем исходный слой и расстояние между изолиниями. Нажимаем *Выполнить* и программа строит изолинии (Рис. 7).



ВКР УдГУ

Рис. 7. ЦМР SRTM с высотой сечения рельефа 20 м.

Построение цифровой модели рельефа ALOS - (Advanced Land Observing Satellite) (AW3D30)

Глобальная цифровая модель поверхности ALOS (AW3D30) — это глобальный набор данных, созданный на основе изображений, полученных с помощью панхроматического прибора дистанционного зондирования для стереоскопической картографии (Panchromatic Remote-sensing Instrument for Stereo Mapping, PRISM) на борту усовершенствованного спутника для наблюдения за поверхностью Земли (Advanced Land Observing Satellite, ALOS) в период с 2006 по 2011 год [27]. Разрешение 30 м.

На главной странице сайта OpenTopography в разделе *Данные => Каталог данных* выбираем модель ALOS. Определяем область интересов – город Ижевск и Завьяловский район Удмуртской Республики. Также на сайте есть возможность выбрать формат данных и растровую визуализацию. После настройки необходимых параметров готовый набор приходит на электронную почту.

Следующим этапом является загрузка ЦМР в среду ГИС. Для этого в программе QGIS через меню Браузер добавляем цифровую модель рельефа. Трансформируем ее в нужную проекцию. Обрезаем изображение по контуру Завьяловского района – команда *Растр => Извлечение => Обрезать растр по маске*, выбираем слой растра и слой маски и нажимаем *Выполнить*. После, через меню *Растр => Извлечение => Создать изолинии*. Выбираем исходный слой и расстояние между изолиниями. Нажимаем *Выполнить* и программа строит изолинии (Рис. 8.).

ВКР УдГУ

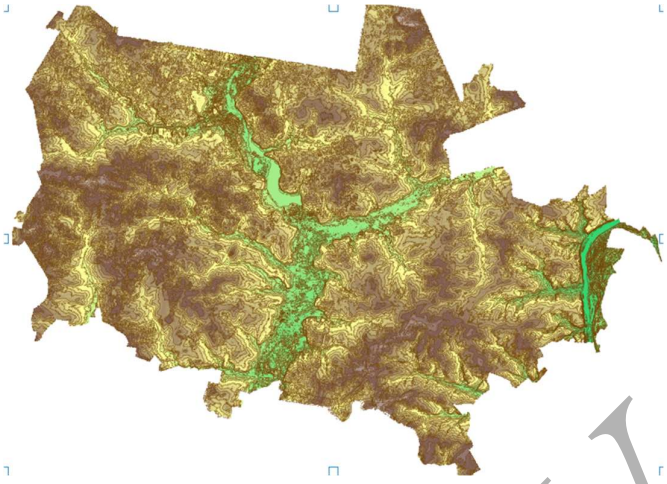


Рис. 8. ЦМР ALOS с высотой сечения рельефа 20 м.

Построение цифровой модели рельефа Copernicus.

Цифровая модель рельефа (ЦМР) «Copernicus» представляет собой цифровую модель поверхности Земли, включающую здания, инфраструктуру и растительность. Эта ЦМР создана на основе отредактированной ЦМР под названием WorldDEM, в которой были сглажены очертания водоемов и учтено постоянное течение рек. Кроме того, были отредактированы береговые линии, особые объекты, такие как аэропорты, и неправдоподобные элементы рельефа [27].

На главной странице сайта OpenTopography в разделе *Данные => Каталог данных* выбираем модель Copernicus 30 м. Определяем область интересов – город Ижевск и Завьяловский район Удмуртской Республики. Также на сайте есть возможность выбрать формат данных и растровую визуализацию. После настройки необходимых параметров готовый набор приходит на электронную почту.

Следующим этапом является загрузка ЦМР в среду ГИС. Для этого в программе QGIS через меню Браузер добавляем цифровую модель рельефа. Трансформируем ее в нужную проекцию. Обрезаем изображение по контуру Завьяловского района – команда *Растр => Извлечение => Обрезать растр по маске*, выбираем слой растра и слой маски и нажимаем *Выполнить*. После, через меню *Растр => Извлечение => Создать изолинии.* Выбираем исходный

ВКР УдГУ

слой и расстояние между изолиниями. Нажимаем *Выполнить* и программа строит изолинии (Рис. 9).



Рис. 7. ЦМР Copernicus с высотой сечения рельефа 20 м.

Построение цифровой модели рельефа FABDEM

Глобальная цифровая модель рельефа (DTM) с размером пикселя в 30 м. Доступна для территорий между 60° южной и 80° северной широты. На данный момент единственная глобальная бесплатная DTM. Высоты лесов и зданий удалены с помощью машинного обучения [25, 27].

Для скачивания этой цифровой модели регистрация на сайте не нужна. В разделе «Набор данных» выбираем набор, подходящий к области интереса координатами. В нашем случае это N50E050-N60E060_FABDEM_V1-2. Набор данных скачивается в виде папки с расширением zip., ее нужно разархивировать.

Следующим этапом является загрузка ЦМР в среду ГИС. Для этого в программе QGIS через меню Браузер добавляем цифровую модель рельефа. Трансформируем ее в нужную проекцию. Далее, для упрощения работы и загрузки нужно отключить не нужные листы модели рельефа. Обрезаем изображение по контуру Завьяловского района с включенным в него городом Ижевском – команда *Растр => Извлечение => Обрезать растр по маске*,

ВКР УдГУ

выбираем слой растра и слой маски и нажимаем *Выполнить*. После, через меню *Растр => Извлечение => Создать изолинии*. Выбираем исходный слой и расстояние между изолиниями. Нажимаем *Выполнить*, и программа строит изолинии (Рис. 10).

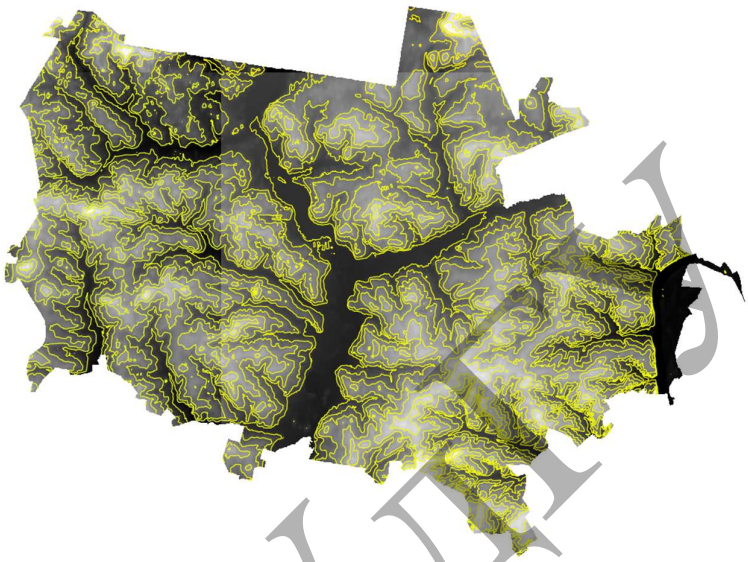


Рис. 10. ЦМР FABDEM с высотой сечения рельефа 20 м

Для дальнейшей работы была выбрана цифровая модель рельефа ALOS, так как она обеспечивает наиболее детализированное построение горизонталей.

4.2. Создание цифровой модели местности.

Получение многозональных снимков.

Процесс получения многозональных снимков начался с регистрации на сайте Геологической службы США (USGS) [21]. В качестве области данных для обработки была выбрана территория Завьяловского района Удмуртской Республики с включенной в него территорией города Ижевска (Рис. 11).

ВКР УдГУ

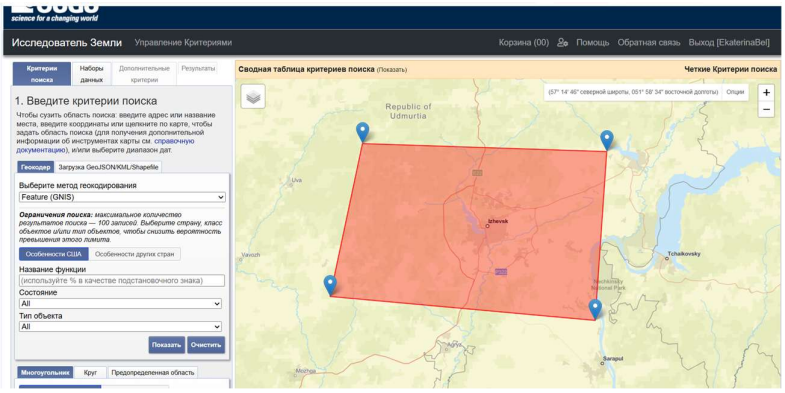


Рис. 11. Область данных для обработки

После выбора территории нужно задать дату съемки. Для этого в разделе *Критерии* поиска во вкладке *Диапазон дат* выбираем необходимую дату. После необходимо задать диапазон облачности. Для этого во вкладке *Облачный покров* устанавливаем значение 0%.

Далее переходим в раздел *Наборы данных* и из предложенного списка наборов выбираем *Landsat => Landsat Collection 2 Level-1 => Landsat 8-9 OLI/TIRS C2 L1*. После чего нажимаем *Результаты* и появляется подборка снимков. Необходимо выбрать снимок, который перекрывает выбранную территорию и подходит по дате (Рис. 12). В данном случае это снимок за 31 мая 2025 года.

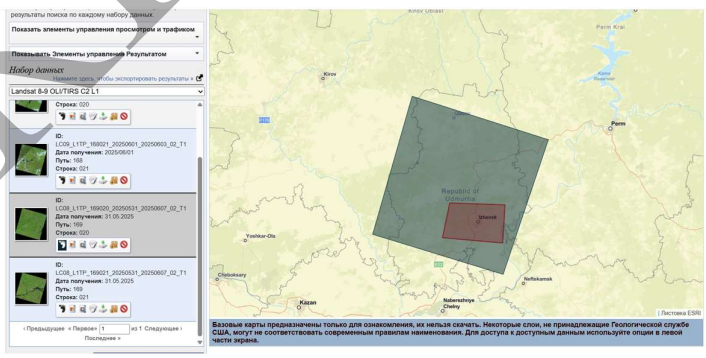


Рис. 12. Подбор снимка

Затем скачиваем снимок, через вкладку *Параметры загрузки => Набор продуктов Landsat Collection 2, уровень 1* (Рис. 13).

ВКРУДГУ

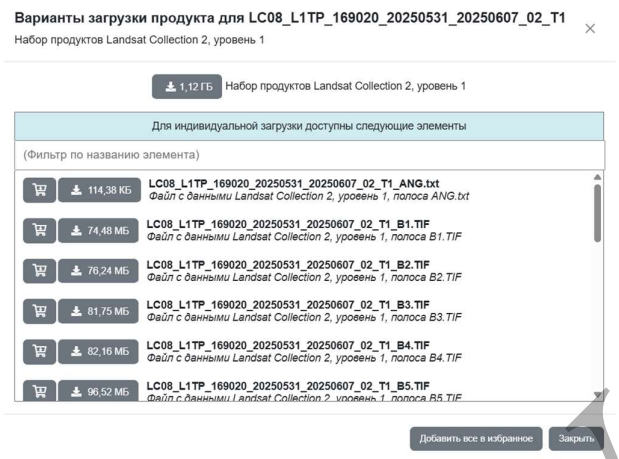


Рис. 13. Загрузка набора данных

После скачивания создается папка с расширением zip., ее нужно разархивировать.

Дешифрирование снимков QGIS.

Следующим этапом работы с многозональными снимками является их загрузка в программу QGIS. Для этого выбираем *Растр => Прочее => Результат объединения*. В качестве исходных слоев выбираем все исходные слои, загруженные с USGS (Рис. 14). Ставим галочку возле строки *Поместить каждый входной слой в отдельный канал*. Указываем путь сохранения и нажимаем *Выполнить*. Получается один многозональный снимок (Рис. 15).

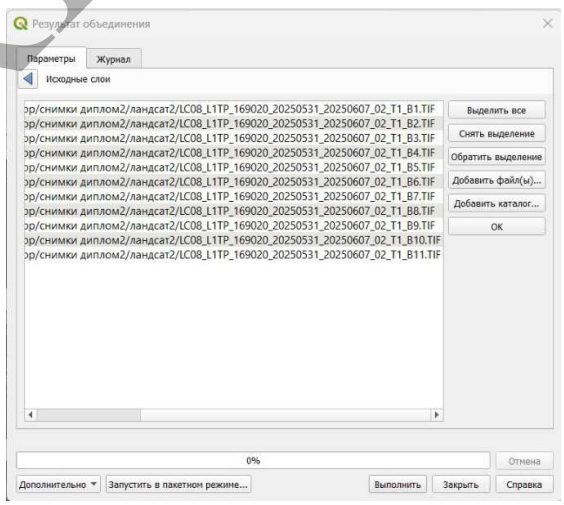


Рис. 14. Добавление исходных слоев

ВКР УлГУ

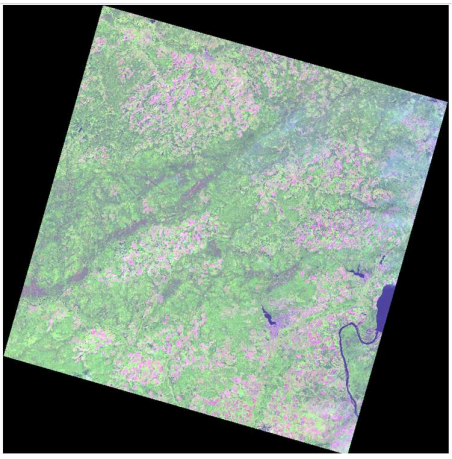


Рис. 15. Многозональный снимок

Затем обрезаем снимок по контуру Завьяловского района через команду *Растр => Извлечение => Обрезать растр по маске* (Рис. 16).

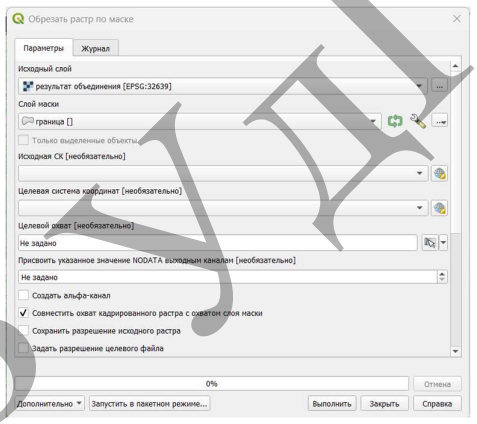


Рис. 16. Обрезка снимка

В результате получаем снимок, обрезанный по границе (Рис. 17).



Рис. 17. Обрезанный снимок

ВКР УдГУ

Третьим этапом является дешифрирование снимка. Оно проводится в виде автоматизированного дешифрирования с обучением. Автоматизированное дешифрирование с обучением – выбираются области-эталоны, которые задают цветовые характеристики для классов. Особенность многозональных снимков заключается в том, что, зная особенности волновых характеристик каналов и их комбинаций, можно получить интересующую нас информацию о свойствах различных географических и экологических объектов. Разные сочетания каналов отражают лучше или хуже разные объекты на карте, таким образом, для более точного дешифрирования необходимо подобрать такое сочетание каналов, в котором разница объектов будет отражена лучше всего. В данном случае наиболее подходящая комбинация каналов 6–5–4 (Рис. 18), включающая ближний и средний ИК-каналы и красный видимый канал, обеспечивает чёткое разграничение воды и суши. Она помогает обнаружить скрытые детали, не видимые в видимом диапазоне, и точно выявить водные объекты внутри сухопутных участков. Комбинация позволяет анализировать влажность, она полезна при изучении почв и растительного покрова [28].

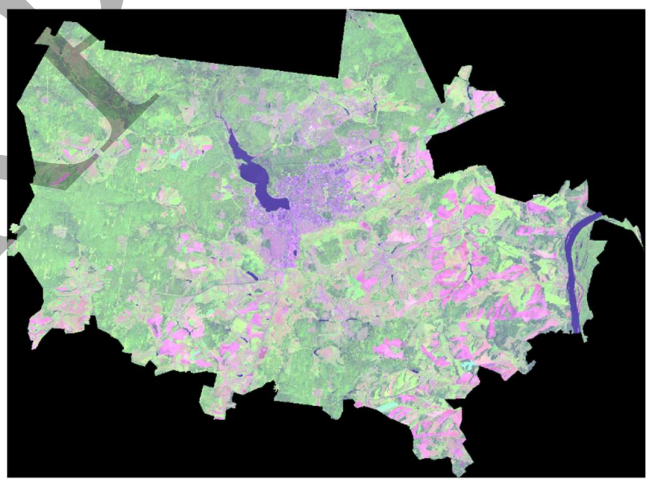


Рис. 18. Многоканальное цветное изображение в комбинации каналов 6-5-4.

С помощью модуля dzetsaka : AI-Powered Remote Sensing Classification проводится автоматическое дешифрирование в виде классификации объектов

ВКР УлГУ

на растре. Чтобы установить этот модуль в меню *Модули => Управление модулями => Все*, выбираем dzetsaka и устанавливаем его. Для создания эталонов необходимо создать новый слой через меню *Слой => Создать слой => Создать слой Shapefile*, создается новый слой и задаются параметры, такие как: имя файла, тип геометрии – площадная, система координат, а также добавляется новое поле для записи номера класса. В появившемся слое включаем *Режим редактирования => Добавить полигональный объект*. И по объектам на снимке создаем эталоны, присваивая им классы. После того, как все эталоны созданы, программа по цветовым сочетаниям создает разные типы классов, которые представлены в виде единого растрового изображения. Для дальнейшей работы в появившемся окне выбираем параметры, такие как: Raster to classify - растровый слой (снимок), Trainig vector layer - векторный слой с эталонами, Class label field – поле, по которому устанавливается значение и Recipe (classifier present) - предустановленные параметры классификатора (Рис. 19).

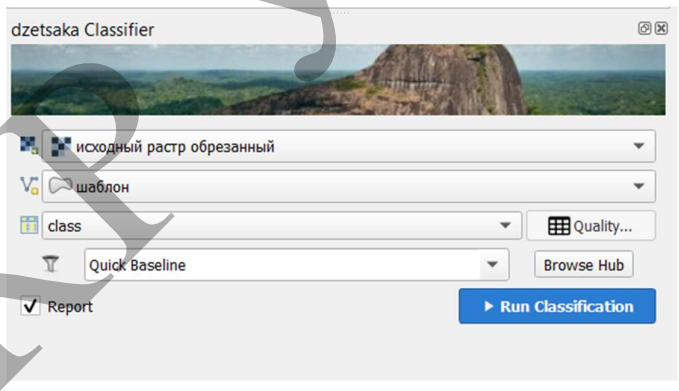


Рис. 19. Установленные параметры модуля

В результате получился панхроматический растр (Рис. 20), в котором разными оттенками серого будут представлены разные классы объектов. С помощью возможностей тематического картографирования можно увидеть разные классы в цветном изображении, построенные методом уникальных значений (Рис. 21).

ВКР УлГУ

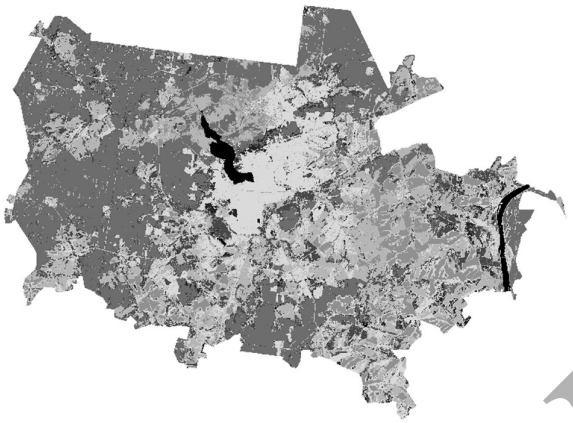


Рис. 20. Панхроматический растр

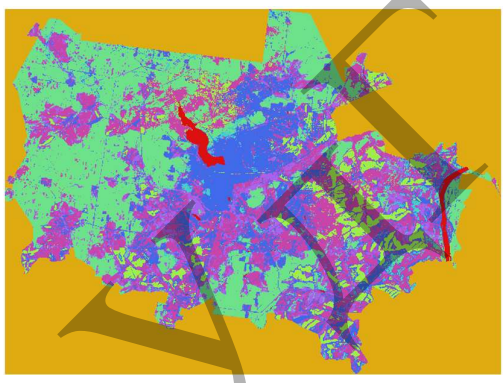


Рис. 21. Классифицированный растр

Четвертым этапом работы является векторизация полученного растрового изображения. С помощью команды *Растр => Конвертация => Создание полигонов (растр в вектор)* растровое изображение преобразуется в векторный слой одного цвета (рис. 22).



ВКР ЮУрГУ

Рис. 22. Векторизация изображения

Для того, чтобы векторный слой проклассифицировался нужно изменить стиль в настройках слоя. Для этого во вкладке *Стиль* => *Стилизация по уникальным значениям* => *Значение DN* (так как при создании векторного слоя была добавлена колонка в атрибуты со значениями классификации) => *Классифицировать* (рис. 23, 24).

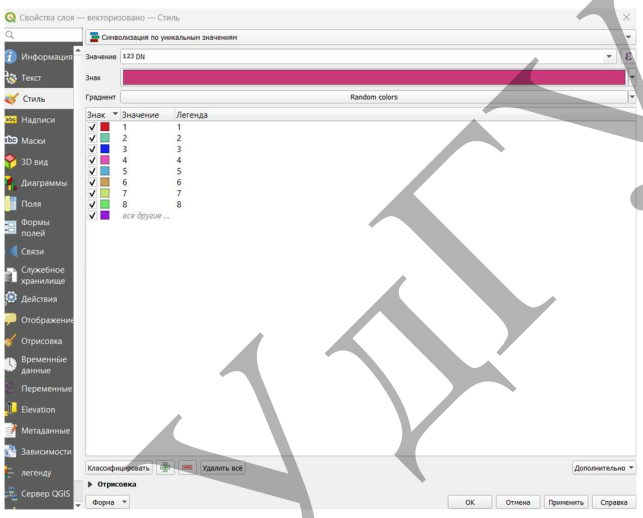


Рис. 23. Классификация векторного слоя

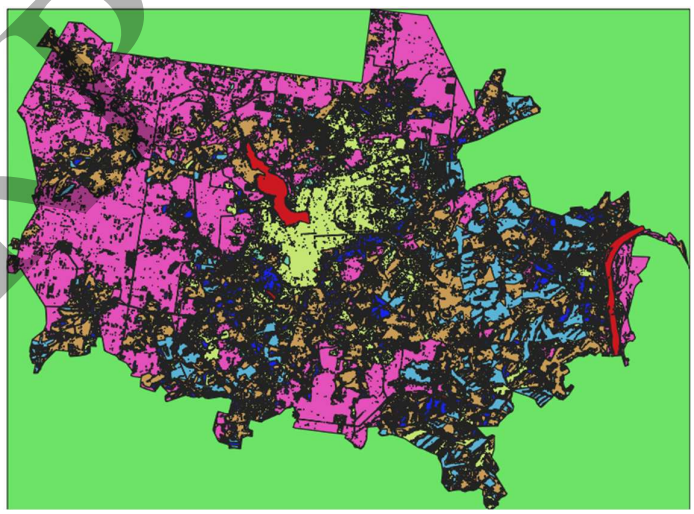


Рис. 24. Полученный векторный слой

Полученный векторный слой получился слишком детализированным, чтобы его упростить производится генерализация. Для этого нужно вычислить площадь полигонов *Векторный слой* => *Открыть таблицу*

ВКР УдГУ

атрибутов => Калькулятор полей, и создать новое поле через функцию $area. Данная площадь считается в квадратных метрах.

Следующим этапом является удаление небольших полигонов в виде присоединения их к полигону с наибольшей площадью. В данном случае рассмотрим 3 варианта: когда удаляется площадь 100000 (Рис. 25), 150000 (Рис. 26) и 200000 (Рис. 27) квадратных метров. Для этого нужно выбрать полигоны: *Вектор => Выбор по выражению через поле "Area"* и присоединить. После того как выделились соответствующие полигоны нужно их присоединить к соседним с наибольшей площадью: *Вектор => Геообработка => Удалить выбранные полигоны (присоединить к соседним)*.



Рис. 25. Векторный слой с удаленными полигонами площадью меньше 100000 кв.м.

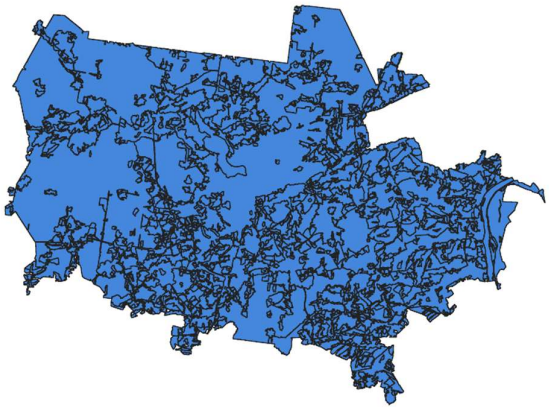


Рис. 26. Векторный слой с удаленными полигонами площадью меньше 150000 кв.м.

ВКР ЗГУ



Рис. 27. Векторный слой с удаленными полигонами площадью меньше 200000 кв.м.

Наиболее приемлемым результатом для автоматизированного дешифрирования является векторный слой, где удалены полигоны площадью менее 150000 квадратных метров, так как он наиболее детализирован и не потерял большое количество важных деталей.

Далее данный векторный слой можно сгладить: В Редактируемом слое => *Упростить объект* => *Сглаживание* (Рис. 28).

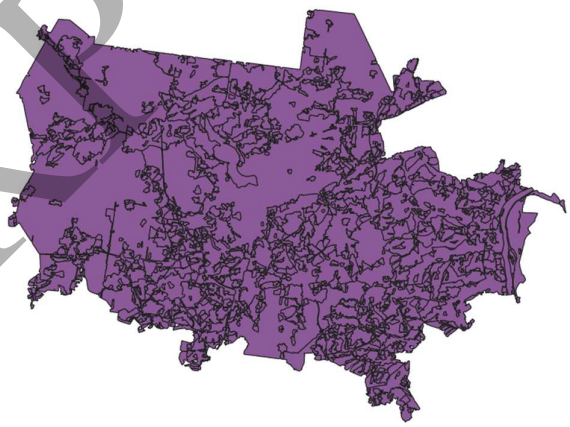


Рис. 28. Упрощенный вариант работы

Так как при автоматическом дешифрировании пропали некоторые важные элементы местности, их необходимо восстановить вручную. Таким элементом является река Иж. Для ручного дешифрирования контура реки

ВКР УдГУ

следует создать новый векторный слой и выполнить оцифровку объекта в нём (Рис. 29).

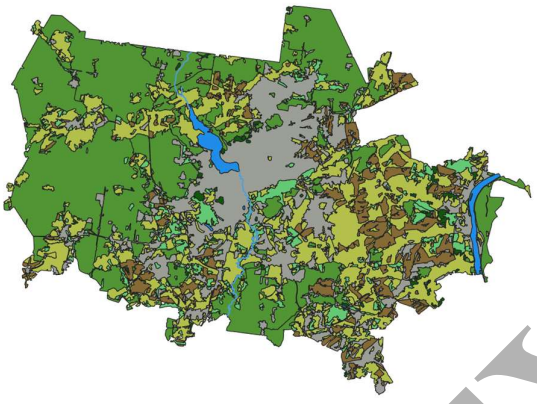


Рис. 29. Проклассифицированный векторный слой с добавленными элементами гидрографии

4.3. Создание цифровой модели местности с использованием данных дешифрирования и цифровых моделей рельефа

Заключительным этапом работы является создание цифровой модели местности с использованием данных дешифрирования и цифровых моделей рельефа. Для этого в открытый проект с дешифрированной моделью необходимо добавить ранее созданный слой с изолиниями, построенными по ЦМР ALOS. Горизонтали было решено провести через 50 м., так как этот вариант наиболее приятен для визуализации. Далее создаем макет и оформляем работу (Рис. 30).

ВКР УлГУ

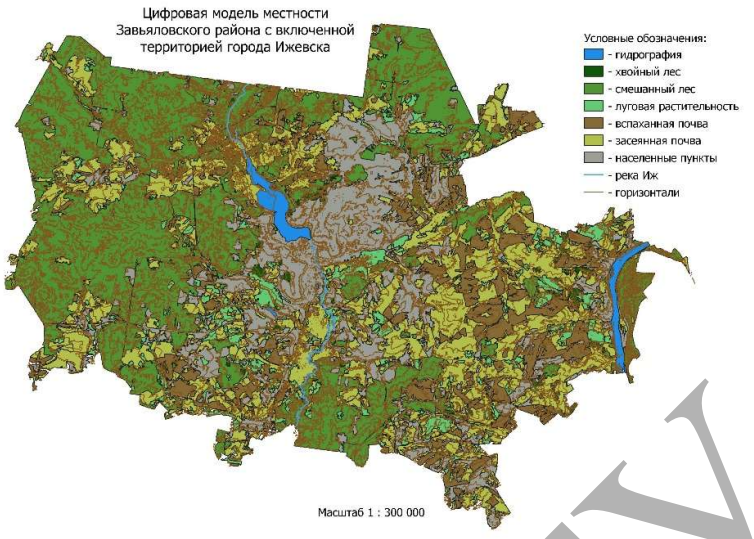


Рис. 30. Итоговая работа

Для выявления точности полученной цифровой модели сравним ее с уже готовой картой. В данном случае будем использовать сервис OpenStreetMap [28]. Сравнивая один и тот же участок (Рис. 31) можно заметить, что на ЦММ очень сильно обобщилась зона населенных пунктов, вобрав в себя другие территории. Также на модели исчезли некоторые зоны растительности, относящиеся к мелким рекам.



Рис. 31. Сравнительный анализ территории

Сравнительный анализ цифровой модели местности и карты OpenStreetMap показал, что модель представляет меньшую пространственную точность. Основными причинами этого являются технологические особенности процесса автоматического дешифрирования.

ВГУЭС

Таким образом, несмотря на высокую скорость обработки по сравнению с ручным дешифрированием, автоматическое дешифрирование требует последующей ручной корректировки для достижения точности, сравнимой с картографическими источниками.

ВКР УдГУ

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения дипломной работы была разработана методика построения цифровой модели местности с использованием данных спутниковой многозональной съёмки (на примере Landsat 8, 9) и цифровых моделей рельефа: ALOS, SRTM, Copernicus и FABDEM.

Даны определения понятиям цифровой модели рельефа, цифровой модели местности и цифровой модели ситуации. Представлены их основные характеристики и источники данных.

Изучены методы дистанционного зондирования Земли, а также обоснован выбор спутников Landsat 8, 9 для практической части.

Раскрыто понятие дешифрирования, выделены его методы. Освоены инструменты дешифрирования в QGIS.

Получены цифровые модели рельефа на основе открытых данных. Выбран подходящий вариант ЦМР с высотой сечения рельефа 50 м. Построена цифровая модель местности путем объединения цифрой модели рельефа и результатов дешифрирования снимка (ЦМС).

Разработанная методика построения цифровой модели местности на основе спутниковых данных и цифровой модели рельефа в целом подтвердила свою работоспособность, но также имеет некоторые погрешности, связанные с неточностью автоматического дешифрирования. Некоторые из них были устранены с помощью цифрования вручную.

ВКР УлГУ

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Берлянт А. М., Тикунов В. С. Картография. Вып. 4. Геоинформационные системы — М.: Картгеоцентр — Геодезиздат, 1994. — 350 с.

2. Верещака Т. В., Подобедов Н. С. Полевая картография: Учебник для вузов —3- е изд., перераб. и доп.— М.: Недра, 1986. —351 е.

3. Головина, Л.А. Топографическое дешифрирование снимков: учеб.-метод. пособие / Л.А. Головина, Д.С. Дубовик. – Новосибирск: СГГА, 2011. – 60 с.

4. Добровольская Е. Д., Романова Т. А. Создание цифровой модели местности по результатам топографической съемки. – Краснодар: КубГТУ, 2018 – 131 с.

5. Жалковский Е.А., Халугин Е.И. и др. Цифровая картография и геоинформатика. Краткий терминологический словарь/Под общей редакцией Е.А., Жалковского. – М., «Картгеоцентр-Геодезиздат», 1999.-46 с.

6. Капралов Е. Г.9 Коновалова Н. & Введение в ГИС: Учеб. пособие. — Изд. 2-е, испр. и доп. — М.: ГИС-Ассоциация, 1997. — 155 с.

7. Капралов Е. Г., Кошкарев А. В., Тикунов В. С. и др.; под ред. Тикунова В. С. Основы геоинформатики: В 2 кн. Кн. 1: Учеб. пособие для студ. вузов. — М.: Издательский центр «Академия», 2004 — 352 е.,

8. Книжников Ю. Ф. Аэрокосмическое зондирование: Учеб. пособие. — ML: Изд-во МГУ, 1997. - 119 с.

9. Лисицкий Д.В. Основные принципы цифрового картографирования местности: конспект лекций. − М.: Недра, 1988 – 264 с.

10. Лурье И. К Основы геоинформатики и создание ГИС / Дистанционное зондирование и географические информационные системы / Под ред. А. М.Берлянта. - М.: ООО «ИНЭКС-92», 2002. - Ч. 1. - 140 с.

11. Лурье И. К Геоинформатика. Учебные геоинформационные системы: Учеб.-метод, пособие. — М.: Изд-во МГУ, 1997. — 115 с.

ВКР УлГУ

12. Мартыненко А. И., Варшанина Т. П., Плисенко О. А. Геоинформационное моделирование территорий. // Системы и средства информатики: Спец. Вып. Геоинформационные технологии / Под ред. И. А. Соколова. — М.: ИПИ РАН, 2004.

13. Митчелл Э. Руководство по ГИС анализу. — Ч. 1: Пространственные модели и взаимосвязи: Пер. с англ. — Киев: ЗАО ЕСОММ Со; Стилос, 2000.- 198 с.

14. Новаковский Б.А., Пермяков Р.В. Комплексное геоинформационно-фотограмметрическое моделирование рельефа: учебное пособие. – М.: Изд-во МИИГАиК. 2019. – 175 с.

15. Серапинас Б. Б. Глобальные системы позиционирования: Учеб. издание. — М.: ИКФ «Каталог», 2002. —106 с.

16. Серапинас Б. Б. Основы спутникового позиционирования. — М.: Издво МГУ, 1998. - 84 с.

17. Филатов Н. Н. Географические информационные системы. Применение ГИС при изучении окружающей среды: Учеб. пособие. — Петрозаводск: Изд-во КГПУ, 1997. — 104 с.

18. Хлебникова Т. А, Горобцов С. Р. Моделирование и пространственный анализ в ГИС. Цифровое моделирование рельефа в ГИС «Панорама»: учеб.-метод. пособие. – Новосибирск: СГУГиТ, 2018 – 70 с.

19. Хлебникова Т. А., Горобцов С. Р. Автоматизированные системы обработки геопространственных данных. Цифровое моделирование рельефа в ГИС «Панорама»: учебно-метод. пособие – Новосибирск: СГГА, 2013 – 62 с.

20. Цветков В. Я. Создание интегрированной информационной основы ГИС. // «Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка»: — М.: 2000, № 4

Интернет-ресурсы

21. Геологическая Служба США USGS [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://earthexplorer.usgs.gov/ (Дата обращения 15.03.2026)

ВКР УлГУ

22. Использование различных комбинаций спектральных каналов космических снимков спутника Landsat 8 для оценки природных сред и объектов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://envjournal.ru/ari/v2017/v2/17202.pdf (Дата обращения 16.03.2026)

23. Основы работы в QGIS [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://kpfu.ru/staff_files/F781702253/Osnovy_raboty_v_QGIS.pdf (Дата обращения 10.05.2026)

24. Цифровая модель рельефа [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.constructionworld.in/latest-construction-technology/laser-enabled-aerial-lidar-for-delhi-varanasi-hi-speed-corridor/24961 (Дата обращения 19.05.2026)

25. FABDEM [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://data.bris.ac.uk/data/dataset/s5hqmjcdj8yo2ibzi9b4ew3sn (Дата обращения 15.03.2026)

26. Landsat 8 and Landsat 9 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://encyclopedia.pub/entry/23616 (Дата обращения 03.04.2026)

27. OpenTopography [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://opentopography.org/ (Дата обращения 15.03.2026)

28. OpenStreetMap [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.openstreetmap.org/#map=12/56.8301/53.2518 (Дата обращения 10.06.2026)

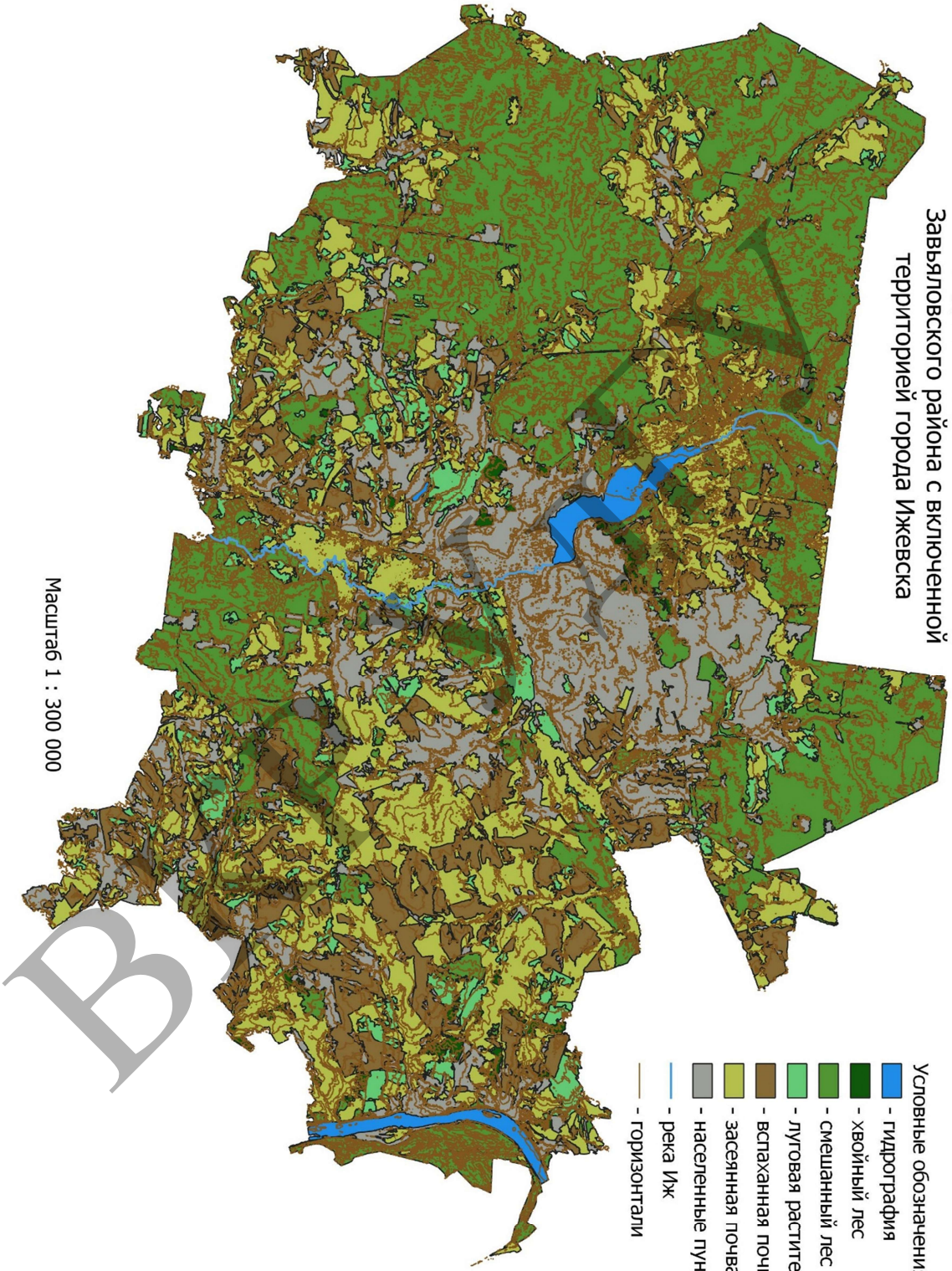
29. QGIS [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://qgis.org/project/overview/ (Дата обращения 10.05.2026)

ВКР УдГУ

ПРИЛОЖЕНИЕ

ВКР УДГУ

Приложение 1.



В

ВКР УдГУ