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

(МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)

на тему

Применением аэрокосмических методов исследования при геоэкологической оценке элементов ландшафтов (на примере Воткинского района Удмуртский Республики)

Работу выполнил студент группы ОМ-05.04.02.02-21

Макурина Наталья Сергеевна/_____

Научный руководитель: к.г.н., доцент кафедры географии, картографии и геоинформатики

Петухова Лариса Николаевна/_____

Заведующий кафедрой географии, картографии и геоинформатики, к.г.н., доцент

Сидоров Валерий Петрович

_____

(решение о допуске)

_____

«____»_____ 20____г.

Ижевск – 2026 г.

ВКР УдГУ

Содержание

Введение 3
Глава 1. Теоретико-методологические основы геоэкологической оценки ландшафтов 5
1.2 Теоретические основы геоэкологической оценки ландшафтов 5
1.2. Методологические основы геоэкологического исследования 11
1.3. Аэрокосмический метод в геоэкологических исследованиях 15
Глава 2. Характеристика ландшафтов Воткинского района Удмуртской Республики 21
Глава 3. Обработка и анализ аэрокосмических данных 46
3.1. Скачивание многозональных аэрокосмических снимков 46
3.2. Автоматизированное контролируемое дешифрирование многозональных аэрокосмических снимков 49
3.3. Расчет индексов 53
3.4. Работа с данными SRTM 57
3.5. Анализ характеристик ландшафта на основе аэрокосмических данных . 58
Заключение 70
Список литературы 71
ПРИЛОЖЕНИЯ 73

ВКР УдГУ

Введение

Изучение ландшафтов и их отдельных элементов является одной из основных задач современной геоэкологии, так как позволяет оценивать состояние природной среды, выявлять последствия хозяйственной деятельности и определять направления рационального природопользования. В условиях возрастающей антропогенной нагрузки и последующего преобразования ландшафта особую актуальность приобретает применение аэрокосмических методов исследования, обеспечивающих получение объемной, оперативной и пространственно детализированной информации о состоянии компонентов ландшафта. Использование аэрокосмических данных позволяет анализировать особенности территориальной организации природных комплексов, отслеживать динамику их изменений.

Актуальность работы обусловлена необходимостью совершенствования подходов к геоэкологической оценке элементов ландшафтов с использованием современных аэрокосмических технологий. Материалы дистанционного зондирования предоставляют широкие возможности для изучения состояния растительного покрова, водных объектов, земельных ресурсов и других компонентов природной среды, а также для выявления изменений, связанных с хозяйственной деятельностью человека.

В качестве объекта исследования выбран Воткинский район Удмуртской Республики, характеризующийся разнообразием природных условий, значительной степенью хозяйственного освоения и наличием различных типов ландшафтов, что делает его показательным для проведения геоэкологических исследований на основе аэрокосмических данных.

Предмет исследования - состояние природных компонентов ландшафта (растительности, водных объектов, почв и рельефа) под влиянием природных и антропогенных факторов, выявляемые с помощью данных дистанционного зондирования Земли.

ВКР УдГУ

Цель работы заключается в геоэкологической оценке ландшафтов Воткинского района с применением аэрокосмических данных.

Для достижения цели были поставлены задачи:

1) Изучить теоретико-методологические основы геоэкологической оценки ландшафтов;

2) Изучить принципы геоэкологического исследования с использованием аэрокосмических данных;

3) Выполнить обработку аэрокосмических снимков и цифровой модели рельефа, включая расчет ключевых индексов;

4) Выполнить комплексный анализ ландшафта на основе полученных данных.

Методологическая база ……

ВКР УдГУ

Глава 1. Теоретико-методологические основы геоэкологической оценки ландшафтов

1.2 Теоретические основы геоэкологической оценки ландшафтов

Геоэкология представляет собой междисциплинарное научное направление, возникшее на стыке экологии, географии, геологии и ряда других наук о Земле, изучающее состав, строение, закономерности функционирования и особенности развития природных и антропогенно трансформированных экосистем высоких уровней организации под воздействием как естественных эволюционных процессов, так и техногенной деятельности. В качестве объекта исследования геоэкологии, актуального для широкого круга научных дисциплин, рассматриваются векторы устойчивых эволюционных и антропогенных изменений долговременно стабильных и наиболее экологически значимых параметров экосферы, а также связанные с ними трансформации качества и комфортности экосистем и ландшафтов как среды существования человека и биоты .

Экологический параметр экосферы понимается как одно из пространственных, структурных, количественных, качественных, динамических либо иных свойств первичных и вторичных геосфер, которые участвовали и продолжают участвовать в формировании экосферы, геотехнологических процессов, регионально-зональных и локальных геокомплексов, образующих континуально-дискретную мозаику глобальной геокомплексной оболочки Земли.

Окружающая природная среда может исследоваться как по отдельным её компонентам (атмосфера, гидросфера, почвенный покров, биота), так и в рамках целостных ландшафтных комплексов. Использование ландшафтного подхода, рассматривающего территорию как многокомпонентную геосистему, обусловлено рядом существенных преимуществ:

1. анализу подвергается весь комплекс взаимосвязанных компонентов и система межкомпонентных взаимодействий;

ВКР УлГУ

2. обеспечивается учёт всех происходящих либо прогнозируемых изменений и их последствий.

От характеристик и современного состояния ландшафтов зависят важнейшие средообразующие и ресурсовоспроизводящие функции, имеющие особое значение для человека и отличающиеся высокой чувствительностью к антропогенному воздействию. Полноценная реализация данных функций возможна лишь в условиях сохранения естественного, ненарушенного состояния ландшафтов. В случае деградации отдельных природных компонентов эффективность выполнения указанных функций снижается либо полностью утрачивается. Подобные процессы неизбежно влекут за собой различные виды ущерба, выражающиеся в сокращении урожайности сельскохозяйственных культур, истощении природно-ресурсного потенциала, увеличении уровня заболеваемости населения и других негативных последствиях. Следовательно, степень трансформации природных компонентов ландшафта оказывает существенное влияние на уровень удовлетворения общественных потребностей. Исходя из этого, все свойства природной среды, отражающие её благоприятное или неблагоприятное состояние, приобретают экологическую значимость для человека. Именно в этом заключается сущность понятия геоэкологической оценки ландшафта.

Геоэкологическая оценка ландшафта предусматривает [6]:

- установление особенностей природно-ландшафтной дифференциации, а также определение состояния ландшафтов и отдельных их компонентов;
- выявление антропогенных воздействий на ландшафтные комплексы и оценку потенциальной способности ландшафтов противостоять техногенным нагрузкам;
- определение характера геоэкологических ситуаций и оценку степени их напряжённости;
- разработку рекомендаций, направленных на улучшение экологической обстановки .

ВКР УлГУ

К числу геоэкологических проблем относятся вопросы, при решении которых выявляются устойчивые тенденции эволюционных либо антропогенных изменений наиболее значимых экологических параметров экосферы или её отдельных компонентов, сопровождающиеся изменением качества и комфортности среды обитания человека и других живых организмов.

Основными задачами геоэкологии являются:

- изучение источников антропогенного воздействия на природную среду и биосферу, определение их интенсивности, характера и пространственно-временного распределения;
- разработка и совершенствование геоинформационных систем, предназначенных для непрерывного контроля состояния окружающей среды и основанных на различных формах экологического мониторинга;
- исследование уровня загрязнения и деградации компонентов глобальной геосистемы (атмосферы, внутренних вод, литосферы, криосферы и биосферы), а также организация постоянного контроля динамики данных процессов;
- анализ техногенной нагрузки на природные ландшафты и особенностей их функционирования как экосистем, разработка нормативов допустимых воздействий на экосистемы различных иерархических уровней, а также изучение их реакции на антропогенные процессы различной природы;
- оценка, моделирование и прогнозирование последствий антропогенных воздействий, проявляющихся в изменении состояния компонентов региональных геосистем и интенсивности процессов тепло-, массо- и энергообмена между ними в различных временных масштабах;
- проведение географо-экологических исследований устойчивости природной среды, испытывающей антропогенное воздействие;
- разработка практических рекомендаций по сохранению целостности природной среды и биосферы посредством оптимизации

ВКР УлГУ

хозяйственной деятельности общества и регулирования процессов природопользования.

Геоэкологические исследования ориентированы на формирование теоретических основ, принципов и нормативно-методических подходов рационального природопользования, обеспечения устойчивого развития общества и совершенствования взаимодействия человека с окружающей средой.

В структуре геоэкологических исследований выделяют несколько последовательно взаимосвязанных этапов [2].

1. Инвентаризационный этап предполагает выявление, описание, систематизацию и картографирование элементов природных и природно-антропогенных геосистем, их свойств, процессов и явлений. Как правило, данный этап охватывает подготовительный и полевой периоды исследований [5].

2. Оценочный этап включает применение методов анализа и синтеза взаимодействия природных условий и ресурсов с различными видами общественной деятельности, выявление, картографирование и оценку существующих геоэкологических ситуаций. Завершается этап разработкой рекомендаций по оптимизации свойств и территориальной организации геосистем.

3. Прогнозный этап направлен на исследование предполагаемых изменений геоэкологических ситуаций в пределах установленного временного интервала.

Для геоэкологических исследований характерна значительная продолжительность подготовительного и камерального этапов, что обусловлено увеличением объёма и разнообразия исходной информации, расширением аналитических процедур, а также активным использованием математических методов обработки данных и геоинформационных технологий.

Центральное место в геоэкологических исследованиях занимает комплексная оценка природного и антропогенного фона территории

ВКР УлГУ

посредством картографирования структуры геосистем, масштабов и интенсивности антропогенных воздействий. Совмещение карт природных ландшафтов с картосхемами источников техногенного воздействия позволяет охарактеризовать современное состояние геосистем и создать карты природно-антропогенных комплексов. Их составление предусматривает определение структуры землепользования в пределах каждого ландшафтного выдела и типологизацию геосистем по доминирующим видам антропогенного воздействия [1].

Значимую роль в геоэкологическом картографировании играет оценка ландшафтно-геохимических характеристик природной среды. Особое внимание уделяется исследованию ландшафтно-геохимического фона территории и выявлению основных факторов, определяющих его формирование.

При создании комплексных геоэкологических карт используется совокупность базовых моделей, включающая эколого-динамическую карту, ландшафтно-геохимическую карту и карту природно-антропогенных ландшафтов. Основное содержание комплексной геоэкологической карты заключается в отображении природных и техногенных факторов динамики окружающей среды и особенностей их проявления в районах с различным уровнем экологической напряжённости (карта геоэкологических ситуаций).

Цели и содержание геоэкологических карт природных и природно-антропогенных геосистем определяются масштабом картографирования и спецификой исследуемых объектов. Подобные карты разрабатываются на региональном уровне для формирования стратегии природопользования, на локальном уровне - для выявления проблемных территорий, а на детальном уровне - для определения конфликтных участков.

Операционные единицы картографирования рассматриваются как минимальные пространственные элементы, в пределах которых организуется и систематизируется картографическая информация. По классификации Г.А. Исаченко выделяются следующие группы таких единиц [4]:

ВКР УлГУ

1. Природные геокомплексы различных рангов, являющиеся оптимальными пространственными единицами для анализа состояния окружающей среды, её качества и характера воздействий;

2. Водосборные бассейны как основа территориального анализа. Преимуществом данного подхода является возможность учёта внутренних и внешних направлений миграции продуктов техногенного происхождения;

3. Сопряжённые ареалы природно-антропогенных территорий, формируемые на основе совмещения границ ландшафтов, типов земель, административных единиц, зон загрязнения и других пространственных объектов. Данный метод особенно эффективен при картографировании экологических проблем и ситуаций. Его преимуществом является возможность отображения оценок природных факторов и основных источников антропогенного воздействия как точечного, так и площадного характера;

4. Административно-территориальные единицы различных уровней, используемые в качестве операционных единиц анализа геоэкологических ситуаций. Их основным достоинством является возможность использования обширной статистической базы данных.

При проведении крупномасштабных исследований оценка геоэкологического состояния геосистем основывается преимущественно на результатах полевых обследований территории. Среднемасштабные и мелкомасштабные исследования в большей степени ориентированы на камеральную обработку и анализ имеющихся информационных материалов.

В процессе оценки учитываются масштабы распространения в пределах геосистем неблагоприятных природно-антропогенных процессов, техногенных форм рельефа, а также степень сохранности естественного растительного покрова. Указанные характеристики рассматриваются как основные индикаторы благоприятности либо неблагоприятности геоэкологического состояния территории.

Важным элементом оценки является выявление лимитирующих факторов, ограничивающих либо полностью исключающих возможность

ВКР УлГУ

использования геосистем в отдельных направлениях хозяйственной деятельности.

При разработке итоговой карты составляется легенда, в которой цветовая шкала отражает уровень геоэкологического состояния геосистем, штриховая система обозначений показывает ареалы распространения неблагоприятных геоэкологических процессов, а условными знаками выделяются наиболее экологически опасные объекты.

При картографировании природно-антропогенных комплексов в легенде отображаются все классификационные уровни: цветовая шкала, построенная по принципу «светофора», характеризует класс природно-антропогенных комплексов; штриховые обозначения отражают их тип; индексы либо дополнительные виды штриховки используются для краткого обозначения природно-антропогенных комплексов соответствующего ранга.

1.2. Методологические основы геоэкологического исследования

Геоэкологические объекты могут находиться как в неизменном состоянии, так и подвергаться трансформациям во времени и пространстве. Изменения их состояния обусловлены действием естественных природных факторов либо антропогенным воздействием. Для изучения динамики состояния геоэкологических объектов используется понятие «геоэкологический процесс».

Под геоэкологическим процессом понимается последовательная смена состояний или этапов развития объекта, происходящая во времени и пространстве. Развитие геоэкологического процесса представляет собой упорядоченную последовательность взаимосвязанных событий, отражающих изменение параметров и характеристик исследуемой системы. Информация о характере протекания таких процессов формируется преимущественно на основе результатов наблюдений, экспериментальных исследований и методов моделирования [3].

ВКР УдГУ

Методология геоэкологии представляет собой совокупность принципов, научных подходов, методов и исследовательских приёмов, предназначенных для изучения взаимодействия природных и антропогенных геосистем, оценки их современного состояния и прогнозирования возможных изменений. Её важнейшей особенностью является комплексный характер, обеспечивающий интеграцию естественно-научных и социально-экономических подходов при решении задач, связанных с взаимодействием общества и природной среды.

В структуре геоэкологической методологии выделяют три основных уровня. Общенаучный уровень основывается на фундаментальных принципах научного познания, включая системность, историзм, объективность, детерминизм и возможность проверки полученных результатов. Междисциплинарный уровень объединяет методы и подходы смежных научных направлений, среди которых особое значение имеют системный анализ, ландшафтный подход, геохимические и геофизические исследования, а также экологическое моделирование. Специальный уровень включает методы, разработанные непосредственно в рамках геоэкологии: геоэкологическое картографирование, оценку антропогенной нагрузки, анализ экологических рисков и геоинформационное моделирование [5].

К числу основных методологических подходов относятся системный, ландшафтный, историко-эволюционный, пространственно-временной, антропоцентрический, геохимический и геофизический подходы. Системный подход рассматривает геосистемы как целостные образования, состоящие из взаимосвязанных компонентов. Ландшафтный подход ориентирован на исследование геоэкологических процессов в пределах природно-территориальных комплексов. Историко-эволюционный подход позволяет анализировать закономерности изменения геосистем во времени. Пространственно-временной подход направлен на изучение территориального распределения геоэкологических явлений и их динамики. Антропоцентрический подход предусматривает оценку воздействия хозяйственной деятельности на окружающую среду и обратного влияния

ВКР УлГУ

природных условий на население. Геохимический подход исследует процессы миграции и трансформации химических элементов, тогда как геофизический подход ориентирован на анализ энергетических потоков и физических процессов в геосистемах.

Для исследования геоэкологических процессов применяется широкий комплекс методов. К полевым методам относятся маршрутные обследования, стационарные наблюдения, построение ландшафтно-геохимических профилей, отбор проб компонентов окружающей среды и выполнение инструментальных измерений. Лабораторные методы включают химический анализ образцов, спектрометрические и хроматографические исследования, микробиологические испытания и определение физических свойств природных материалов.

Существенное место в современной геоэкологии занимают методы дистанционного зондирования Земли, обеспечивающие получение объективной информации о состоянии природной среды на значительных территориях. К их числу относятся аэрокосмическая съёмка в различных спектральных диапазонах, мультиспектральное и гиперспектральное зондирование, тепловая съёмка, лидарное сканирование и радиолокационные методы наблюдения. Использование данных дистанционного зондирования позволяет выявлять территории экологического неблагополучия, осуществлять мониторинг природных процессов, оценивать масштабы антропогенного воздействия, выполнять тематическое картографирование и прогнозировать развитие природных и техногенных опасностей.

Важнейшим инструментом обработки и анализа пространственной информации являются геоинформационные системы. Их применение обеспечивает интеграцию данных полевых наблюдений, лабораторных исследований, дистанционного зондирования и статистических материалов в единую информационную среду. Геоинформационные технологии позволяют выполнять пространственный анализ, создавать тематические карты, моделировать развитие геоэкологических процессов, оценивать экологические риски и визуализировать результаты исследований в различных формах.

ВКР УлГУ

В геоэкологических исследованиях традиционно используются методы пассивного, активного и численного эксперимента. Метод пассивного эксперимента основан на проведении наблюдений за природными явлениями в естественных условиях на сети стационарных пунктов наблюдения. Получаемые материалы служат фундаментальной информационной базой для изучения окружающей среды. Вместе с тем данный метод имеет ряд ограничений. Наблюдения охватывают ограниченные временные интервалы и зачастую не содержат сведений о редких или экстремальных природных событиях. Кроме того, пространственное распределение наблюдательных пунктов является неравномерным, поскольку большинство из них располагается в освоенных районах. Существенным ограничением выступает и невозможность непосредственного наблюдения отдельных процессов, оказывающих значительное влияние на формирование состояния геосистем [8].

Метод активного эксперимента предполагает проведение полевых или лабораторных исследований с использованием физических моделей природных объектов и процессов. Однако сложность структуры геосистем и многообразие действующих факторов нередко требуют упрощения экспериментальных схем, вследствие чего результаты не всегда могут быть полностью перенесены на реальные природные условия.

Развитие вычислительной техники обусловило широкое распространение метода численного эксперимента, основанного на математическом моделировании. Под численным экспериментом понимают решение системы уравнений математической модели при заданных параметрах и начальных условиях. Применение данного метода позволяет исследовать состояния и процессы окружающей среды, недоступные для непосредственного наблюдения или воспроизведения в лабораторных условиях. Особое значение численные эксперименты имеют при анализе экстремальных природных ситуаций, разработке математических моделей и планировании натурных исследований. В настоящее время моделирование рассматривается как важнейший этап научного исследования, позволяющий оценивать различные

ВКР УлГУ

сценарии развития процессов до проведения дорогостоящих полевых и лабораторных работ [15].

Современный этап развития геоэкологии характеризуется активным внедрением геоинформационных технологий, методов дистанционного зондирования Земли, математического моделирования, анализа больших массивов данных и технологий машинного обучения. Использование указанных инструментов способствует повышению достоверности оценки состояния окружающей среды, совершенствованию систем мониторинга и обеспечению научно обоснованного принятия решений в сфере природопользования и охраны природы.

1.3. Аэрокосмический метод в геоэкологических исследованиях

Дистанционное зондирование представляет собой процесс получения сведений об объектах, территориях и природных явлениях без непосредственного физического взаимодействия с ними. В основе методов дистанционного зондирования лежит регистрация в аналоговом либо цифровом формате отражённого или собственного электромагнитного излучения исследуемых участков земной поверхности в широком диапазоне спектра.

Стремительное развитие космического дистанционного зондирования в последние десятилетия значительно расширило возможности наук о Земле в области изучения природных и антропогенных объектов. За указанный период существенно увеличились объёмы, разнообразие и качество материалов, содержащих данные дистанционного зондирования Земли из космоса. На сегодняшний день сформирован обширный архив космических снимков, охватывающий практически всю поверхность планеты. Для многих территорий накоплены многократно перекрывающиеся изображения, полученные с различным пространственным разрешением и в разные периоды времени [14].

Данные дистанционного зондирования Земли в настоящее время преимущественно поступают в цифровом формате, поскольку большинство аналоговых систем постепенно выводится из эксплуатации. Это обеспечивает

ВКР УлГУ

возможность непосредственного применения современных компьютерных технологий для их обработки и анализа. Цифровое изображение представляет собой двумерную матрицу числовых значений. Каждый её элемент, называемый пикселем, содержит информацию о характеристиках определённого участка местности, таких как отражательная способность, температура поверхности и другие параметры, зарегистрированные в конкретной области электромагнитного спектра. Следует учитывать, что размеры участка местности, соответствующего одному пикселю, определяются пространственным разрешением снимка.

После получения данных осуществляется их последовательная обработка, включающая ряд операций [12]:

- восстановление и коррекцию изображений;
- предварительную обработку данных;
- классификацию объектов;
- преобразование изображений;
- выполнение специализированной тематической обработки.

Результатом перечисленных процедур является цифровой продукт в виде космического снимка, содержащего максимально полную и объективную информацию о состоянии земной поверхности в определённом спектральном диапазоне.

Использование спутниковых данных предоставляет возможность осуществлять мониторинг различных природных и антропогенных процессов, в частности:

- наблюдать за распространением оптически активных загрязняющих веществ в водных объектах;
- контролировать процессы эвтрофикации городских озёр, обусловленные поступлением промышленных стоков, удобрений и других загрязняющих веществ;
- оценивать степень озеленения городской территории, поскольку расширение жилой застройки, промышленной инфраструктуры и транспортной

ВКР УдГУ

сети зачастую сопровождается сокращением площади древесной растительности;

- анализировать состояние рекреационных лесных массивов, подверженных воздействию промышленных выбросов и тепловых аномалий, способных вызывать изменения в составе и состоянии древесных пород;

- определять урожайность сельскохозяйственных культур, объёмы зелёной биомассы и другие характеристики растительного покрова;

- оценивать водность элементов гидрографической сети, включая малые реки и каналы, которые нередко пересыхают в летний период, что имеет важное значение для определения самоочищающей способности водных объектов;

- устанавливать показатели прозрачности вод в озёрах и водохранилищах;

- выявлять и классифицировать различные виды природно-антропогенных и антропогенных объектов.

Результаты дешифрирования и анализа космических изображений находят широкое практическое применение. Они используются при выборе территорий для организации рекреационных зон, проектировании новых городских пляжей и парков, обосновании придания отдельным участкам статуса особо охраняемых природных территорий. Кроме того, данные дистанционного зондирования позволяют выявлять районы с наиболее высокой антропогенной нагрузкой, характеризующиеся недостаточной обеспеченностью зелёными насаждениями, высокой концентрацией промышленных предприятий, значительными площадями деградированных земель, подвергшихся вытаптыванию или воздействию автотранспорта. Полученные сведения служат основой для принятия природоохранных и управленческих решений.

Под дистанционным зондированием понимается получение информации о состоянии исследуемой территории посредством регистрации характеристик электромагнитного излучения на расстоянии, без непосредственного контакта измерительных устройств с объектом наблюдения.

ВКР УдГУ

Для выполнения дистанционных исследований используется широкий диапазон электромагнитных волн - от 0,4 мкм до 30 м. В связи с этим применяются различные средства съёмки, включая фотографические, телевизионные, сканирующие, радиолокационные и иные системы наблюдения. Датчики могут размещаться на космических аппаратах, воздушных судах и других носителях. Регистрируемый диапазон длин волн охватывает область от долей микрометра, соответствующих видимому оптическому излучению, до нескольких метров, характерных для радиоволн.

Методы дистанционного зондирования Земли подразделяются на две основные группы [14]:

- пассивные методы, основанные на регистрации естественного отражённого солнечного излучения или вторичного теплового излучения объектов земной поверхности;

- активные методы, использующие искусственно создаваемое излучение, генерируемое специальным источником направленного воздействия и отражаемое исследуемыми объектами.

Возможность распознавания и классификации объектов по материалам дистанционного зондирования обусловлена различиями в спектральных характеристиках природных компонентов и антропогенных объектов. Горные породы, почвы, водные объекты, растительность и другие элементы окружающей среды обладают индивидуальными особенностями отражения и поглощения электромагнитного излучения в различных диапазонах длин волн, что позволяет идентифицировать их на снимках.

При комбинировании изображений, полученных в различных спектральных диапазонах, формируются синтезированные снимки. Каждый вариант такого изображения содержит специфическую информацию о структуре и свойствах ландшафта. Анализ и интерпретация этих данных позволяют определять состав компонентов окружающей среды и оценивать их состояние. Таблица интерпретации различных комбинаций спектральных

ВКР УдГУ

каналов, сформированных по данным спутников серии Landsat, представлена в Приложении 1 [13].

Важное место в обработке аэрокосмической информации занимают индексы. Одним из наиболее распространённых показателей является NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) - нормализованный относительный вегетационный индекс растительности, предназначенный для количественной оценки фотосинтетической активности и плотности растительного покрова на основе данных спутниковой и аэрофотосъёмки. Данный индекс широко применяется в системах точного земледелия для мониторинга состояния посевов, прогнозирования урожайности и выявления проблемных участков. Точность определения состояния сельскохозяйственных культур при использовании NDVI может достигать 85-95 %. Применение данного показателя способствует оптимизации внесения удобрений и средств защиты растений, что позволяет снизить производственные затраты на 15-30 %.

В основе расчёта NDVI лежит фундаментальная особенность зелёной растительности, заключающаяся в интенсивном поглощении электромагнитного излучения в красной области спектра (0,6-0,7 мкм), необходимого для осуществления фотосинтеза, а также в высокой отражательной способности в ближнем инфракрасном диапазоне (0,7-1,3 мкм), обусловленной внутренним строением листовой ткани.

Получаемые значения находятся в диапазоне от -1,0 до +1,0. Для здоровой и хорошо развитой растительности характерны показатели от +0,3 до +0,8. Значения, близкие к нулю либо принимающие отрицательные величины, как правило, соответствуют открытой почве, водным объектам, снежному покрову или деградировавшей растительности [11].

Геоэкологическая оценка ландшафтов является фундаментальной основой для понимания современного состояния окружающей среды, поскольку она позволяет комплексно анализировать состояние природно-антропогенных систем и определять направления их оптимизации. Особую значимость в этом контексте приобретают методы дистанционного

ВКР УдГУ

зондирования Земли, которые обеспечивают получение информации, недоступной при наземных наблюдениях. Таким образом, интеграция геоэкологического подхода с аэрокосмическими технологиями представляет собой эффективный инструмент для мониторинга, прогнозирования и принятия управленческих решений в сфере природопользования и охраны окружающей среды.

ВКР УДГУ

Глава 2. Характеристика ландшафтов Воткинского района Удмуртской Республики

Воткинский район находится в восточной части Удмуртии, в междуречье рек Кама и Вятка, на северо-западе Предуралья. Климат района умеренно-континентальный с продолжительной холодной и многоснежной зимой и коротким, относительно теплым летом. Воткинский район имеет небольшую площадь, примерно в 1 863 км², но при этом сочетает в себе 8 типов ландшафтов (рис.1). А именно [16]:

- Кенско-Позимьский
- Сарапульский
- Собственно Камский
- Удебский
- Июльский
- Сивинский
- Воткинский
- Казесский

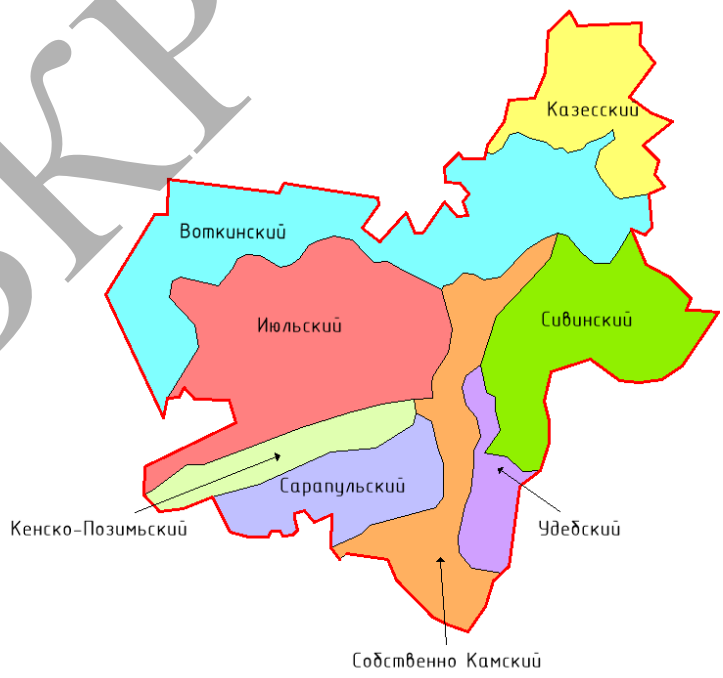


Рис.1. Карта-схема расположения типов ландшафта на территории Воткинского района

ВКР УдГУ

Кенско-Позимьский ландшафт тянется неширокой полосой вдоль западной и северо-западной окраины Сарапульской возвышенности. Он приурочен к долине реки Позимь и полосе левобережья Ижа. Облик этой местности во многом складывается под действием эрозионного расчленения: овраги и балки, изрезающие склоны, формируют холмистый рельеф. Близкое залегание глин - водоупоров - способствует заболачиванию низин, а выходы известняков и песчаников создают локальные обрывистые уступы вдоль речных долин.

Леса покрывают более 70% территории. Ключевая природная особенность, определяющая дренированность ландшафта, - преобладание сосны на лёгких песчаных и супесчаных грунтах, возникших на древнеаллювиальных террасах. Вероятно, лишь соседство с крупными населёнными пунктами несколько снижает этот показатель; будь удалённость от городов и транспортных магистралей больше, лесов здесь было бы ещё обширнее.

В окрестностях городов лесистость обычно ниже. Однако песчаная подстилка и быстрое просачивание талых и дождевых вод препятствуют развитию подзолистых процессов в той мере, в какой они характерны для глин, - это позволяет лесным массивам удерживаться даже при антропогенном давлении. Тем большую ценность приобретают лесные угодья, в пределах которых размещаются и дачные товарищества, и детские лагеря, и дома отдыха.

Почвы здесь не отличаются высоким плодородием (дерново-слабоподзолистые и светло-серые лесные на песках и супесях, местами с ледниковыми валунами), поэтому, несмотря на близость к населённым пунктам, территория остаётся залесённой. Ветровалы и буреломы - частое естественное явление в этих лесах, создающее мозаику разновозрастных насаждений. Типичная картина - обширные леса, значительная часть которых вторичные либо искусственно посаженные.

В границах Кенско-Позимьского ландшафта находится множество дачных массивов, которые играют заметную роль в обеспечении потребностей

ВКР УдГУ

местного населения. Рельеф с пологими склонами и ложбинами стока защищает посёлки от холодных северных ветров, но в безветренные ночи способствует застою воздуха в межгривных понижениях. Ещё 10-15 лет назад главной функцией этих участков было производство сельхозпродукции - для многих семей это служило поддержанием минимального продовольственного уровня. Сегодня ведущей функцией дач становится рекреационная: в условиях ограниченной доступности организованного загородного отдыха для широких слоёв населения дачные массивы выступают как важный компенсаторный механизм в сфере рекреации.

Основные массивы нарезали ещё в советское время, когда земли вокруг городов активно использовали крупные совхозы. Тогда под дачные посёлки отводились далеко не лучшие угодья. Чаще всего - с неплодородными почвами на флювиогляциальных песках, бедных питательными веществами, а значит, лесистые. Характерная для этого ландшафта близость грунтовых вод на отдельных участках вызывает весеннее подтопление дачных территорий, но в целом природные условия благоприятны скорее для леса, чем для огорода. Сейчас это превратилось скорее в преимущество.

Крупные лесные массивы вокруг дачных посёлков дарят и более чистый воздух, и тишину, и комфортный ветровой режим (смягчаемый лесополосами, которые естественно возникли на рельефных гривах). Валежник многие дачники используют как дрова (особенно после зимних снеголомов, когда обильно падает сухая и сухостойная сосна). Кроме того, лес служит источником побочных ресурсов: банных веников, ягод, грибов. Самые урожайные грибные места приурочены к разреженным борам на повышенных элементах рельефа, где песчаные почвы лучше прогреваются. Для городов эти массивы, во многом обусловленные самой ландшафтной основой, очень значимы в социальном плане. Это едва ли не единственная возможность полноценно отдохнуть для жителей с невысокими доходами.

Сарапульский ландшафт - его северный участок приходится на юго-западную часть Воткинского района. В рельефе это, по сути, основная часть

ВКР УдГУ

одноимённой Сарапульской возвышенности. Облик данной местности сложился под влиянием как древних, так и современных геологических процессов: многократное воздействие водно-ледниковых потоков в эпохи оледенений сформировало холмисто-увалистый рельеф, а позднейшая эрозия привела к глубокому дроблению территории. Ландшафт отличается высокой степенью преобразованности человеком, низкой лесистостью и сильной расчленённостью рельефа. Это расчленение усугубляется активным ростом овражно-балочной сети, чему благоприятствуют рыхлые пермские отложения, легко размываемые талыми и ливневыми водами. Плодородные почвы, мягкий климат и выход к Каме - важнейшей водной артерии до эпохи железных дорог - создали условия для активного заселения и хозяйственного освоения этих земель ещё несколько столетий назад.

Остепнённость ландшафта имеет не только рукотворное происхождение. Климатические показатели здесь действительно близки к лесостепным. Немалую роль играет экспозиция склонов: южные и юго-западные склоны получают заметно больше солнечного тепла и сильнее иссушаются ветрами - это формирует локальные аридные условия, мешающие росту леса. В таких переходных условиях под влиянием микрорельефа и микроклимата могут возникать сообщества, типичные для более южных широт. Например, на хорошо прогреваемых южных склонах встречаются подлинно степные виды, в том числе ковыль перистый.

Ландшафтные особенности влияют не только на видовой состав, но и на внешний облик растений. Из-за сильной расчленённости рельефа ветровой режим сильно варьирует от точки к точке. Кроме того, перепады высот и соседство с долиной Камы порождают местные циркуляции воздуха - долинные ветры и бризы, меняющие направление потоков. На безлесных вершинах холмов, где господствуют устойчивые юго-западные ветры, кроны деревьев приобретают флаговые формы.

Для Сарапульского ландшафта характерно бурное развитие эрозионных процессов. Главная причина этого - деятельность человека. Однако к условиям,

ВКР УдГУ

способствующим эрозии, относятся и геологическое строение, и рельеф. В частности, чередование водоупорных глин и водопроницаемых песчаников в коренных породах приводит к выходу родников на склонах, которые дополнительно размывают грунт. Широко распространённые лёгкие грунты легко поддаются размыву. А глубоко врезанные речные долины, прежде всего Камы, создают значительные перепады высот и служат местными базисами эрозии, к которым стремятся все временные водотоки, - это тоже усиливает эрозию.

Важнейший вид деятельности в этом ландшафте - нефтедобыча. Как уже отмечалось, она не связана напрямую с особенностями самого ландшафта, поскольку нижняя граница ландшафта как природного комплекса проходит на глубине нескольких метров (на уровне корнеобитаемого слоя деревьев), а нефть извлекают с глубин порядка тысяч метров. Вместе с тем сама локализация месторождений и характер нарушений на поверхности косвенно обусловлены природными условиями: выходы нефтеносных пород приурочены к тектоническим структурам, которые на поверхности нередко выражены в виде аномалий рельефа и растительности. Тем не менее на внешний облик - включая плотность населения и лесистость - этот вид деятельности влияет, порой преображая ландшафт до неузнаваемости.

Благодаря реке Каме, протекающей по восточной окраине ландшафта, расчленённому рельефу и хорошей транспортной доступности, здесь характерен также рекреационный тип природопользования. Этому способствуют выходы подземных минерализованных вод по берегам рек и живописные обнажения коренных пород, создающие микроклиматические условия, комфортные для отдыха. Здесь возможны самые разные формы рекреации: от садово-дачной до крупных центров организованного туризма.

Основу населения Сарапульского ландшафта составляют русские - их доля превышает 60%. Такое распределение сложилось исторически благодаря наличию транспортной артерии, которая облегчала их расселение именно в этом ареале.

ВКР УдГУ

Основные особенности Июльского ландшафта определяют не только собственно природные черты, но и его расположение между Ижевском и Воткинском. Важнейшим природным фактором здесь выступает приуроченность к переходной полосе между возвышенностями и низиной: сложное переслаивание водоупорных глин и песчаных пропластков в коренных породах создаёт пёструю картину дренажа, что напрямую регулирует режим увлажнения почв и рисунок расселения. Ландшафт - лидер по плотности сельского населения и один из лидеров (2-е место) по средней людности сёл и деревень.

Анализируя естественные предпосылки столь высокой освоенности, приходишь к выводу, что они не являются определяющими. По долевому участию основных типов почв ландшафт занимает места в середине списка. По самым плодородным - серым лесным и дерново-карбонатным - это 32-е и 21-е места соответственно. По наименее пригодным для земледелия дерново-сильноподзолистым - 25-е. Залесённость здесь невысока (18,5%), однако леса дробятся на множество фрагментов со сложно изрезанными очертаниями. Такая «лоскутность» лесов объясняется не только деятельностью человека, но и микрорельефом: мелкие западины и блюдцеобразные понижения, возникшие на месте суффозионных просадок в толще покровных суглинков, создают локально-переувлажнённые участки, которые не распахиваются и самопроизвольно зарастают. По удельной протяжённости опушек ландшафт занимает 10-е место. В сочетании с высокой расчленённостью рельефа (9-е место) это формирует высокое пейзажное разнообразие. Особенно сильно расчленение выражено в местах выхода на поверхность пермских мергелей и известняков, которые при выветривании дают щебнистые склоны, малопригодные для земледелия.

Неоднородность ландшафтных условий проявляется не столько в высокой освоенности самого Июльского ландшафта, сколько в слабой освоенности его окружения. К северу от него располагаются Воткинский и Селычкинский ландшафты, приуроченные к зонам крупных песчаных массивов. Эти песчаные

ВКР УдГУ

массивы - древние аллювиальные и флювиогляциальные отложения, отложенные талыми водами ледника. Они обладают высокой водопроницаемостью, что приводит к быстрому просачиванию осадков и иссушению почв, а также формирует специфический грунтовый подток к рекам. Там товарное сельское хозяйство невозможно, и эти территории сильно залесены. Поэтому границы между Июльским и его северными соседями очень чётко выражены в пространстве. Эта чёткость обусловлена резкой сменой литологии: на смену глинистым и суглинистым покровным породам Июльского ландшафта приходят мощные толщи песков, где подземные воды залегают глубоко, а поверхностный сток практически отсутствует. Граница Воткинского и Июльского ландшафтов проходит по крупному лесному массиву.

В пределы ландшафта частично входят городские территории Воткинска. Здесь располагаются дачные массивы, пригородные сельскохозяйственные предприятия, детские лагеря и дома отдыха. Важную рекреационную роль играют местные водотоки: малые реки с замедленным течением на выровненных участках и, напротив, перекаты с быстриной, создающие перепады температуры воздуха и усиленную аэрацию. Всё это и предопределяет высокую степень освоенности данной территории.

Леса располагаются здесь в основном по речным долинам, тогда как большая часть водоразделов, напротив, безлесна. Подобное распределение связано с «эффектом экранирования»: долины рек глубже врезаны, там лучше выражена горизонтальная конвекция воздуха, меньше заморозков, а грунтовые воды подходят ближе к поверхности. Напротив, плоские водоразделы с плотными суглинками весной переувлажняются, а летом пересыхают, что делает их малопригодными для древесной растительности. К рекам же в основном приурочены и населённые пункты - это типичная черта южной Удмуртии.

Воткинский ландшафт характеризуется всё те же неплодородные почвы на песчаных грунтах, высокая залесённость и выровненный рельеф. Выровненность рельефа здесь имеет природную причину: это результат

ВКР УдГУ

аккумулятивной деятельности древних водных потоков, сгладивших первоначальные неровности коренного рельефа. Однако под слоем песков нередко скрываются погребённые эрозионные врезы, что создаёт аномалии в уровне грунтовых вод. Для Воткинского ландшафта характерны разные, редко сочетающиеся друг с другом виды деятельности: и добывающая промышленность, и лесное, и сельское хозяйство. Добывающая промышленность представлена нефтедобычей. Строго говоря, она не связана напрямую с особенностями самого ландшафта (формально нефтеносные залежи находятся за его пределами, поскольку нижняя граница ландшафта исчисляется метрами). Однако на поверхности расположение нефтяных вышек часто приурочено к зонам тектонических нарушений, которые в песчаных отложениях могут прослеживаться через цепочки верховых болот и аномалии растительности.

Основным фоновым типом природопользования Воткинского ландшафта является лесохозяйственный. Леса занимают почти 77% территории. Сохранению лесов способствуют природные условия: бедные песчаные почвы с близким залеганием подзола не привлекали земледельцев, а высокая пожароопасность песков в засушливые периоды естественным образом ограничивала подсечно-огневое земледелие. Именно богатые лесные ресурсы стали одним из факторов возникновения металлургического предприятия (Воткинского железоделательного завода) в середине XVIII века.

Само название одного из населённых пунктов - Черновский (Черновской) лесоучасток - говорит о его специализации. Несмотря на ликвидацию большей части леспромхозов в Удмуртии, специализация поселения сохраняется: небольшие частные предприятия занимаются рубкой леса и его первичной переработкой. Характер лесов (преобладание сосны на боровых песках и ели в понижениях) напрямую зависит от микрорельефа: бугры и гривы сложены сухими песками с сосновыми борами-беломошниками, а межгривные понижения, где грунтовые воды подходят ближе, заняты более влажными ельниками и черничниками.

ВКР УдГУ

В восточной части ландшафта развито сельское хозяйство. Причём не просто представлено, а именно развито. Речь идёт о крупном предприятии - рыбхозе «Пихтовка». Успех этого хозяйства связан не только с агротехникой, но и с природными особенностями: наличие старичных понижений в поймах малых рек, подпитываемых родниками (выходами напорных подземных вод из песчаных горизонтов), создаёт естественную базу для рыборазведения с оптимальным температурным режимом. Это рыбоводческое хозяйство, очень успешное в своей отрасли. Кроме того, хозяйство занимается молочным скотоводством и растениеводством.

Сельскохозяйственное производство развивается здесь скорее не благодаря, а вопреки ландшафтным условиям. Преобладающие в ландшафте песчаные сильноподзолистые почвы обладают низким естественным плодородием и требуют больших вложений в улучшение их агрохимических свойств. Дополнительную проблему создают супеси, легко подверженные ветровой эрозии (дефляции) в весенний период, когда поля ещё не покрыты растительностью, а также частое промерзание песчаных почв на малую глубину из-за высокой теплопроводности. Несмотря на это, хозяйство успешно развивается.

«Пихтовка» почти полностью обеспечивает себя кормовой базой. При этом кормовые культуры вынужденно размещаются на более увлажнённых участках с близким залеганием верховодки, так как на сухих песках без орошения они выгорают. Это важнейшее условие развития всех животноводческих отраслей. Результатом работы являются очень высокие показатели продуктивности: до 50 центнеров рыбы с гектара водной поверхности. Природный гидрологический режим прудов (проточность за счёт малых рек, питающихся грунтовыми водами) позволяет избежать заморов рыбы в зимнее время - ещё один природный фактор успеха. Эти показатели соответствуют лучшим мировым стандартам и значительно превосходят среднюю продуктивность по рыбхозам России, даже расположенным в более благоприятных климатических условиях.

ВКР УлГУ

Неплодородные почвы ландшафта вынуждают активно распахивать поймы рек. Поймы здесь обладают естественным природным удобрением - аллювиальным наносом, ежегодно обновляемым во время весенних паводков. Однако ограниченность пойменных земель (они тянутся узкими лентами) и высокий риск их подтопления в многоводные годы создают постоянный природный вызов для земледельцев. Вне зависимости от характеристик почв водоразделов пойменные (дерново-аллювиальные) отличаются повышенным содержанием гумуса и минеральных элементов.

Воткинский ландшафт имеет чёткие, выраженные в пространстве границы с расположенными к югу и северу от него соседними ландшафтами. Это обусловлено характером распространения песчаных отложений, протягивающихся в виде клиньев, ориентированных по господствующим ветрам: с юго-запада на северо-восток. Такая ориентировка песчаных гряд - прямое следствие древней эоловой переработки материала во время холодных и сухих перигляциальных эпох: тогда сильные юго-западные ветры формировали дюноподобные формы рельефа, закреплённые затем лесом и сохранившиеся до наших дней как литологическая основа ландшафта.

Вот переработанный текст с повышенной оригинальностью при полном сохранении исходной структуры, абзацев и последовательности изложения.

Собственно Камский ландшафт - крупный по площади и исключительно самобытный. По большинству параметров его невозможно сопоставить ни с одним из других ландшафтов. В рельефе он соответствует днищу долины главной реки региона - Камы - и низовий её крупнейших притоков: Сивы, Буя и Белой. Формирование этого ландшафта напрямую связано с геологической историей: долина Камы заложилась по линии тектонического разлома ещё в мезозое, а в четвертичный период мощные ледниковые и талые воды переуглубили её, создав современный асимметричный профиль. Поскольку на большей части протяжения для Камы характерна правосторонняя асимметрия (правый берег крутой, левый - пологий), то асимметричен и сам ландшафт. Эта асимметрия имеет глубинную

ВКР УдГУ

причину: вращение Земли (сила Кориолиса) подталкивает водный поток к правому берегу, вызывая его подмыв, в то время как на левом берегу происходит аккумуляция наносов. Кроме того, крутой правый берег нередко совпадает с уступом коренных пермских пород, выходящих здесь в виде обнажений. По высокому правому берегу граница ландшафта проходит непосредственно по подножию уступа (то есть по кромке русла), а по низкому левому захватывает широкую пойму, местами достигающую ширины в несколько километров. Ширина поймы зависит от объёма рыхлых отложений, принесённых притоками: там, где крупные реки (Сива, Буй) впадают в Каму, формируются совместные поймы-«слияния» гигантских размеров.

Ландшафт заселён слабо. Несмотря на то, что Кама издавна служила транспортным «коридором» и местом притяжения людей, поселения возникали в основном на высоком берегу - удобном для обороны и незатопляемом в половодье. Решающим природным фактором здесь выступает режим паводков: ежегодное весеннее половодье на Каме, вызванное таянием снегов в её бассейне, поднимает уровень воды на 5-7 метров и более, полностью заливая низкую пойму на несколько недель. Поскольку граница проходит по основанию высокого берега, формально правобережные камские сёла и деревни оказываются в пределах других ландшафтов.

Пологий низменный левый берег менее пригоден для освоения, чем правый. Во-первых, он затапливается во время половодья. Во-вторых, здесь широко распространены процессы заболачивания: плоский рельеф в сочетании с близким залеганием грунтовых вод, подпёртых высоким уровнем Камы, создаёт условия для накопления торфа и формирования низинных болот. В-третьих, крупные города и транспортные магистрали сосредоточены в основном на правобережье, а связь с левым берегом сильно затруднена. Дополнительным природным барьером служат многочисленные протоки, старицы и внутренние водоёмы поймы, которые осложняют строительство дорог и требуют возведения мостов. В то же время на левом берегу больше удобных мест для пляжей и любительской рыбалки. Пляжи здесь сложены

ВКР УдГУ

аллювиальными песками, принесёнными Камой и её притоками, тогда как правый берег, как правило, сложен плотными глинами и мергелями, непригодными для массового купания. Однако для постоянного населения вопрос коммуникаций остаётся решающим, и левобережье стремительно теряет жителей.

В состав ландшафта входит не только русло и пойма самой Камы, но и низовья крупнейших её притоков. Природный режим этих притоков - их маловодность в межень и бурное весеннее половодье - исторически определял возможности их судоходного использования. В настоящее время притоки не играют транспортной роли, но в XIX - начале XX века она была огромной. Наиболее яркий пример - устьевая часть реки Сивы. В бассейне этой реки располагался Воткинский завод, который в XIX - начале XX века производил пароходы с металлическим корпусом.

Сплав этих достаточно крупных судов мог осуществляться только во время весеннего половодья - по Вотке и Сиве. Дело в том, что в межень эти реки становятся очень мелкими, порожистыми на перекатах (из-за выхода на поверхность каменистых гряд), и движение по ним крупнотоннажных судов невозможно. Главной задачей в этот короткий период было сплавить их до Камы - судоходной на протяжении всей навигации. Таким образом, сочетание ландшафтных условий и сезонная динамика определяли и специализацию промышленности, и сезонные ритмы в работе предприятий. Природными «воротами» для этого сплава служили расширения русла в устьях притоков, где течение замедляется, и глубина сохраняется даже после спада воды.

Транспортное значение Камы сохраняется, однако для самого ландшафта с точки зрения хозяйственного использования судоходная роль реки не имеет большого значения. Крупные реки выполняют связующую функцию, но иногда превалирует скорее барьерная. Природной основой этой барьерности выступают ширина водного потока (местами до 1 км) и сложный гидрологический режим с ледоставом и ледоходом, когда лёд создаёт непреодолимое препятствие.

ВКР УдГУ

До недавнего времени переправа через Каму автотранспортом была возможна только в летний (паромом) и зимний (по ледовой переправе) сезоны. Характер ледостава здесь нестабилен из-за наличия быстрин и выходов родников с более тёплой водой, которые ослабляют льдины и делают ледовую переправу рискованной даже в середине зимы. В межсезонье приходилось делать огромный крюк через город Чайковский либо пользоваться железнодорожным транспортом.

В местах впадения крупных притоков совместная пойма достигает очень больших размеров. Пойма, образующаяся при впадении Сивы в Каму, имеет ширину до 10 километров. Такое расширение объясняется накоплением мощной толщи речных наносов (аллювия) на стыке двух водотоков, где скорости течения резко падают и происходит массовое осаждение взвешенных частиц. В результате формируется плоский, слабодренированный массив с чередованием песчаных грив и заболоченных понижений-стариц. Из-за формирующегося здесь благоприятного микроклимата в этих местах можно встретить, например, участки дубрав, нехарактерные для большинства других ландшафтов. Микроклиматическая аномалия обусловлена следующими факторами: близость крупной водной поверхности смягчает зимние морозы и уменьшает вероятность поздневесенних заморозков; плоский рельеф способствует накоплению тёплого воздуха в приземном слое; а песчаные почвы на повышенных участках быстро прогреваются и не переувлажняются. Существует мнение, что именно здесь проходят крайние северные границы естественного произрастания дубовых лесов. Помимо дуба, здесь встречаются сопутствующие ему широколиственные породы: вяз, клён, лещина, а в травостое - неморальные (дубравные) виды, свойственные более южным широтам, что делает этот участок уникальным природным феноменом на северном пределе своего ареала.

Казесский ландшафт тянется неширокой полосой с востока на запад по южным отрогам Тыловайской возвышенности. С точки зрения геоморфологии, эта территория представляет собой эрозионно-денудационный склон,

ВКР УдГУ

сложенный толщей пермских глинисто-карбонатных пород, перекрытых маломощным чехлом покровных суглинков. Южная экспозиция склонов возвышенности обусловливает повышенную инсоляцию и более раннее снеготаяние, что усиливает плоскостной смыв и ведет к формированию густой сети оврагов и балок. По многим характеристикам он напоминает Шарканский ландшафт. Высокая степень расчленения рельефа соседствует здесь с небольшой покрытой лесом площадью и замысловатым рисунком лесных массивов. Расчленённость здесь достигает максимальных для региона значений (до 1,5-2 км/км²) благодаря чередованию водоупорных глин и водопроницаемых мергелей в коренных породах: весенние талые воды и ливневые потоки легко размывают рыхлые покровные отложения, углубляя долины малых рек.

В то же время этот ландшафт расположен ближе к городам - Ижевску и Воткинску, и плотность населения здесь довольно высока. Природной основой для этого послужили не только относительная выровненность рельефа на выположенных участках водоразделов, но и наличие родников (ключей), приуроченных к контактам водоупорных и водопроницаемых слоёв. Эти родники снабжали поселения чистой питьевой водой даже в межень, когда малые реки сильно мелели. Деревни здесь более крупные, а сеть населённых пунктов заметно гуще. Это один из немногих ландшафтов, где абсолютно все поселения являются сельскохозяйственными. По территории ландшафта не проходят магистральные дороги, а нефтедобыча, представленная в южной части, не порождает самостоятельных посёлков. Поэтому именно аграрная деятельность определяет картину расселения, а все остальные виды выступают как сопутствующие.

Для ландшафта характерна высокая степень сельскохозяйственной освоенности. Сельхозугодья здесь соседствуют с относительно небольшими лесными фрагментами, образуя сложный рисунок освоенности. Леса занимают места, неудобные для распашки, - крутые склоны и глубоко врезанные долины малых рек. Дополнительным фактором, сохранившим леса на склонах, служит

ВКР УдГУ

их экспозиция: северные и восточные склоны получают меньше солнечного тепла и дольше удерживают влагу, что делает их менее привлекательными для земледелия по сравнению с хорошо прогреваемыми южными склонами, где распашка была более выгодной.

Ландшафтной основой сельского хозяйства здесь служат дерново-слабо- и среднеподзолистые почвы, занимающие почти 50% территории ландшафта. Формирование этих почв связано с относительно дренированными условиями: на пологих склонах атмосферные осадки не застаиваются, но и не уходят слишком глубоко, что обеспечивает промывной режим. Подзолистый горизонт здесь выражен, но не так мощно, как на плоских водоразделах, - из-за бокового внутрипочвенного стока, который частично выносит продукты выветривания вниз по склону. Несмотря на невысокое природное плодородие, в результате длительного освоения многие их свойства были улучшены. Так, подзолистый процесс уступил место дерновому, что привело к снижению кислотности и улучшению основных агрохимических показателей. Антропогенная трансформация почв стала возможной именно благодаря их исходной дренированности и отсутствию застойного переувлажнения: на тяжёлых глинистых почвах с близкой верховодкой такого эффекта добиться бы не удалось.

Как и в Шарканском ландшафте, в Казесском преобладают малые реки с глубоко врезанными долинами. Глубокий врез (до 40-60 метров) обусловлен не только эрозионной деятельностью водотоков, но и неотектоническими поднятиями Тыловайской возвышенности, которые активизировали вертикальный эрозионный врез в четвертичное время. Однако их поймы здесь более широкие, что способствует формированию пойменных (дерново-аллювиальных) почв. Они занимают почти 5% площади ландшафта. Расширение пойм происходит в местах, где уклон долины уменьшается или где реки прорезают более мягкие, рыхлые породы - здесь течение замедляется, и накапливается аллювий (песок, супесь, суглинок), создавая ровные, ежегодно заливаемые полосы. Произрастающая на них высокопродуктивная травянистая

ВКР УдГУ

растительность служит естественной кормовой базой для молочного скотоводства. Пойменные луга получают дополнительное увлажнение во время весеннего половодья и подпитку грунтовыми водами на протяжении всего лета, что обеспечивает стабильно высокие урожаи трав даже в засушливые годы, когда на водоразделах ощущается дефицит влаги.

Сочетание сельхозугодий и лесов разного породного состава создаёт поликолористичность (многоцветие) здешнего пейзажа. На начальной стадии хозяйственного освоения леса были представлены в основном темнохвойными породами (в первую очередь елью). Ельники тяготели к более влажным и богатым суглинистым почвам на северных склонах и в понижениях, тогда как на сухих южных склонах и выходах карбонатных пород могли встречаться участки с липой, клёном и даже дубом, а также сосново-широколиственные леса. Сейчас на их месте - поля или вторичные леса, где повышена доля мелколиственных - берёзы и осины. Быстрая смена пород после распашки и последующего забрасывания объясняется тем, что берёза и осина - пионерные виды, которые эффективно расселяются на открытых пространствах: их лёгкие семена переносятся ветром на большие расстояния, а вегетативное размножение (поросль от корней у осины) позволяет быстро закрепляться на бывших пашнях.

В пределах ландшафта представлены элементы пригородного сельского хозяйства. Для него характерны две основные черты: оно ориентировано на повседневные нужды городских жителей в продуктах питания и должно обеспечивать высокую продуктивность на ограниченных площадях.

Этим условиям в полной мере соответствуют свиноводство, птицеводство и овощеводство. Природной предпосылкой для развития именно этих отраслей, а не, скажем, зернового хозяйства, выступает мозаичность почвенного покрова: небольшие по площади, но хорошо дренированные участки с лёгкими суглинками идеальны для пропашных культур (овощей), тогда как обширные однородные массивы, необходимые для рентабельного зернового производства, здесь отсутствуют. Одно из направлений работы крестьянского хозяйства в

ВКР УлГУ

деревне Собино Шарканского района - овощеводство открытого грунта. Важной предпосылкой служит относительная близость к городам. Кроме того, южные склоны Тыловайской возвышенности, где расположен ландшафт, получают больше солнечной радиации, чем окружающие территории, что удлиняет безморозный период на 5-10 дней и позволяет выращивать теплолюбивые овощные культуры (томаты, перцы) в открытом грунте без риска поздневесенних заморозков, характерных для более низких и сырых мест.

Удебский ландшафт - самый маленький по площади среди ландшафтов Удмуртии. В геоморфологическом отношении он приурочен к надпойменной террасе Камы, сложенной мощной толщей древнеаллювиальных и флювиогляциальных песков. Эти пески были отложены талыми водами ледника в периоды максимальных оледенений, а затем переработаны ветром в холодные перигляциальные эпохи, что придало поверхности волнисто-грядовый характер. Он почти сплошь покрыт лесами и очень слабо освоен, несмотря на близость к Каме. Причина этого - широкое распространение в пределах ландшафта песчаных покровов с сформировавшимися на них дерново-сильноподзолистыми почвами. Эти почвы обладают высокой водопроницаемостью, что приводит к быстрому просачиванию атмосферных осадков и выносу питательных элементов из верхних горизонтов (процесс подзолообразования). В итоге формируется промытый горизонт, бедный гумусом и минеральными солями, а также характерный кислый почвенный раствор, что дополнительно угнетает сельскохозяйственные растения.

Ещё в 1980-90-е годы XX века на территории ландшафта существовало несколько массивов садовых участков для ведения личного подсобного хозяйства - знаменитые в СССР 6 соток. Выбор именно этих участков для садоводства, а не для товарного сельского хозяйства, был обусловлен природными факторами: песчаные почвы, хотя и бедны элементами питания, обладают рыхлостью и хорошей аэрацией, что делает их пригодными для выращивания картофеля и некоторых корнеплодов при условии внесения удобрений. Кроме того, они рано прогреваются весной, позволяя начинать

ВКР УдГУ

сезон раньше, чем на тяжёлых суглинках. В условиях экономического кризиса, когда речь шла буквально о выживании, производство хоть какой-то сельхозпродукции на своём садовом участке было необходимо. Сейчас этот вопрос стоит не так остро, и удалённые от города, с неплодородными почвами и отсутствием инфраструктуры массивы заброшены. Природа берёт своё, и бывшие наделы вновь зарастают лесом. Естественное лесовосстановление на песках проходит через стадию вейниковых и иван-чайных зарослей, которые быстро вытесняются берёзой и осиной; лишь затем под их пологом начинает сеяться сосна, формирующая коренные для этих песков типы леса. Промышленная рубка леса в пределах ландшафта не ведётся, так как на значительной части территории располагается Нечкинский национальный парк. Сохранности лесных массивов способствует и природная низкая продуктивность песчаных почв, которая делает коммерческую заготовку древесины (особенно хвойных пород, растущих здесь медленно) малоэффективной по сравнению с более богатыми участками.

Главной ценностью ландшафта является Воткинское водохранилище. Береговая линия здесь сформировалась в результате подтопления террас после создания плотины; подъём уровня воды на 5-7 метров привёл к активизации абразионных процессов и переформированию берегов. Правый берег, к которому и выходит Удебский ландшафт, - высокий и крутой. Эта крутизна имеет доледниковое происхождение: правый берег Камы здесь сложен коренными пермскими породами (мергелями, известняками, песчаниками), устойчивыми к размыву, тогда как левый берег сложен рыхлыми песками. Именно эта геологическая асимметрия определяет обрывистость правобережья. Здесь мало мест, пригодных для пляжно-купального отдыха. Отмелые берега, где можно спокойно подойти к воде и где сформировались пляжи, встречаются только в местах впадения в водохранилище небольших рек. В этих устьевых зонах малые реки выносят песчано-галечниковый материал, который, перераспределяясь вдоль берега волнением, создаёт локальные аккумулятивные формы - небольшие пляжи и косы. Но с другой стороны, крутые высокие берега

ВКР УдГУ

создают высокую пейзажную привлекательность. Они служат естественными смотровыми площадками, так как перепад высот между урезом воды и бровкой коренного берега может достигать 40-50 метров. Этому также способствуют живописные выходы коренных пород (обнажения пермских мергелей и известняков) с типичной для них нишевой формой выветривания. С них открываются виды на многие километры, а крупное водное пространство (каких в пределах Удмуртии немного) придаёт им особую ценность.

Сплошные лесные пространства - наиболее типичный облик Удебского ландшафта. Доминируют здесь сосновые леса (боры) разных типов: на сухих повышенных участках - лишайниковые и вересковые боры-беломошники, во влажных понижениях между песчаными грядами - черничные и брусничные боры, а в самых низких местах с близким залеганием грунтовых вод - долгомошные и сфагновые сосняки, переходные к верховым болотам. Безлесные пространства занимают всего около 10% площади и приурочены к единичным населённым пунктам, поймам рек и вырубкам, например, под высоковольтными линиями электропередачи. Поймы рек здесь узкие, так как реки глубоко врезаны в песчаную толщу, а вырубки, даже спустя десятилетия, не зарастают лесом полностью из-за бедности почв и нарушения микробиоты - напротив, на них формируются вторичные луга и пустоши с преобладанием вейника наземного и иван-чая. Крупнейшая ЛЭП идёт от Воткинской ГЭС в Пермском крае через территорию ландшафта. Она хорошо «читается» и на карте, и на спутниковых снимках.

Те немногие участки, где когда-то велась сельскохозяйственная деятельность, сейчас вновь зарастают лесом. Скорость этого зарастания напрямую определяется природными условиями: на рыхлых песках корни деревьев распространяются быстрее, чем на глинах, а семена сосны, заносимые ветром с окружающих массивов, легко прорастают на открытых минеральных субстратах. Кроме того, низкое естественное плодородие бывших пашен не привлекает земледельцев повторно, что делает восстановление леса необратимым в обозримой перспективе. На их примере можно наблюдать, как

ВКР УдГУ

дискретная (чётко выраженная в пространстве) граница превращается в континуальную (плавную).

Когда поле ещё обрабатывалось, граница между лесом и полем имела форму ступени: высокий лес сразу переходил в поле. После забрасывания пашни мелкая поросль леса стала появляться сначала у опушки, а затем «продвигаться» всё дальше в поле. Этот процесс дополнительно ускоряется тем, что сомкнутая крона молодых деревьев меняет микроклимат под пологом: снижается освещённость, уменьшается амплитуда температур, накапливается лесная подстилка, которая, в свою очередь, создаёт условия для дальнейшего расселения уже не только берёзы и осины, но и сосны, а также сопутствующих лесных видов растений и грибов. В результате через несколько десятилетий поле полностью зарастает лесом, а граница исчезает вовсе. Примечательно, что на месте таких заброшенных полей может сформироваться лес, отличный от коренного: если исходные сосновые боры были светлыми и разреженными, то на богатых остаточным гумусом бывших пашнях нередко вырастает более густой мелколиственный лес (березняки и осинники), который лишь спустя столетие при благоприятных условиях сменится сосной.

Сивинский ландшафт отличается сильной внутренней неоднородностью. Его облик складывается под влиянием нескольких факторов. Прежде всего, он приурочен к зоне сочленения двух крупных геоморфологических структур: надпойменных террас Камы и пологоволнистой моренной равнины. Это сочленение сопровождается резкой сменой литологии - от тяжёлых суглинков на водоразделах до лёгких песчаных отложений в древних террасах, что создаёт мозаику дренажных условий. С одной стороны, он расположен в непосредственной близости от Воткинска и входит в его пригородную зону. Ландшафт примыкает к Воткинскому водохранилищу на Каме, и в его пределах находится большое число рекреационных объектов. Береговая линия водохранилища здесь сильно изрезана вследствие абразионной переработки берегов: подъём уровня воды после создания плотины вызвал активизацию оползневых процессов на крутых склонах и затопление низких

ВКР УдГУ

участков поймы, что создало сложную береговую линию с бухтами и мысами. С другой стороны, для ландшафта характерны почвы с низким природным плодородием. Почти половину площади занимают дерново-сильноподзолистые почвы, малопригодные для земледелия. Их низкое плодородие связано с формированием на водопроницаемых песчаных и супесчаных отложениях, где питательные вещества интенсивно вымываются из корнеобитаемого слоя вниз по профилю.

Таким образом, одни особенности способствуют высокой освоенности, а другие, напротив, ей препятствуют. Тем не менее ландшафт освоен очень хорошо: здесь высоки плотность населения и густота дорожной сети. Природной основой такой освоенности выступают относительно выровненный рельеф междуречий, который облегчал прокладку дорог и строительство, а также наличие устойчивых к переувлажнению участков под жильё. Его географическое положение и исторические факторы предопределили это обстоятельство. Территория находилась в сфере влияния Воткинского завода, что во многом и определило высокую степень хозяйственной освоенности.

Если раньше береговая полоса была общенародным достоянием, то теперь это - удел избранных. Высокие заборы, шлагбаумы и угрожающие надписи - все это, к сожалению, имеет место и в Удмуртии. Новая церковь и памятник погибшим в гражданскую и Великую Отечественную войны выглядят слабым утешением на фоне единичных старых домов, окружённых новыми неприступными «крепостями».

В то же время выросло рекреационное значение ландшафта. Наличие крупного водного объекта - Воткинского водохранилища - главный фактор размещения домов отдыха, дачных посёлков и просто мест стихийного туризма. Микроклиматическая привлекательность водохранилища обусловлена тем, что огромная водная масса смягчает суточные и сезонные колебания температуры, снижает вероятность поздних весенних заморозков и повышает влажность воздуха, создавая более комфортные условия для отдыха по сравнению с удалёнными от воды районами. Этот процесс имеет свои негативные стороны.

ВКР УдГУ

Так, фактически уничтожено старое прикамское село Степаново. Сейчас оно полностью застроено современными коттеджами за глухими заборами.

В пределах Сивинского ландшафта, на окраине деревни Фертики, располагается база практик географического факультета (ныне - института естественных наук) Удмуртского госуниверситета. База основана в 1992 году и имеет всю необходимую инфраструктуру для одновременного проживания 60-70 человек в летнее время.

Важным фактором её размещения именно здесь в своё время стало наличие свободного земельного участка.

Однако с точки зрения природного разнообразия и условий для прохождения практики студентами-географами эта территория очень интересна. Она расположена в междуречье Сивы и Камы и позволяет изучать как долинные, так и водораздельные участки. Песчаные массивы, занятые лесом, чередуются с безлесными освоенными фрагментами. Это чередование напрямую связано с глубиной залегания грунтовых вод и механическим составом пород: на сухих песчаных возвышениях сформировались сосновые леса, тогда как в понижениях с близкими глинистыми горизонтами, где застаивается влага, преобладают безлесные луговые участки или заболоченные фрагменты. Ландшафтное разнообразие - важная черта окрестностей базы.

Для ландшафта характерно развитие пригородного сельского хозяйства. Крупным сельскохозяйственным предприятием пригородного типа был совхоз «Воткинский» с центральной усадьбой в посёлке Первомайский. В советское время многие заводы имели подсобные хозяйства. Однако в 1990-е годы предприятия стали избавляться от непрофильных активов, и многие сельхозпредприятия, в своей деятельности связанные с заводами, стали приходить в упадок. Совхоза «Воткинский» давно не существует, но надпись при въезде в Первомайский сохранилась и напоминает об этой интересной странице истории.

Заброшенные пашни, пока они не заросли лесом, создают невероятные по цветовой палитре сочетания. В целом процесс забрасывания земель,

ВКР УдГУ

безусловно, негативен и свидетельствует о кризисных явлениях в отрасли. В то же время при этом увеличивается пейзажное разнообразие. Заброшенные поля в период цветения представляют собой очень красочные зрелища, причём в течение нескольких лет происходит смена видового состава, и цвета меняются вслед за сменой растительности. Эта сукцессия (естественное восстановление растительности) протекает здесь ускоренными темпами из-за лёгких песчаных почв, которые быстро прогреваются и не задерживают влагу, что способствует быстрому расселению сорных, а затем и древесных видов.

Местами произрастают разные виды, формирующие очень необычные сочетания. На стыках разных типов почв - например, на контакте песчаных террас и глинистых склонов - возникает эффект экотона: здесь смешиваются виды, характерные для разных экосистем, создавая пёстрые, быстро меняющиеся цветочные «ковры». Всё поле переливается разными цветами, причём краски меняют соотношения в зависимости от времени цветения конкретного вида буквально за несколько дней.

Расчленённый рельеф и высокая сельскохозяйственная освоенность формируют сложный рисунок лесных массивов. Расчленённость здесь обусловлена активным развитием овражно-балочной сети, чему способствуют рыхлые покровные отложения, легко размываемые весенними талыми водами и ливнями. Вершины балок часто подпитываются родниками (выходами напорных подземных вод), что замедляет их зарастание и сохраняет сложный рисунок рельефа. По удельной протяжённости лесных опушек ландшафт - лидер в Удмуртии. В то же время, наверное, нет ландшафта, в пределах которого происходила бы столь быстрая трансформация. Сельское хозяйство за два десятилетия в границах ландшафта практически исчезло. Бывшие подсобные хозяйства обанкротились, а поля стремительно зарастают лесом. Быстрота зарастания объясняется именно природными условиями: лёгкие песчаные и супесчаные почвы не требуют больших усилий для внедрения корневых систем деревьев, а близость лесных массивов (источников семян) ускоряет этот процесс.

ВКР УдГУ

С запада ландшафт ограничен поймой реки Сивы. Пойма Сивы имеет сложное строение: она состоит из прирусловых валов (сложенных крупным песком), центральной поймы (супеси и лёгкие суглинки) и притеррасной поймы (заболоченные понижения с торфянистыми почвами). Ежегодные весенние разливы Сивы приносят сюда свежий аллювий, частично восстанавливая плодородие. Сочетания залесённых склонов и пойменных лугов создают повышенное ресурсное разнообразие. Кроме того, пойма выполняет роль естественного регулятора стока: в половодье она аккумулирует избыток воды, снижая пики паводков ниже по течению, а в межень постепенно отдаёт её через грунтовый подток. Даже при банкротстве предприятий и прекращении товарного сельского хозяйства населённые пункты, расположенные на таких стыках, медленнее теряют население. Жители занимаются личным подсобным хозяйством, а наличие лесов позволяет использовать их ресурсы: сбор ягод и грибов, охоту, заготовку дров.

В целом можно сказать, что все ландшафты, представленные в Воткинском районе, очень схожи между собой, основные отличительные черты приурочены к лесистости, рельефу, почве и освоенности территории (табл. 1).

Таблица 1

Характеристики ландшафтов Воткинского района

Ландшафт	**Лесистость**	**Рельеф**	**Почвы**	**Освоенность**
Кенско-Позимьский	Высокая	Холмистый, эрозионный	Дерново-слабоподзолистые и светло-серые лесные на песках и супесях	Средняя
Сарапульский	Низкая	Сильно расчленённый, возвышенность	Плодородные серые лесные, дерново-карбонатные	Очень высокая
Собственно Камский	Средняя	Днище долины Камы, асимметричный	Аллювиальные, пойменные	Низкая

ВКР УдГУ

Удебский	Очень высокая	Террасовый, песчаные гряды	Крайне бедные подзолистые на песках	Низкая
Июльский	Низкая	Среднерасчленённый, переходный	Средние по плодородию, мозаичные	Очень высокая
Сивинский	Средняя	Расчленённый, террасово-долинный	Преобладают бедные дерново-подзолистые	Высокая
Воткинский	Очень высокая	Выровненный, песчаные массивы	Крайне бедные песчаные	Низкая
Казесский	Средняя	Сильно расчленённый, отроги возвышенности	Дерново-подзолистые на песках	Высокая

ВКР УдГУ

Глава 3. Обработка и анализ аэрокосмических данных

3.1. Скачивание многозональных аэрокосмических снимков

Многозональные аэрокосмические снимки - это изображения одного и того же участка Земной поверхности в разных электромагнитных спектрах, полученных путем регистрации отражательной способности объектов. Результат их обработки используется как источник данных для решения различных задач.

Перед выполнением работы по обработке снимков, следует этап их скачивания. Для этого наиболее удобным и открытым сервисом является сайт USGS EarthExplorer - геологическая служба США. Для начала работы, сайт требует регистрацию, с указанием личных данных и целей использования снимков [9].

Первый этап работы заключается в выборе критерий поиска (рис. 2). В этот момент происходит определение интересующей территории, даты съемки и процента облачности. Для начала выбирается территория. Интерфейс сайта оснащен картой, с целью упрощения данного действия. Есть несколько способов выбора территории: выделение области прямоугольником или кругом, использование заготовленных координат, использование отмасштабируемой области в окне карты. Для этой работы был использован последний вариант. Дата съемки определяется отрезком интересующего промежутка времени. Выбор даты съемки прописывается в порядке: мм\дд\гггг. Также на этом этапе выбора данных, указывается процент облачности. Для более удачной обработки следует выбирать максимально наименьший процент.

Второй этап - выбор набора данных, а именно источника, откуда получены аэрокосмические снимки. Сайт предлагает различные форматы, в данном случае выбор производиться в сторону многозональных аэрокосмических снимков со спутника Landsat. Уточнение критериев: коллекция Landsat 2, уровень 2, Landsat 8/9 OLI/TIRS C2 L2 (Снимки с

ВКР УлГУ

помощью оперативного сканера Landsat 8-9 и тепловизионного инфракрасного датчика Collection 2 Level-2)

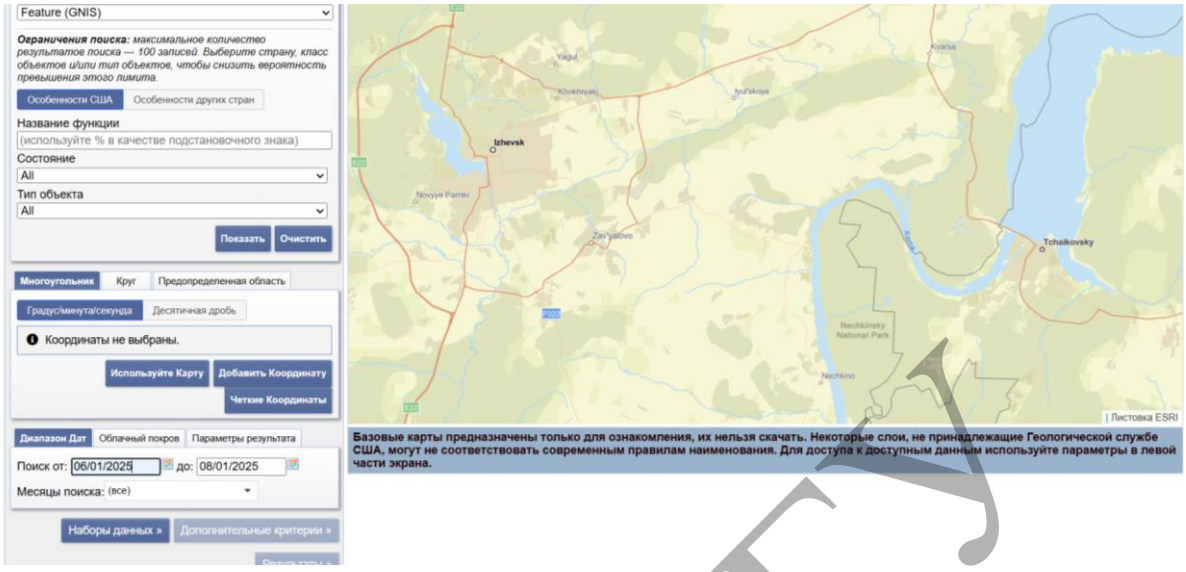


Рис. 2. Окно выбора критерий поиска на сайте USGS EarthExplorer

Третий этап - определение конкретного снимка для скачивания (рис. 3). С помощью кнопки “Показать след”, снимок из коллекции отображается в виде квадрата, занимающего определенную часть выбранной территории. Не во всех случаях попадаются снимки, которые полностью покрывают интересующий участок, поэтому на данном этапе следует относиться к выбору тщательней. Также одним из критериев, учитываемых при выборе, является минимизация облачности. Даже несмотря на уменьшение облачности на этапе выбора критериев, данное действие не исключает наличие облаков на снимке. Чтобы выбрать снимок с минимальным количеством облаков, следует визуально изучить обзор снимков в левом меню. После определения нужного снимка, производиться скачивание. Есть два варианта скачиваемых данных: скачивание отдельных спектральных снимков в формате tiff и скачивание архива в котором содержатся все многозональные снимки. Для дальнейшей обработки понадобятся 7 каналов, поэтому скачивание снимков производилось полным архивом. Был выбран снимок, полученный со спутника Landsat 9.

Распакованный архив содержит в себе непосредственно сами многозональные снимки в формате tiff с геопривязкой, а также текстовые

ВКР УлГУ

документы в которых прописаны координаты снимков, система координат с зоной, дата и время выполнения самой съемки спутником.

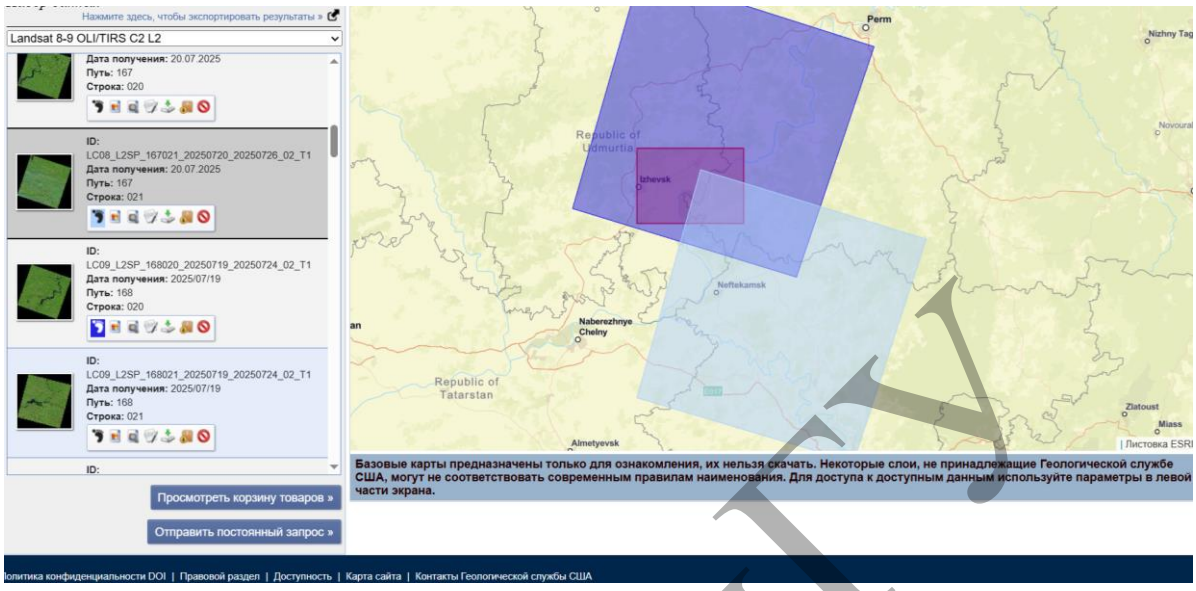


Рис. 3. Окно результата поиска на сайте USGS EarthExplorer

Каждый снимок содержит в себе спектральный канал, который характеризуется длиной электромагнитной волны (табл. 2).

Таблица 2

Характеристики каналов Landsat 9

№ канал	Название и описание	Длины волн
1	Побережья и аэрозоли (Coastal/Aerosol, New Deep Blue)	0,433-0,453 мкм
2	Синий (Blue)	0,450-0,515 мкм
3	Зелёный (Green)	0,525-0,600 мкм
4	Красный (Red)	0,630-0,680 мкм
5	Ближний ИК (Near Infrared, NIR)	0,845-0,885 мкм
6	Ближний ИК (Short Wavelength Infrared, SWIR 2)	1,560-1,660 мкм
7	Ближний ИК (Short Wavelength Infrared, SWIR 3)	2,100-2,300 мкм

ВКР УдГУ

3.2. Автоматизированное контролируемое дешифрирование многозональных аэрокосмических снимков

Автоматизированное дешифрирование - это процесс опознавания объектов с применением компьютерной обработки в специализированных программных обеспечениях.

Контролируемое дешифрирование - один из методов автоматизированного дешифрирования, выполнение которого заключается в ручном наборе кластеров классификации объектов.

Обработка снимков производилась в геоинформационной системе QGIS с использованием модуля контролируемого дешифрирования Semi-Automatic Classification Plugin (SCP). Модуль SCP загружается через меню Модули - Управления модулями.

Работа начинается с загрузки многозональных снимков в модуль SCP. После подгрузки данных, конкретизируется вид спутника, это производится для уточнения спектральных характеристик каждого канала (рис. 4). Следующим этапом модуль создал виртуальный растровый слой, в котором объединились все загруженные каналы, дальнейшая работа производилась над этим растром.

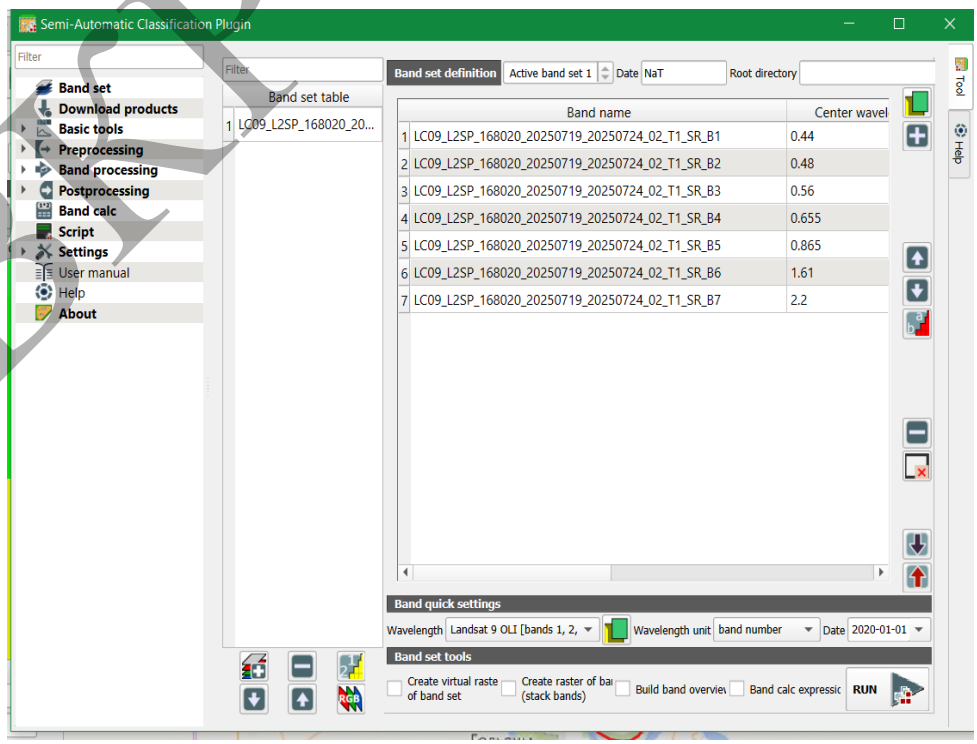


Рис. 4. Окно SCP с подгруженными каналами

ВГУИТ

Перед выполнением автоматизированного контролируемого дешифрирования, выполнялся набор кластеров непосредственно оператором. Чтобы определить тот или иной вид объектов, производилось синтезирование снимков по каналам. Каждая комбинация синтезированных каналов несет в себе визуальную и спектральную информацию об объектах на Земной поверхности. В работе использовались данные комбинации каналов:

- 5-4-3 - данная комбинация наиболее оптимальна для определения разных видов растительности, которые отображаются оттенками красно-розовых цветов (рис. 5А);
- 5-6-4 - отчетливо отображает границу между водными объектами и сушей (рис. 5Б);
- 5-6-2 - отображение бело-серыми цветами городской застройки и антропогенных объектов (рис. 5В);
- 7-5-3 - голые и вспаханные почвы выделены светло-розовым цветом (рис. 5Г).

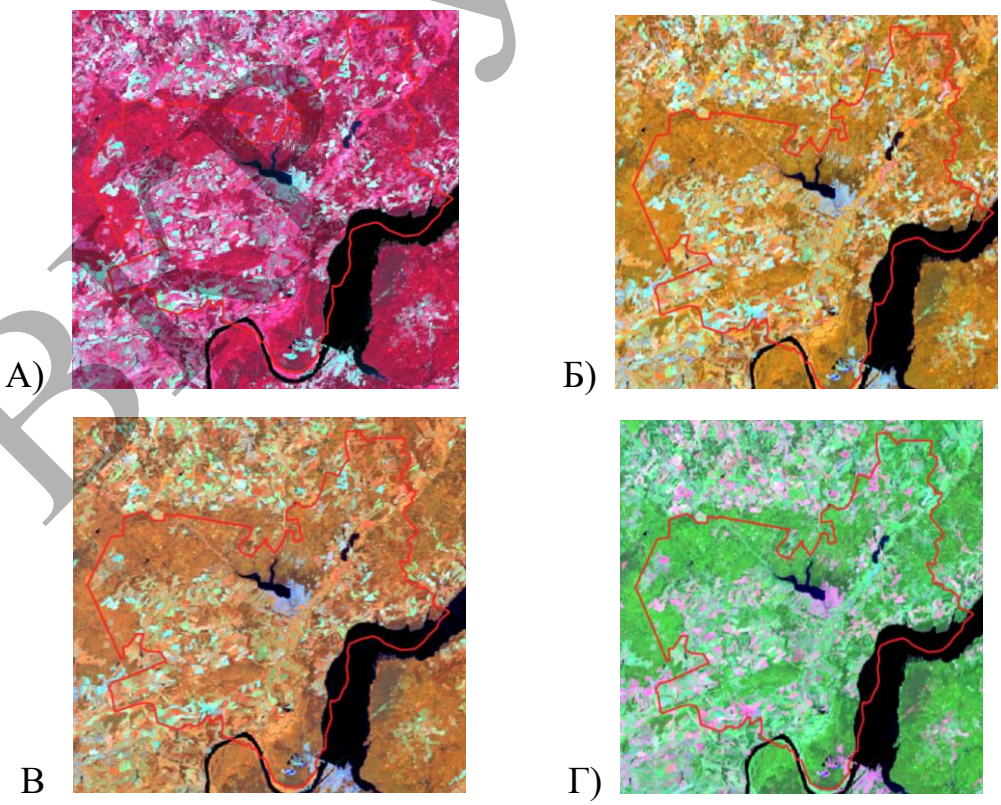


Рис. 5. Отображение разных комбинаций каналов (А-комбинация 5-4-3, Б-комбинация 5-6-4, В- комбинация 5-6-2, Г- комбинация 7-5-3)

ВГУДТУ

Далее следовал этап набора кластеров. Чтобы выполнить это действие, нужно было создать файл-библиотеку в формате scpx, в котором будет храниться набор кластеров. Весь отбор характерных участков для кластера производился вручную, основываясь не только на характерный цвет объектов отображенных на определенных синтезированных снимках, но и на дешифровочные признаки: прямые (текстура, структура, форма) и косвенные (взаимное расположение объектов). При выборе объектов прописывался макрокласс (вода, растительность, почва и тд.) и класс (прим.: макрокласс вода - пруд, река). Выделение интересующих участков выполнялось с помощью инструмента “Create a ROI polygon”. Принцип работы заключается в оцифровке полигоном небольшого куска снимка. После замыкания интересующего участка следовало сохранение и применение нового макрокласса в работе, это производилось посредством функции “Save temporary ROI to training input”. По итогу этого этапа набирается достаточно обширная база кластеров, состоящая из макроклассов и классов, по которым в дальнейшем производиться автоматизированное дешифрирование (рис. 6).

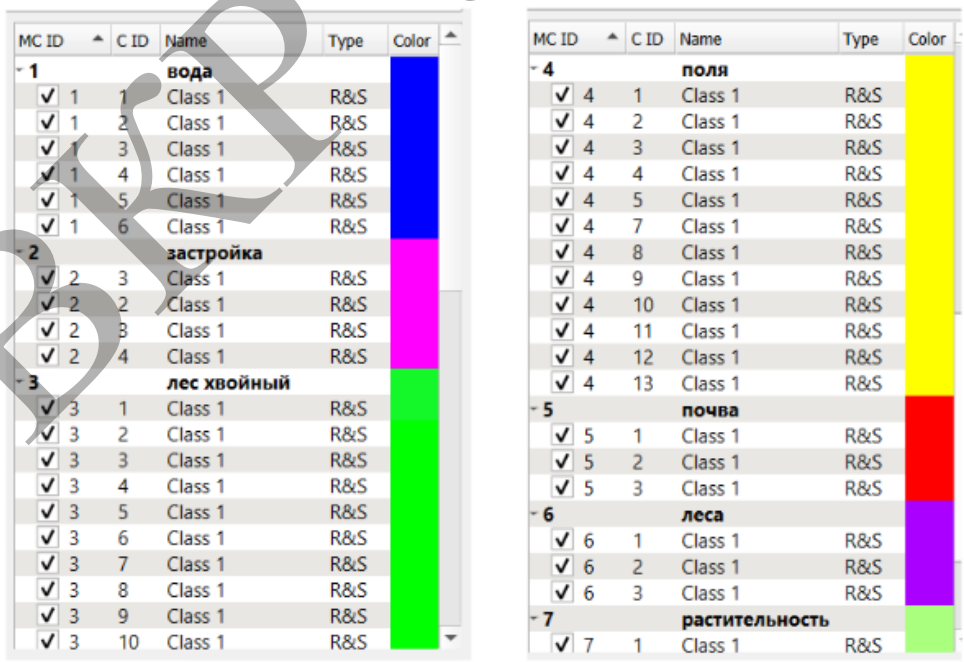


Рис. 6. Набранные макроклассы

На основе набранной библиотеки кластеров была произведена классификация. Она строится на системе классов или макросклассов.

ВКР УлГУ

Непосредственно перед классификацией всего растра для определения наиболее оптимальных характеристик был выбран небольшой участок, включающий максимально возможное число имеющихся эталонов. На эту территорию был осуществлен предварительный просмотр классификации. Были выбраны следующие параметры: классификация по системе классов (Class ID) методом максимального правдоподобия. Полная классификация всего растра производилась в меню SCP. Для уменьшения неправильно классифицированных объектов, которые представляют собой одиночные пиксели, добавлен алгоритм минимальной дистанции, благодаря которой не учитывались пиксели, рядом с которым не были минимум 3 пикселя с такой же классификацией (рис. 7).

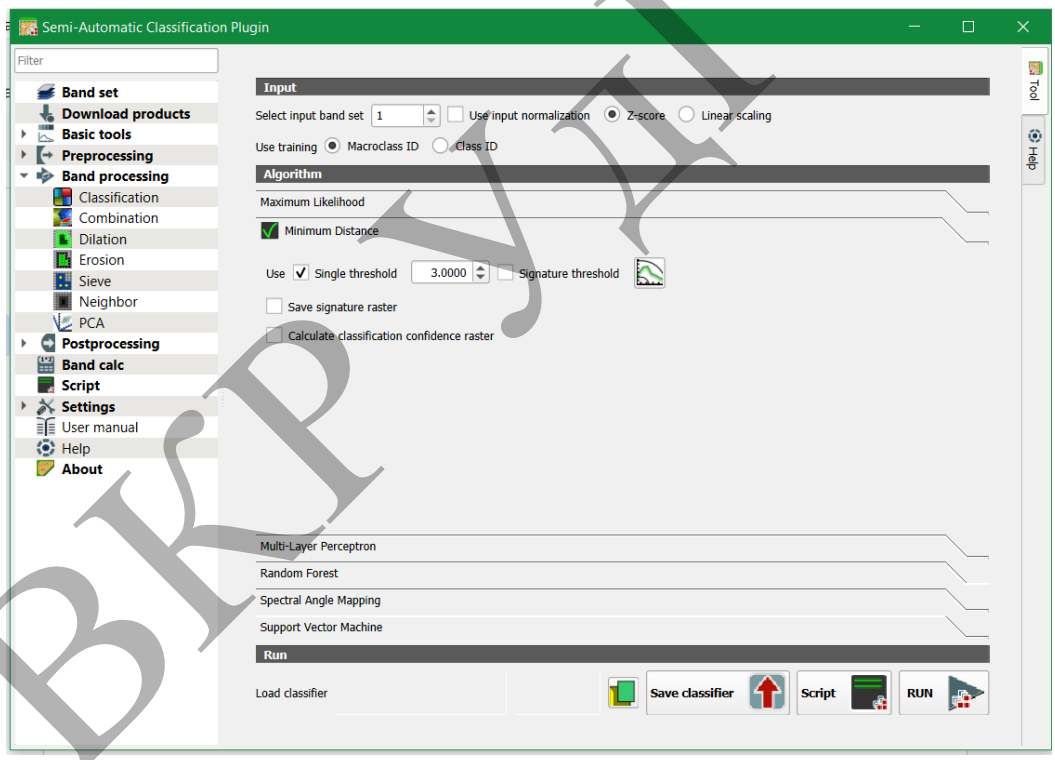


Рис. 7. Настройка параметров классификации

По итогу получилось разноцветное изображение в растровом формате tiff, на основе которого была составлена карта (см. Приложение 2). Каждый цвет соответствует цвету, заданному в макроклассе при наборе кластеров.

ВКР УлГУ

3.3. Расчет индексов

Индексы - это спектральные показатели объектов, рассчитываемые на основе данных дистанционного зондирования Земли. Интерпретация итоговых расчетов позволяет изучить показатели растительности, почв, водоемов и тд.

Первый рассчитываемый индекс NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), на его основе возможен анализ растительности. Данные за летнее время года могут применяться для комплексной оценки растений на территории, за зимнее время года хорошо анализируется состояние хвойной растительности.

Работа также выполнялась в геоинформационной системе QGIS. Основной используемой функцией был калькулятор растров.

Первым этапом работы следовала загрузка интересующих каналов. В случае NDVI это 4 и 5 каналы. 4 канал - спектр Red (красный диапазон), 5 канал - спектр NIR (Ближний инфракрасный). Подгрузка данных производилась путем перетаскивания файлов в окно программного обеспечения.

Следующий этап - сам расчет. В верхнем меню “Растр” находиться калькулятор растров. Его интерфейс подобен математическому калькулятору. Для расчета индекса NDVI использовалась формула:

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED) \quad (1)$$

В программной строке калькулятора прописывается сама формула, однако вместо значений RED и NIR вставляются снимки, которые представлены списком в окошке “Каналы растра”. Для записи результата есть два выбора сохранения: создание временного слоя и сохранение на компьютер (рис. 8). Во избежание срыва расчета, лучше выбирать вариант с сохранением на компьютер.

После выполнения расчета индекса, в основном окне программы появляется черно-белое изображение. На этом моменте анализ производится не может. Чтобы показать конкретные получившиеся характеристики, следовало привести изображение к отображению, основанному на цветовой шкале. Манипуляция по приведению растра в цветной вид производилась в окошке свойств слоя. Для начала выбирается тип отрисовки.

ВКР УлГУ

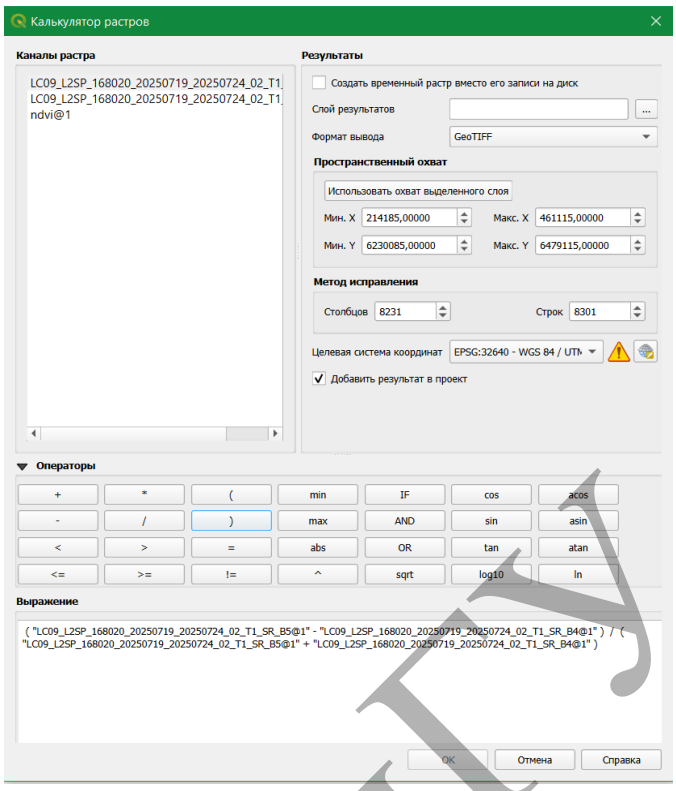


Рис. 8. Окно калькулятора растров с прописанной формулой индекса NDVI

После выполнения расчета, по умолчанию стоит тип отображение “Одноканальное серое”, его поменяли на “Одноканальное псевдоцветное”. Это действие приводит в окно “Установка значений мин/макс). В нем прописываются критерии: интерполяция - дискретная, цветовой ряд - RdYlGn. Далее каждому цвету задается значение от <0 до 1, так как индекс NDVI работает в пределах от -1 до 1 (рис. 9).

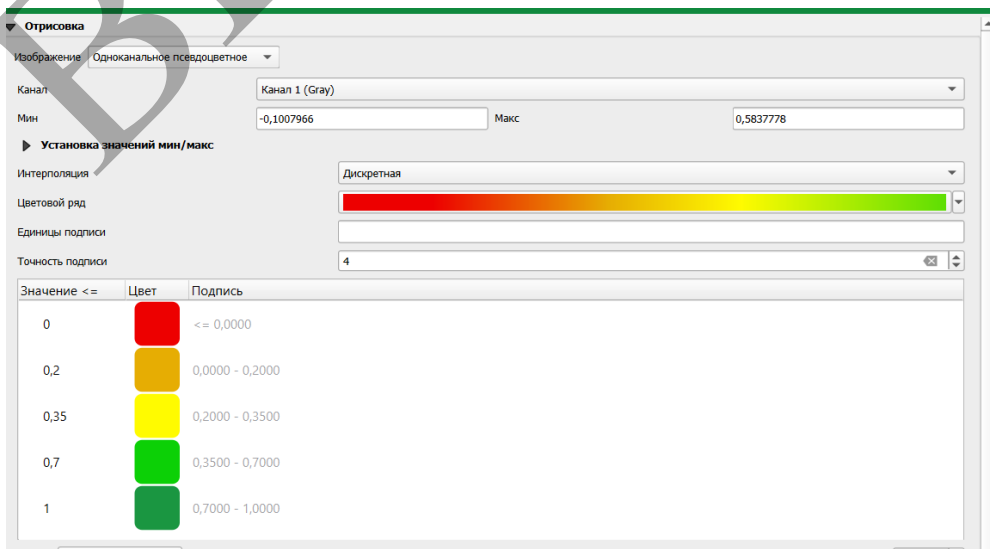


Рис. 9. Окно свойств стиля полученного растра

ВКР УлГУ

По итогу весь слой принимает цвета в указанных диапазонах. На выходе получился геопривязанный растр, на основе которого была составлена карта показателя NDVI (см. Приложение 3).

Следующие 2 рассчитываемых индексов используются для водных объектов. Индекс содержания хлорофилла (Chl) и индекс содержания взвешенных частиц (TSS). Для вычисления этих значений использовались каналы 3 - Зелёный (Green) и 4 - Красный (Red). В обоих случаях перед работой требовалось произвести вычисление значений пикселей в отражательную способность без учета солнечных лучей по формуле:

$$\rho\lambda' = Mp \cdot Qcal + Ap \quad (2)$$

Где:

- $\rho\lambda'$ - TOA planetary reflectance (планетарная отражательная способность на верхней границе атмосферы) без учёта угла падения солнечных лучей;
- Mp - мультипликативный коэффициент масштабирования для конкретного канала спутникового снимка;
- Ap- дополнительный (аддитивный) коэффициент масштабирования для конкретного канала;
- Qcal- исходные значения пикселей канала спутникового снимка (цифровые числа, записанные в растровом слое).

Все значения коэффициентов хранятся в текстовом файле, приложенным в архиве.

После пересчета по итогу получились новые растры, на основе которых рассчитываются уточненные индексы содержания хлорофилла и взвешенных частиц в водоемах. Вычисления также выполнялись в калькуляторе растров, и были использованы формулы:

$$TSS = 7.9038 \cdot \exp(x)(23.942 \cdot B4) \quad (3)$$

$$Chl = (2.41 \cdot B4/B3) + 0.187 \quad (4)$$

Где:

ВКР УлГУ

- exp(x) - экспонента, то есть (математическая константа e≈2.718);
- B4 - растр TOA Reflectance для 4-го канала спутника Landsat;
- *B*3 - растр TOA Reflectance для 3-го канала.

По завершению расчета, получившиеся растры также подверглись оформлению. Основным отличием от оформления индекса NDVI является то, что было добавлено 200 классов для более плавного перехода между оттенками. Результатом расчета индексов являются геопривязанные растровые изображения (рис. 10,11).

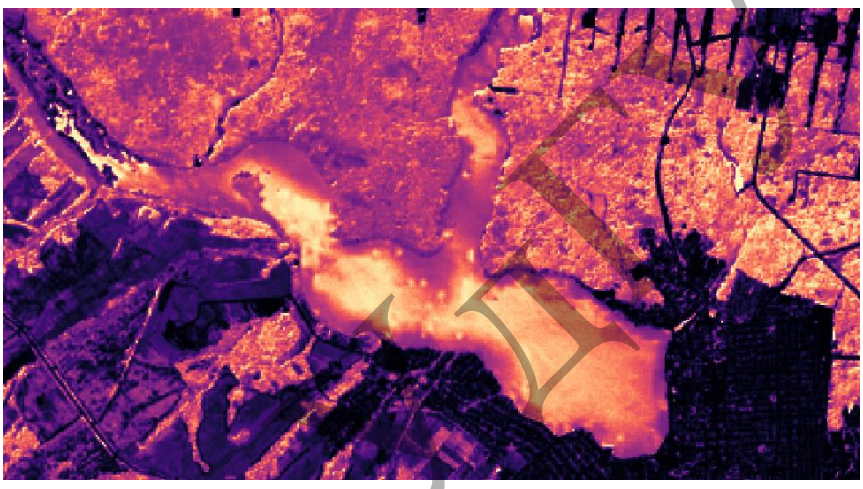


Рис. 10. Фрагмент полученного растра по расчетам индекса TSS (на примере Воткинского пруда)

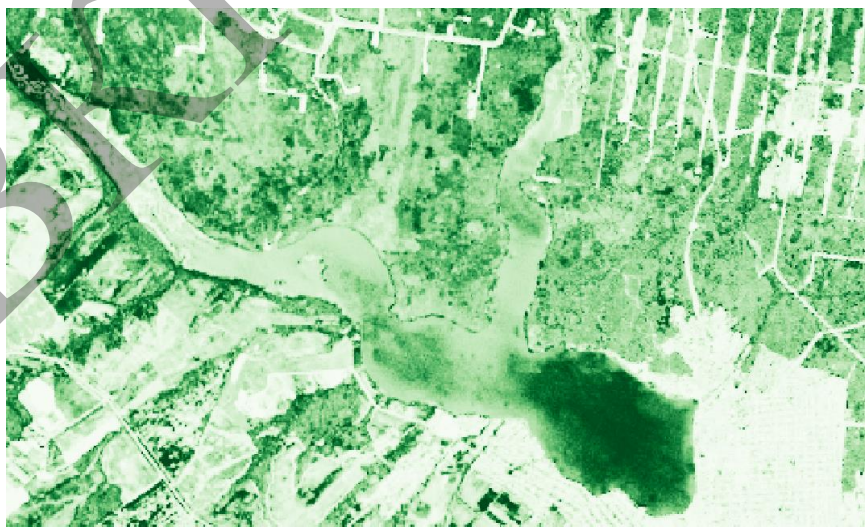


Рис. 11. Фрагмент полученного растра по расчетам индекса Chl (на примере Воткинского пруда)

ВГРЭУ

3.4. Работа с данными SRTM

Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) - международный исследовательский проект по созданию цифровой модели рельефа Земли с помощью радарной топографической съёмки её поверхности. На основе данных ЦМР можно произвести анализ морфометрических характеристик рельефа.

Скачивание ЦМР выполнялось в геоинформационной системе QGIS с использованием модуля SRTM Downloader. Для получения доступа к данным также требовалась предварительная регистрация на соответствующем сервисе - без неё загрузка была невозможна [10]. После успешного скачивания в окне программы отображается загруженная ЦМР, которая далее подлежала обработке: её следовало обрезать по границе Воткинского района, чтобы сфокусироваться на интересующей территории и исключить лишние данные из последующего анализа. Обрезка была совершена с помощью инструмента «Обрезать по маске» (Clip by Mask) - это позволило выделить строго заданный участок рельефа, соответствующий административным границам Воткинского района. В качестве маски при этом использовалась векторный слой с границей района, заранее оцифрованный в QGIS (рис. 12).

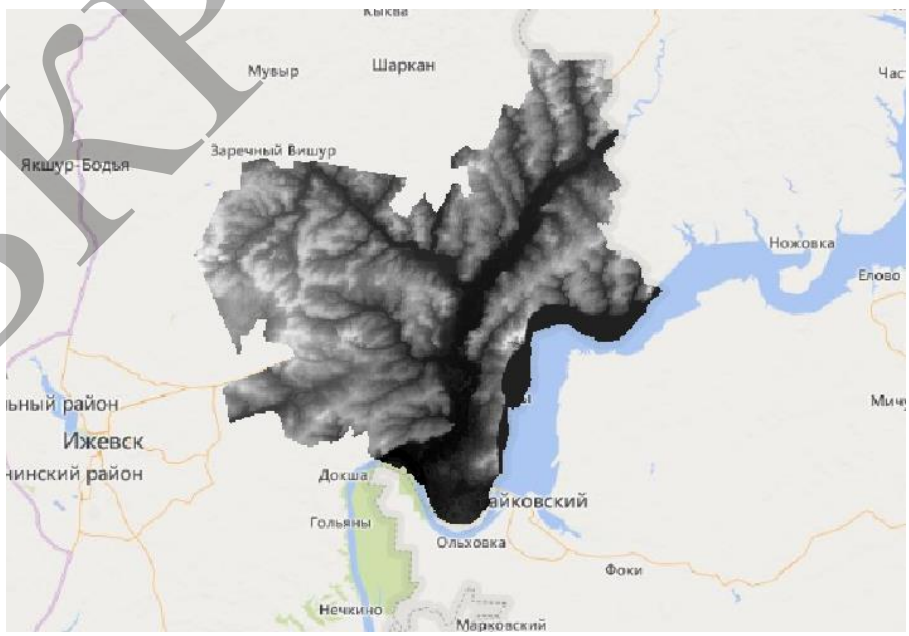


Рис. 12. ЦМР в окне QGIS

Далее, с целью получения обширной информации о рельефе, была проведена обработка в SAGA GIS (System for Automated Geoscientific Analyses)

ВКР УдГУ

- географической информационной системе (ГИС) для редактирования и анализа пространственных данных. После подгрузки ЦМР стало возможным автоматически составить несколько карт с разными видами информации; для этого использовался инструмент Geoprocessing → Terrain analysis → Compound analyses → Compound basic terrain analysis (рис. 13).

В результате получились карты, содержащие в себе данные об относительной высоте, крутизне склона, экспозиции склонов, потенциале эрозии, влажности, схождении потоков. Каждая из карт визуализирует отдельный морфометрический параметр рельефа, что позволяет комплексно оценить особенности территории. Также карты были выведены с оформлением с легенды в формате png.

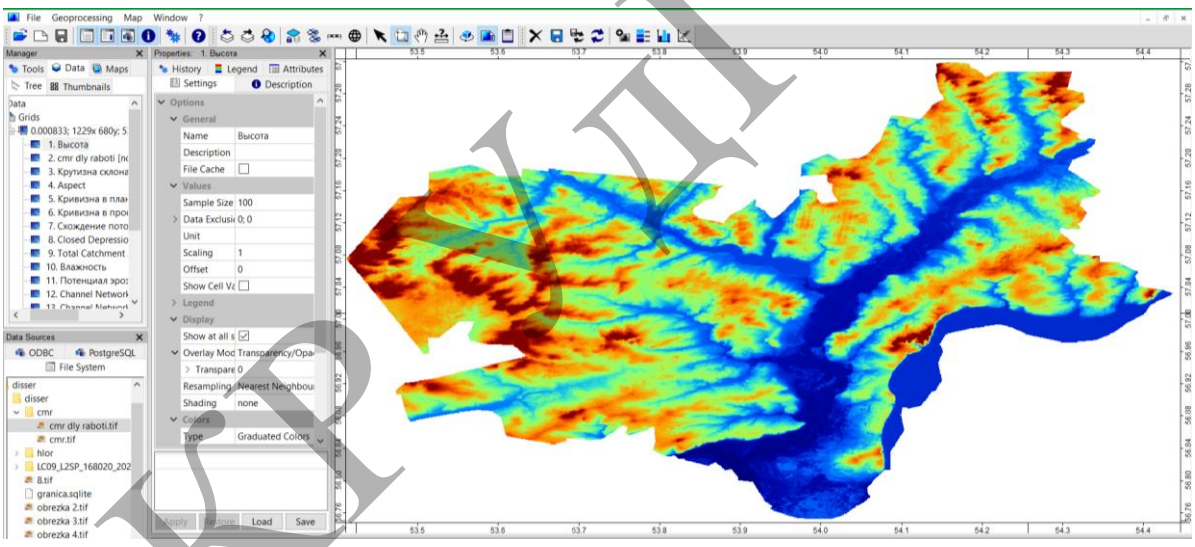


Рис. 13. Окно программы SAGA

3.5. Анализ характеристик ландшафта на основе аэрокосмических данных

Результаты автоматизированного дешифрирования территории Воткинского района демонстрируют выраженную мозаичность землепользования и природно-антропогенную дифференциацию пространства. Пространственное распределение категорий, отражённое на карте, согласуется с данными круговой диаграммы: доминирующей категорией выступают сельхозугодья (32,3 %), формирующие обширные жёлтые массивы преимущественно в центральной и южной частях района. Их площадное

ВКР УдГУ

преобладание задаёт основной хозяйственный профиль территории, ориентированный на аграрное производство, при этом фрагментарность контуров указывает на чередование пашни, сенокосов и залежей, а также на влияние рельефа и инфраструктуры, дробящей крупные поля на мелкие участки (см. Приложение 2).

Значительную долю земельного фонда занимают лесные массивы: смешанные леса (15,5 %) и хвойный лес (11,2 %) образуют крупные зелёные ядра, преимущественно в северной и северо-западной частях района, а также вдоль водоразделов. Эти массивы выполняют важные средообразующие функции - водоохранную, почвозащитную и рекреационную, а их пространственная локализация отражает тяготение лесной растительности к менее пригодным для распашки возвышенным и переувлажнённым участкам. Категория «растительность» (16,8 %) представлена на карте светло-зелёными пятнами и, вероятно, включает луговые, кустарниковые и вторичные сообщества, формирующие переходные зоны между лесами и сельхозугодьями либо участки на стадии естественного восстановления.

Антропогенно трансформированные и техногенные категории занимают относительно небольшую, но критически важную в функциональном отношении часть территории. Городская застройка (4,2 %) локализована компактными розово-малиновыми кластерами, соответствующими населённым пунктам, и формирует узлы концентрации населения и инфраструктуры. Водные объекты (8,1 %) представлены синими контурами, отражающими гидрографическую сеть и крупные водоёмы; их размещение определяет ландшафтную структуру района и влияет на микроклимат прилегающих территорий. Открытая почва (5,8 %) фиксируется разрозненными красными пятнами и может соответствовать свежим вырубкам, карьерам, строительным площадкам либо участкам с нарушенным растительным покровом — эти зоны характеризуются повышенной уязвимостью к эрозии и требуют мониторинга.

Влаголюбивая растительность (6,0 %) приурочена к поймам, береговым зонам и локальным понижениям рельефа, формируя экологически значимые

ВКР УлГУ

буферные полосы, которые регулируют сток, фильтруют загрязняющие вещества и поддерживают биоразнообразие. Её мозаичное распределение подчёркивает роль гидрологических факторов в формировании ландшафтной структуры района.

В целом, структура земельного фонда Воткинского района отражает баланс между природными комплексами и хозяйственным освоением: лесистость (суммарно 26,7 %) и аграрное использование (32,3 %) формируют основу ландшафтного каркаса, а техногенные и водные элементы задают функциональную специализацию отдельных участков. Для устойчивого управления территорией целесообразно дифференцировать режимы землепользования с учётом пространственной локализации уязвимых зон (открытая почва, поймы) и ключевых природных ядер (лесные массивы), а также учитывать мозаичность ландшафта при планировании мелиоративных, природоохранных и инфраструктурных мероприятий.

Анализ информации, полученной путем расчетов индексов. Индекс NDVI рассчитанный на Воткинский район отражает пространственное распределение фотосинтетической активности растительного покрова: шкала индекса (от ≤ 0 до 1) визуализирована цветовой палитрой, где красные тона соответствуют участкам без активной растительности либо с её сильным угнетением, а тёмно-зелёные - зонам с максимальной плотностью и жизнеспособностью зелёной массы

Наиболее выраженные зоны с низкими значениями NDVI (≤ 0-0,2) локализованы в южной и юго-восточной периферии района, а также фрагментарно встречаются вдоль линейных объектов (транспортные коридоры, промплощадки, открытые грунты). Эти территории характеризуются практически полным отсутствием фотосинтезирующей биомассы - застроенные участки, карьеры, распаханные земли. Промежуточные значения (0,2–0,35) формируют переходные полосы, где растительность разрежена: это могут быть залежи, пастбища с перевыпасом, молодые лесопосадки или участки на ранней стадии восстановления после нарушений, также к ним относят сельхозугодья с

ВКР УдГУ

недавно выросшей культурой. Основная часть территории окрашена в зелёные оттенки (0,35-0,7 и 0,7-1), что свидетельствует о сплошном или умеренно разреженном растительном покрове - здесь доминируют зрелые лесные массивы, сенокосы и устойчивые агроценозы. Максимальные значения (0,7-1) приурочены к внутренним, наименее нарушенным частям района, где сформировались условия для развития густой, здоровой растительности (преимущественно хвойно-мелколиственные леса) (табл. 3).

Южная и юго-восточная окраины района - зоны максимальной антропогенной нагрузки с преобладанием низких значений NDVI; центральная и северная части - ядра природной устойчивости с высокой и умеренной вегетационной активностью; линейные жёлтые «коридоры» вдоль водотоков и дорог отражают мозаичность землепользования и поэтапное восстановление растительности на нарушенных землях. Такая структура типична для районов со смешанным типом освоения: сочетание сохранившихся лесных массивов, сельскохозяйственных угодий и зон техногенного воздействия.

Таблица 3

Интерпретация диапазонов NDVI

Диапазон NDVI	**Цветовая индикация на карте**	**Интерпретация состояния территории**	**Вероятные типы землепользования / ландшафты**
≤ 0	Красный	Отсутствие активной растительности; сильное угнетение либо полное отсутствие фотосинтезирующих объектов	Застроенные территории, промплощадки, карьеры, свежие вырубки, водные объекты (при отсутствии коррекции на воду)
0-0,2	Оранжево-красный	Крайне разреженный растительный покров; выраженный стресс растительности	Открытые грунты, сильно деградированные пастбища, участки с эрозией, свежие залежи

ВКР УлГУ

0,2-0,35	Жёлтый	Разреженная, угнетённая или молодая растительность; умеренная фотосинтетическая активность	Молодые лесопосадки, залежи, пастбища с перевыпасом, участки на ранней стадии восстановления
0,35-0,7	Светло-зелёный / зелёный	Умеренная до высокой плотности растительность; устойчивые фитоценозы	Зрелые смешанные леса, сенокосы, устойчивые агроценозы, опушки, подлесок
0,7-1	Тёмно-зелёный	Максимальная плотность и жизнеспособность растительного покрова; высокая фотосинтетическая активность	Сплошные лесные массивы (преимущественно хвойно-мелколиственные), наименее нарушенные природные территории

Индексы TSS (взвешенные частицы в водоемах) и Chl (содержание хлорофилла в водоемах) позволяют визуально оценить качество водоемов. Анализ производился на примере Воткинского пруда. Данные виды индексов в основном могут быть оценены благодаря визуальному анализу, так как из-за того, что данные оформлены в режиме квантили для более наглядного облика, то количественные данные сложнее оценить.

Для начала был рассмотрен индекс TSS (взвешенные частицы в водоемах), где тёмные (фиолетово-синие) тона соответствуют более высокой концентрации взвешенных частиц, а светлые (оранжево-желтые) - более низкой. На изображении видно, что в центральной части пруда меньше взвешенных частиц, чем у склонов. Это может быть связано с несколькими факторами. В центральной части пруда скорость течения минимальна, что способствует оседанию взвеси. В прибрежной зоне, наоборот, волновая активность и турбулентность поддерживают частицы во взвешенном

ВКР УдГУ

состоянии. Поверхностные воды также могут влиять на этот показатель: с водосборной площади в пруд поступают взвешенные вещества с дождевыми и талыми водами, особенно в периоды паводков. Темные полосы вдоль берега могут указывать на точечные источники поступления взвеси: устья притоков, зоны эрозии берегов, выпуски ливневых стоков.

Детально рассмотрены 4 участка (рис. 14). Участок под номером 1 - слаборазвитый меандр в месте выше впадения р. Шаркан в Воткинский пруд. Можно заметить, как благодаря достаточно сильному течению на данном участке взвешенные частицы не скапливаются, а переносится ближе к самому месту впадения реки в пруд. Участок номер 2 - р. Вотка. Тут происходит аналогичная ситуация: течение за счет скорости в узкой её части, также выносит взвесь в более широкий отрезок. Участок номер 3 - плотина. Тут происходит накопление взвешенных частиц, связанное с резким сужением места. 4 участок - достаточно разработанный меандр р. Вотка. Здесь уже частицы начинают скапливаться в глубоком “кармане”, а не выносятся дальше из-за того, что река начинает врезаться в берег.

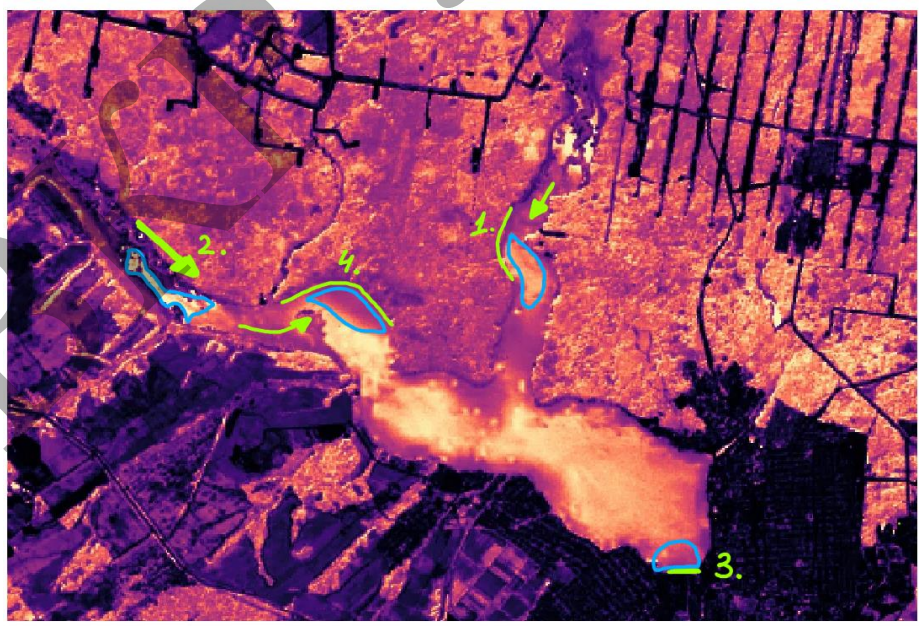


Рис.14. Детально рассмотренные участки Воткинского пруда

Также был рассмотрен индекс Chl (содержание хлорофилла в водоемах) (рис. 15). На изображении видно, что хлорофилл распространен неоднородно. Прибрежные мелководья - обычно это участки с наиболее выраженной

концентрацией хлорофилла. Здесь вода быстрее прогревается, поступает сток с водосбора с биогенами, а слабая проточность способствует накоплению биомассы фитопланктона, однако в данном случае, из-за формы пруда, биогенные вещества не накапливаются, а сносятся в центральную часть. Устья притоков - классические «горячие точки» по хлорофиллу: вместе с потоком воды в пруд попадают питательные вещества, стимулирующие рост водорослей, поэтому в широких участках устья происходит накопление биоты. Что нетипично, центральная глубоководная часть имеет наибольшее содержание биогенного вещества. Причинами может служить фактор близкого расположения к г. Воткинск и наличие плотины. От города выносятся стоки с содержанием биогенных веществ что приводит к эвтрофикации водоёма. Также деятельность промышленности локально поднимает температуру пруда, что также положительно влияет на биоту. Наличие плотины и сужение стока не дает биомассе выноситься в нижнее русло р. Вотка. Локальные яркие пятна могут соответствовать очагам «цветения» - вспышкам биомассы, часто связанным с высокой температурой и локальным поступлением биогенов.

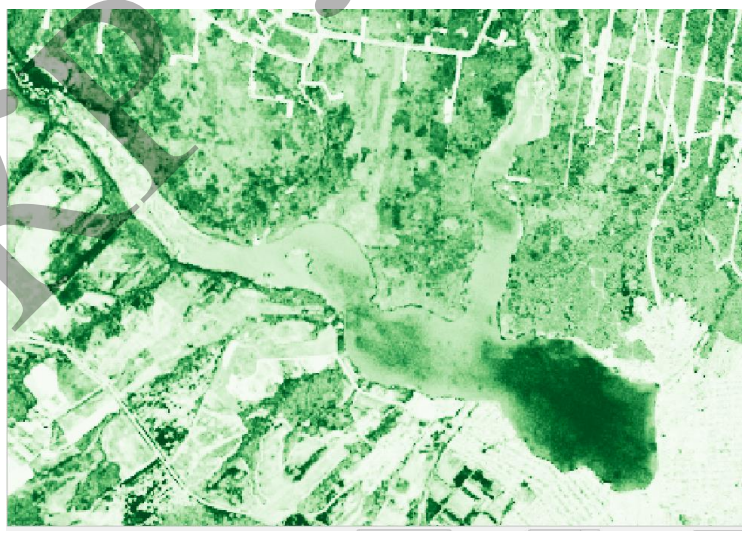


Рис. 15. Показатель содержания хлорофилла в Воткинском пруду

Далее были проанализированы результаты обработки цифровой модели рельефа, в результате которого были составлены карты различных морфометрических показателей.

ВКГУ

Первая рассмотренная карта была карта высот (см. Приложение 4). Она составлена с использованием цветовой шкалы которая содержит в себе информацию о высоте в метрах над уровнем моря. Абсолютные отметки 70-200 метров, перепад высот 130 метров. На данном изображении отчетливо видны структуры рельефа такие как возвышенные водоразделы и низины в речных долинах, это свидетельствует о сильной вертикальной расчлененности рельефа. Самая крупная низменность, долина р. Сива, тянется с севера-востока на юг. Самая крупная возвышенность расположена между бассейнами рек Вотка и Позимь в западной части района.

Следующий рассматриваемый показатель - крутизна склонов (см. Приложение 5). Также изображен с использованием цветовой шкалы, значения которой представлены радианами. Водные объекты не оцениваются, поэтому они изображены в цвете самого минимального показателя.

- 0.000-0.030 рад (тёмно-зелёные тона) - практически плоские участки: водоразделы, террасы, поймы. Уклон здесь минимальный, сток воды слабый, риск эрозии низок. Лучше всего этот показатель можно наблюдать на долине р. Сива.
- 0.030-0.070 рад (светло-зелёные и жёлтые тона) - пологие и умеренно крутые склоны. Это основная часть рельефа на карте, здесь уже формируется заметный поверхностный сток, возможна умеренная эрозия.
- 0.070-0.120 рад (оранжево-красные тона) - крутые склоны. В этих зонах кинетическая энергия стекающей воды максимальна, высок риск смыва почвы и развития линейной эрозии. Эти участи отчетливей всего отображены вдоль крутых берегов рек. Уклон 0.120 рад примерно равен 6.87°. Это не экстремально крутые склоны, но для сельскохозяйственного использования такие участки уже считаются проблемными и требуют специальных мер защиты почв.

Больше всего склонов расположены на территории Собственно-Камского, Удебского, Сивинского, Кенско-Позимьского и юго-западной части Июльского ландшафтов. Наименьший уклон в Воткинском ландшафте.

ВКР УдГУ

Далее анализ проводился для одного из важнейших показателей - опасность возникновения эрозии (см. Приложение 6). Цветовая шкала показывает значения от 0.0 (ярко-жёлтый) до 6.0 (тёмно-бордовый). Фактор эрозионной опасности - безразмерный показатель, отражающий совокупное влияние длины и крутизны склона на потенциальный смыв почвы: чем выше значение, тем выше эрозионная опасность. Если смотреть по количеству зон с эрозионной опасностью, то больше всего подвержены Казесский, Сивинский, Июльский типы ландшафтов. Также граница между Сарапульским и Собственно Камским ландшафтами характеризуется достаточно широкой полосой с максимальным значением эрозионной опасности.

Следующий индекс отражает геометрию рельефа в плане и показывает, насколько локальная форма поверхности способствует концентрации или рассеиванию поверхностного стока (см. Приложение 7).

Высокие положительные значения (от +12 до +20, тёмно-оранжевые и красные) локализованы вдоль тальвегов и в днищах долин - это главные каналы концентрации стока. Здесь формируется максимальный объём поверхностного стока, высок риск линейной эрозии (овраги, промоины) и аккумуляции наносов.

Умеренные положительные значения (от +4 до +12, светло-оранжевые) - борта долин и ложбин, переходные зоны от склонов к днищам. Сток здесь уже концентрируется, но менее интенсивно.

Отрицательные значения (от −4 до −20, сине-голубые и тёмно-синие) - гребни водоразделов, выпуклые перегибы склонов, бровки террас. Это зоны рассеивания стока: вода здесь растекается в стороны, локальная эрозия минимальна, но именно с этих участков начинается формирование поверхностного стока.

Околонулевые значения (от −4 до +4, бежево-серые)- относительно ровные участки водоразделов и пологие склоны. Здесь сток слабо перераспределяется в плане, его динамика определяется в первую очередь крутизной склона.

ВКР УдГУ

Следующая карта отражает потенциальную увлажнённость территории, обусловленную особенностями рельефа (см. Приложение 8). Значения индекса варьируют от 5 (минимальная увлажнённость) до 17 (максимальная), где тёмно-синие тона соответствуют зонам наибольшего накопления влаги, а красно-оранжевые - наиболее дренированным участкам.

Пространственная структура карты демонстрирует чёткую связь с гидрографической сетью: максимальные значения (14-17) приурочены к руслам водотоков, днищам долин и замкнутым понижениям - именно здесь концентрируется сток, снижается скорость движения воды и формируются условия для переувлажнения, заболачивания и аккумуляции наносов: здесь развиваются процессы накопления ила и формирования переувлажнённых почв, что делает эти участки малопригодными для распашки без предварительного осушения. Эти зоны визуально совпадают с тёмно-синими полигонами, обозначающими водные объекты. Переходные участки (11-14), представленные голубыми и светло-голубыми тонами, занимают борта долин и нижние части склонов: здесь сток замедляется, но ещё не полностью аккумулируется, что создаёт риск локального подтопления, особенно в периоды обильных осадков или весеннего снеготаяния. При сельскохозяйственном использовании здесь быстро формируются промоины, а при застое воды деградирует пахотный слой. Основная часть территории окрашена в жёлто-оранжевые тона (7-11) - это средние и верхние части склонов с умеренной крутизной, где влага не задерживается надолго. Минимальные значения (5-7) характерны для бровок склонов, водораздельных линий и крутых коротких склонов: здесь вода быстро стекает вниз, не формируя застойных явлений.

Карта экспозиции склонов Воткинского района отражает ориентацию склонов по сторонам света, выраженную в градусах (от 0 до 360°): цветовая шкала справа связывает конкретные оттенки с направлениями - синий соответствует северным экспозициям, красный - южным, зелёный - западным, жёлтый – восточным (см. Приложение 9). Пространственная картина

ВКР УдГУ

отличается высокой мозаичностью: на территории района нет крупных однородных массивов, вместо этого наблюдается частая смена экспозиций, обусловленная расчлененным рельефом.

Южные и юго-восточные склоны характеризуются большей инсоляцией и, как следствие, более интенсивным прогревом почвы, ускоренным испарением влаги и повышенной эрозионной опасностью при распашке. Северные и северо-западные склоны, напротив, получают меньше прямого солнечного излучения, дольше сохраняют влагу и снежный покров, а их температурный режим более умеренный. Переходные экспозиции (западные и восточные) занимают промежуточное положение по тепло- и влагообеспеченности. В пределах водосборных бассейнов прослеживается закономерность: противоположные борта долин и балок часто имеют контрастные экспозиции - например, один склон обращён на юг, другой - на север, что формирует внутри одного небольшого участка существенно различающиеся микроклиматические и почвенные условия. Видно что северные и южные экспозиции в основном занимают территорию к западу и востоку от долины р. Сива, в самой долине преобладают восточные и западные экспозиции.

Далее рассматривалась карта ветрового воздействия (см. Приложение 10). Карта отражает локальные вариации ветрового воздействия на пересечённой территории: значения от 0.80 (оранжево-красный) до 1.20 (тёмно-синий) показывают степень усиления или ослабления ветра относительно базового уровня. Высокие значения (1.16-1.20) приурочены к гребням и крутым склонам - здесь ветер усиливается за счёт фокусировки потока; низкие (0.80-0.92) - к днищам долин, подветренным зонам и замкнутым понижениям, где формируется аэродинамическая тень. Пространственная мозаика индекса напрямую обусловлена рельефом: даже на малых расстояниях ветровая нагрузка заметно меняется из-за локальных форм местности.

Аэрокосмические данные выступают ключевым инструментом комплексной оценки ландшафтной структуры - они позволяют одновременно

ВКР УлГУ

фиксировать пространственную конфигурацию землепользования, функциональное состояние растительного покрова, гидрологические параметры водоёмов и морфометрические характеристики рельефа.

ВКР УдГУ

Заключение

Проведенное исследование позволило всесторонне оценить геоэкологическое состояние ландшафтов Воткинского района на основе аэрокосмических данных. В ходе работы достигнута поставленная цель - выполнена комплексная геоэкологическая оценка территории с применением современных методов дистанционного зондирования.

В результате исследования установлено, что территория Воткинского района характеризуется высоким ландшафтным разнообразием, включающим различные типы ландшафтов с разной степенью их состояния и разнообразием характеристик.

Аэрокосмические методы исследования показали свою высокую эффективность в решении поставленных задач по анализу территории. Они позволили:

- Составить карты современной ландшафтной ситуации;
- Получить объективную информацию о состоянии природных компонентов ландшафта.

Материалы исследования подтверждают перспективность дальнейшего применения аэрокосмических методов в геоэкологических исследованиях. Особенно актуальным представляется расширение базы данных для мониторинга динамики изменений ландшафтов и разработки прогнозов их развития.

Таким образом, проведенное исследование показало эффективность комплексного подхода к геоэкологической оценке территории с использованием современных методов дистанционного зондирования, что позволяет получать достоверную информацию для принятия обоснованных управленческих решений в сфере природопользования.

ВКР УдГУ

Список литературы

1) Асеева Е.Н., Касимов Н.С., Крооненберг С.Б. Бассейновая организация ландшафтно-геохимических систем // География, общество, окружающая среда. Т. II. Функционирование и современное состояние ландшафтов. М.: Городец, 2004. 499 с.

2) Беручашвили Н.П., Жучкова В.К. Методы комплексных физико-географических исследований. М: Изд-во Московского ун-та. 1997. 317 с

3) Гагина Н.В., Федорцова Т.А. Методы геоэкологических исследований: курс лекций. Мн.: БГУ, 2002. 98 с.

4) Исаченко Г.А. Методы полевых ландшафтных исследований и ландшафтно-экологическое картографирование. Курс лекций. СПб.: Изд-во С.-Петерб. ун-та, 1998. 110 с.

5) Королев В.А. и др. Полевые методы гидрогеологических, инженерно-геологических, геокриологических, инженерно-геофизических и эколого-геологических исследований: метод. руководство по учеб. практике в Звенигороде для студентов геол. фак. МГУ. Москва: Изд-во Моск. ун-та, 2000. 350 с.

6) Кочуров Б.И. Геоэкология: экодиагностика и эколого-хозяйственный баланс территории: Учебное пособие. М.: 1999. 86 с.

7) Середовских Б.А., Исыпов В.А. Исследование геоэкологического состояния территории на основе ландшафтно-гидрологического анализа: учебно-методическое пособие. Нижневартовск: Изд-во Нижневартовского гос. университета, 2024. 88 с.

8) Шелутко В.А. Методы обработки и анализа геоэкологисеской информации: учебник. СПб.: РГГМУ, 2020. – 296 с.

Интернет-ресурсы

9) EarthExplorer - [Электронный ресурс]. – Электрон. Дан. – Режим доступа: https://earthexplorer.usgs.gov/ (дата обращения: 02.05.2026)

ВКР УлГУ

10) OpenTopography Tools | OpenTopography – Электрон. Дан. – Режим доступа https://opentopography.org/tools (дата обращения: 02.05.2026)

11) Вегетационный индекс (NDVI) — показатель состояния растительности по данным дистанционного зондирования. — значение и описание термина | Терминология "Смарт Грейд" фотосепараторы "Сапсан" – Электрон. Дан. – Режим доступа https://fsapsan.ru/glossary/vegetatsionnyy-indeks-ndvi-pokazatel-sostoyaniya-rastitelnosti-po-dannym-distantsionnogo-zondirovaniya/ (дата обращения: 23.05.2026)

12) Геоэкология – Электрон. Дан. – Режим доступа https://studfile.net/preview/11047073/ (дата обращения: 02.05.2026)

13) Интерпретация комбинаций каналов данных Landsat TM / ETM+ — GIS-Lab – Электрон. Дан. – Режим доступа https://wiki.gis-lab.info/w/Интерпретация_комбинаций_каналов_данных_Landsat_TM_/_ETM+ (дата обращения: 08.05.2026)

14) Понятие о дистанционных методах в геоэкологических исследованиях – Электрон. Дан. – Режим доступа https://studfile.net/preview/6876992/page:2/ (дата обращения: 02.05.2026)

15) Тема 1.2: теоретические и методологические основы геоэкологии – Электрон. Дан. – Режим доступа https://studfile.net/preview/6878021/page:2/ (дата обращения: 02.05.2026)

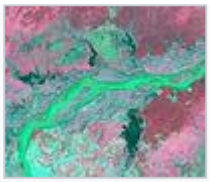
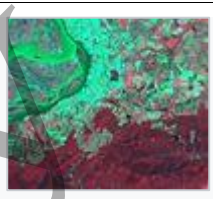
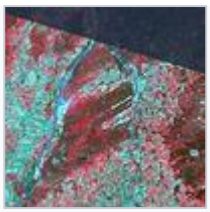
16) Удмуртия в ландшафтном измерении: природа, культура, этносы : науч.-попул. монография – Электрон. Дан. – Режим доступа http://elibrary.udsu.ru/xmlui/handle/123456789/18228 (дата обращения: 23.05.2026)

ВКР УдГУ

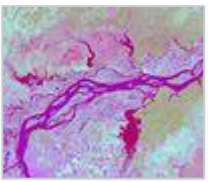
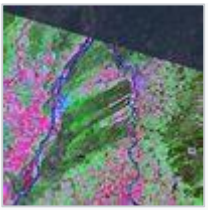
ПРИЛОЖЕНИЯ

ВКР УДГУ

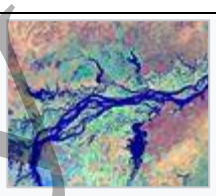
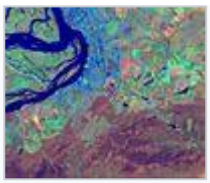
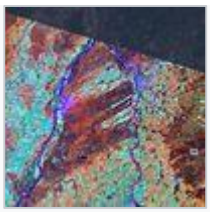
Приложение 1

Комбинация Landsat 9	**Возможная информация**	**Примеры**
5,4,3	Стандартная комбинация «искусственные цвета». Растительность отображается в оттенках красного, городская застройка – зелено-голубых, а цвет почвы варьируется от темно до светло коричневого. Лед, снег и облака выглядят белыми или светло голубыми (лед и облака по краям). Хвойные леса будут выглядеть более темно-красными или даже коричневыми по сравнению с лиственными. Эта комбинация очень популярна и используется, главным образом, для изучения состояния растительного покрова, мониторинга дренажа и почвенной мозаики, а также для изучения агрокультур. В целом, насыщенные оттенки красного являются индикаторами здоровой и (или) широколиственной растительности, в то время как более светлые оттенки характеризуют травянистую или редколесья/кустарниковую растительность.	  
4,3,2	Комбинация «естественные цвета». В этой комбинации используются каналы видимо диапазона, поэтому объекты земной поверхности выглядят похожими на то, как они воспринимаются человеческим глазом. Здоровая растительность выглядит зеленой, убранные поля – светлыми, нездоровая растительность – коричневой и желтой, дороги – серыми, береговые линии – белесыми. Эта комбинация каналов дает	 

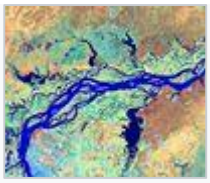
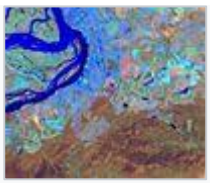
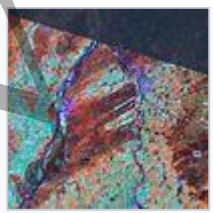
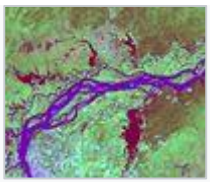
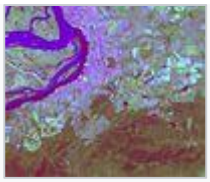
ВКР УлГУ

	возможность анализировать состояние водных объектов и процессы седиментации, оценивать глубины. Также используется для изучения антропогенных объектов. Вырубки и разреженная растительность детектируются плохо, в отличие от комбинации 4-5-1 или 4-3-2. Облака и снег выглядят одинаково белыми и трудноразличимы. Кроме того, трудно отделить один тип растительности от другого. Эта комбинация не позволяет отличить мелководье от почв в отличие от комбинации 7-5-3.	
7,5,3	Эта комбинация дает изображение близкое к естественным цветам, но в тоже время позволяет анализировать состояние атмосферы и дым. Здоровая растительность выглядит ярко зеленой, травянистые сообщества – зелеными, ярко розовые участки детектируют открытую почву, коричневые и оранжевые тона характерны для разреженной растительности. Сухостойная растительность выглядит оранжевой, вода- голубой. Песок, почва и минералы могут быть представлены очень большим числом цветов и оттенков. Эта комбинация дает великолепный результат при анализе пустынь и опустыненных территорий. Кроме того, может быть использована для изучения сельскохозяйственных земель и водно-болотных угодий. Сгоревшие территории будут выглядеть ярко красными. Эта комбинация используется для изучения динамики пожаров и пост-пожарного анализа территории. Городская застройка отображается в оттенках розово-фиолетового,	 

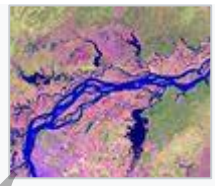
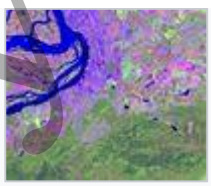
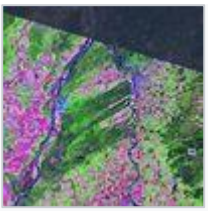
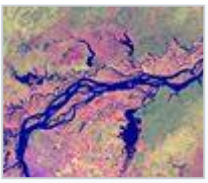
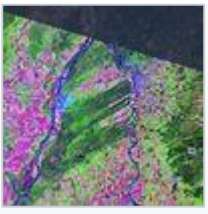
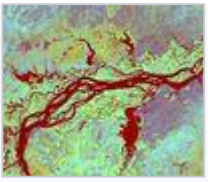
ВКР УлГУ

	травянистые сообщества – зелеными и светло зелеными. Светло зеленые точки внутри городских территорий могут быть парками, садами или полями для гольфа (актуально для России :)). Оливково-зеленый цвет характерен для лесных массивов и более темный цвет является индикатором примеси хвойных пород.	
5,6,2	Здоровая растительность отображается в оттенках красного, коричневого, оранжевого и зеленого. Почвы могут выглядеть зелеными или коричневыми, урбанизированные территории – белесыми, серыми и зелено-голубыми, ярко голубой цвет может детектировать недавно вырубленные территории, а красноватые – восстановление растительности или разреженную растительность. Чистая, глубокая вода будет выглядеть очень темно синей (почти черной), если же это мелководье или в воде содержится большое количество взвесей, то в цвете будут преобладать более светлые синие оттенки. Добавление среднего инфракрасного канала позволяет добиться хорошей различимости возраста растительности. Здоровая растительность дает очень сильное отражение в 4 и 5 каналах. Использование комбинации 3-2-1 параллельно с этой комбинацией позволяет различать затопляемые территории и растительность. Эта комбинация малопригодна для детектирования дорог и шоссе.	  

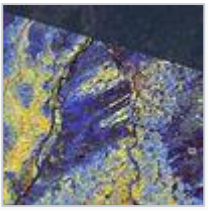
ВКР УлГУ

5,6,4	Эта комбинация ближнего, среднего ИК-каналов и красного видимого канала позволяет четко различить границу между водой и сушей и подчеркнуть скрытые детали плохо видимые при использовании только каналов видимого диапазона. С большой точностью будут детектироваться водные объекты внутри суши. Эта комбинация отображает растительность в различных оттенках и тонах коричневого, зеленого и оранжевого. Эта комбинация дает возможность анализа влажности и полезны при изучении почв и растительного покрова. В целом, чем выше влажность почв, тем темнее она будет выглядеть, что обусловлено поглощением водой излучения ИК диапазона.	  
7,6,4	Эта комбинация дает изображение близкое к естественным цветам, но в тоже время позволяет анализировать состояние атмосферы и дым. Растительность отображается в оттенках темно и светло зеленого, урбанизированные территории выглядят белыми, зелено-голубыми и малиновыми, почвы, песок и минералы могут быть очень разных цветов. Практически полное поглощение излечения в среднем ИК-диапазоне водой, снегом и льдом позволяет очень четко выделять береговую линию и подчеркнуть водные объекты на снимке. Горячие точки (как, например, кальдеры вулканов и пожары) выглядят красноватыми или желтыми. Одно из возможных применений этой комбинации каналов – мониторинг пожаров. Затопляемые	 

ВКР УлГУ

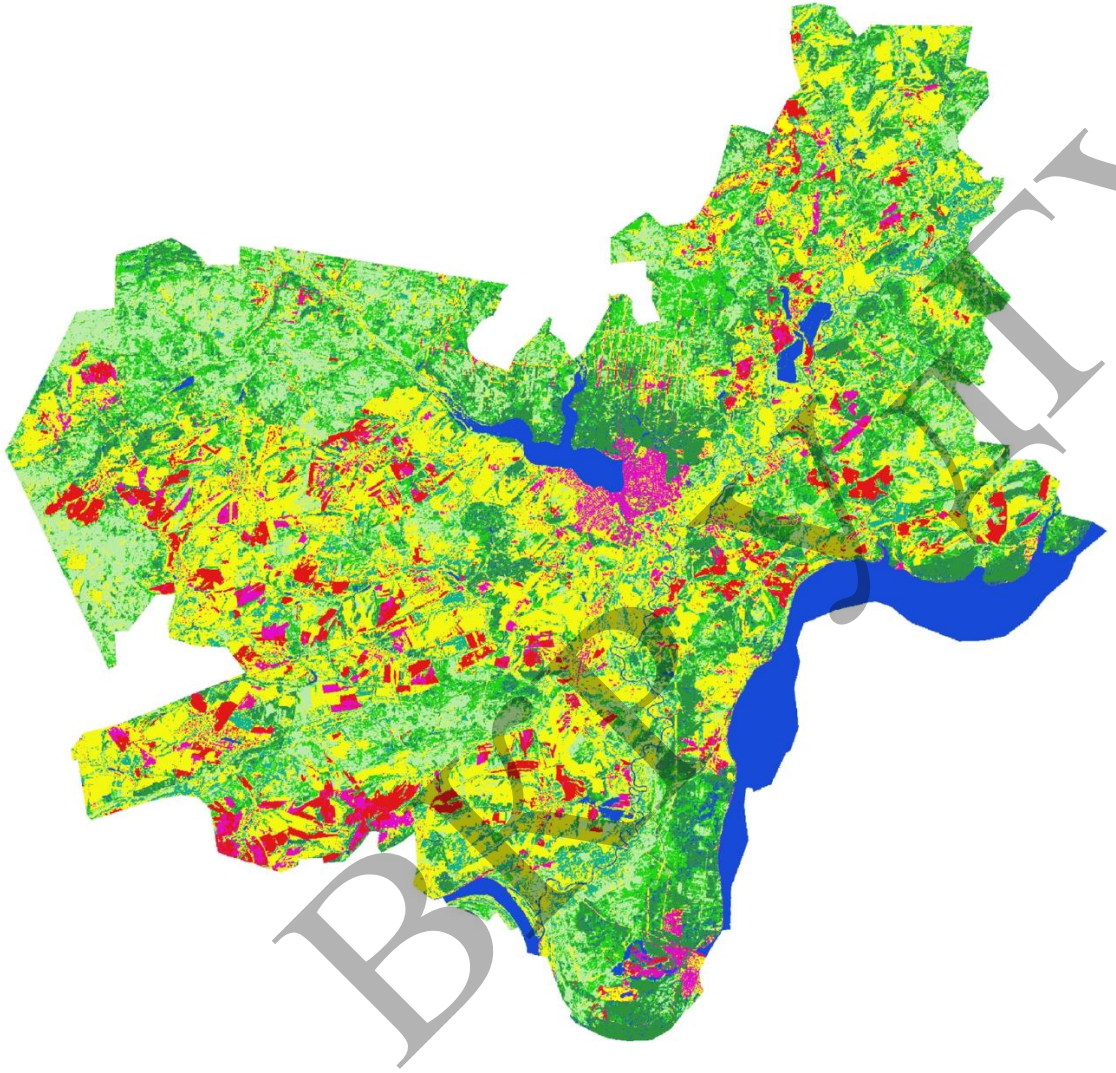
	территории выглядят очень темно синими и почти черными, в отличие от комбинации 3-2-1, где они выглядят серыми и плохо различимы.	
6,5,4	Как и комбинация 4-5-1 эта комбинация дает дешифровщику очень много информации и цветовых контрастов. Здоровая растительность выглядит ярко зеленой, а почвы – розовато-лиловыми. В отличие от 7-4-2, включающей 7 канал и позволяющей изучать геологические процессы, эта комбинация дает возможность анализировать сельскохозяйственные угодья. Эта комбинация очень удобна для изучения растительного покрова и широко используется для анализа состояния лесных сообществ.	  
6,5,2	Комбинация похожа на 7-4-2, здоровая растительность выглядит ярко зеленой, за исключением того, что эта комбинация лучше для анализа сельскохозяйственных культур.	 
7,6,5	Эта комбинация не включает ни одного канала из видимого диапазона, и обеспечивает оптимальный анализ состояния атмосферы. Береговые линии четко различимы. Может	

ВКР УлГУ

	быть использован для анализа текстуры и влажности почв. Растительность выглядит голубой.	
6,4,2	Эта комбинация показывает топографические текстуры, в то время как 7-3-1 позволяет различить горные породы.	

ВКР УДГУ

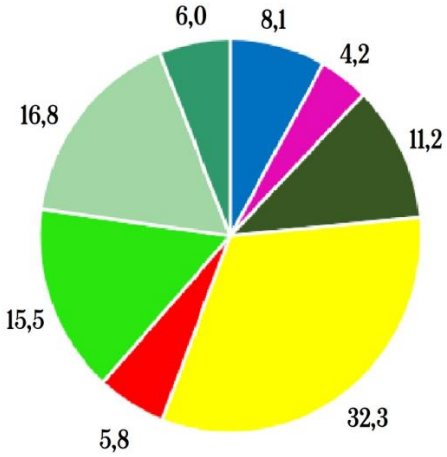
Карта Воткинского района



Условные обозначения

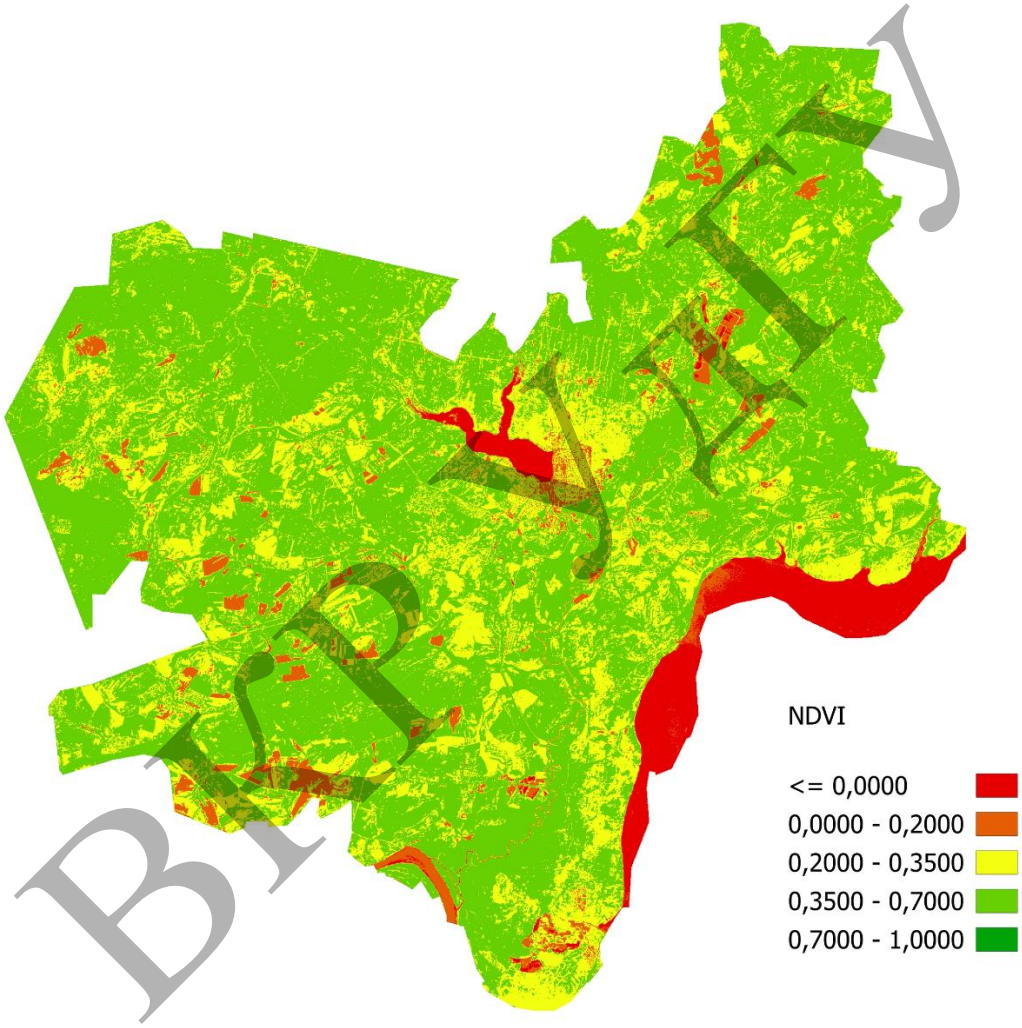
- Водные объекты
- Городская застройка
- Хвойный лес
- Сельхозугодья
- Открытая почва
- Смешанные леса
- Растительность
- Влаголюбивая растительность

Общая площадь (%)



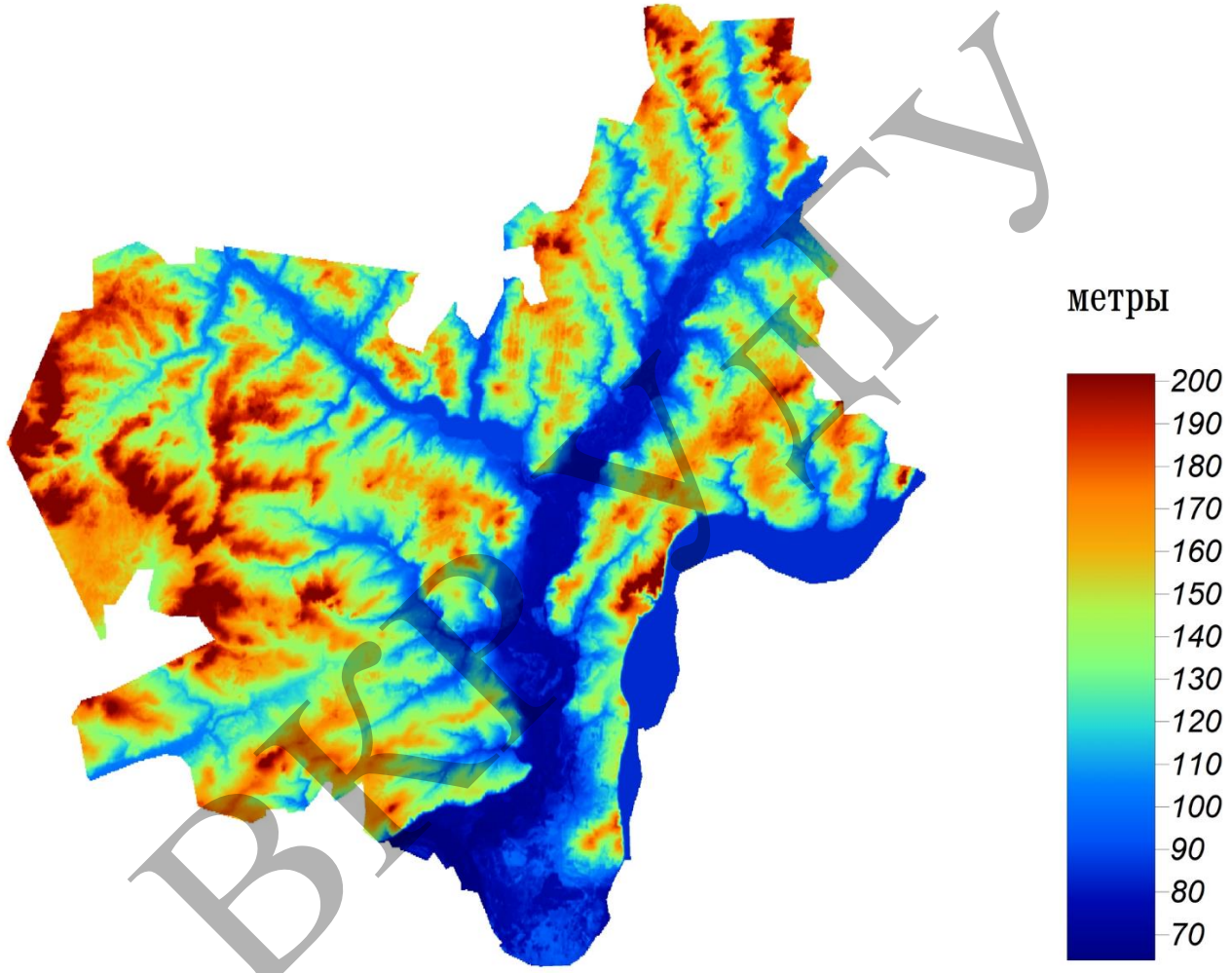
ВГГУ

Карта показателя NDVI



ВКРБГУ

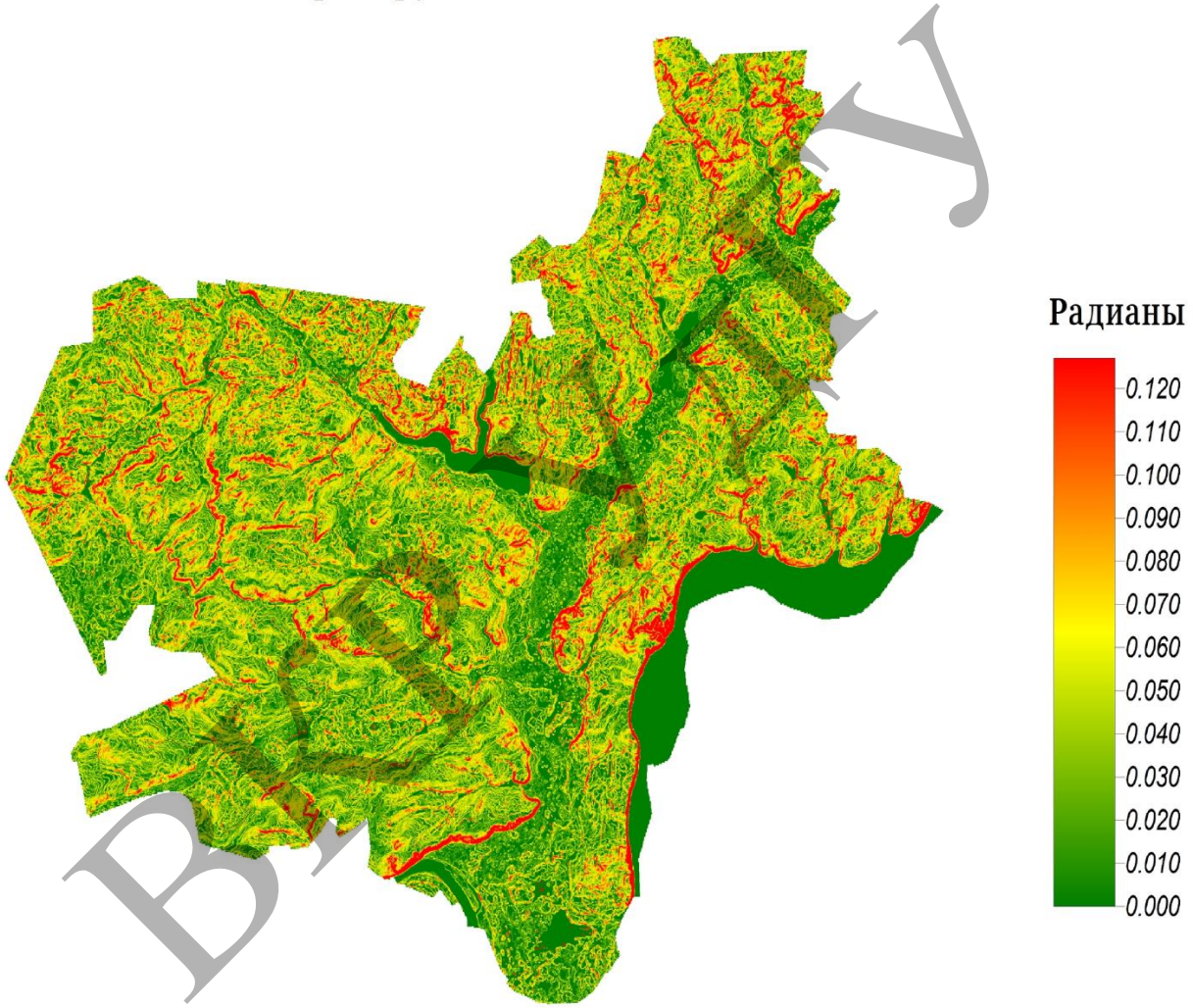
Карта высот Воткинского района



ВКР ИГУ

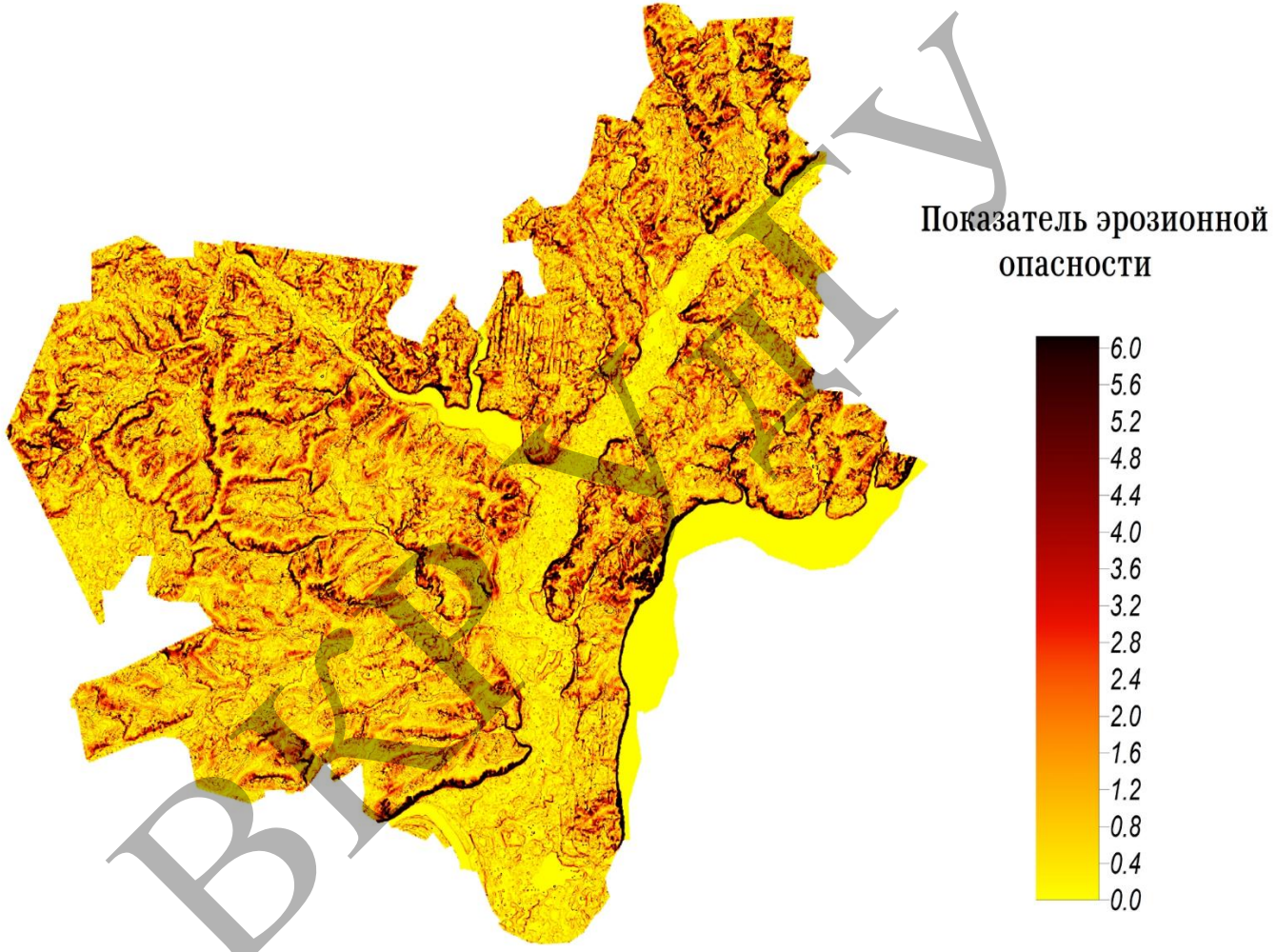
Приложение 5

Карта крутизны склонов



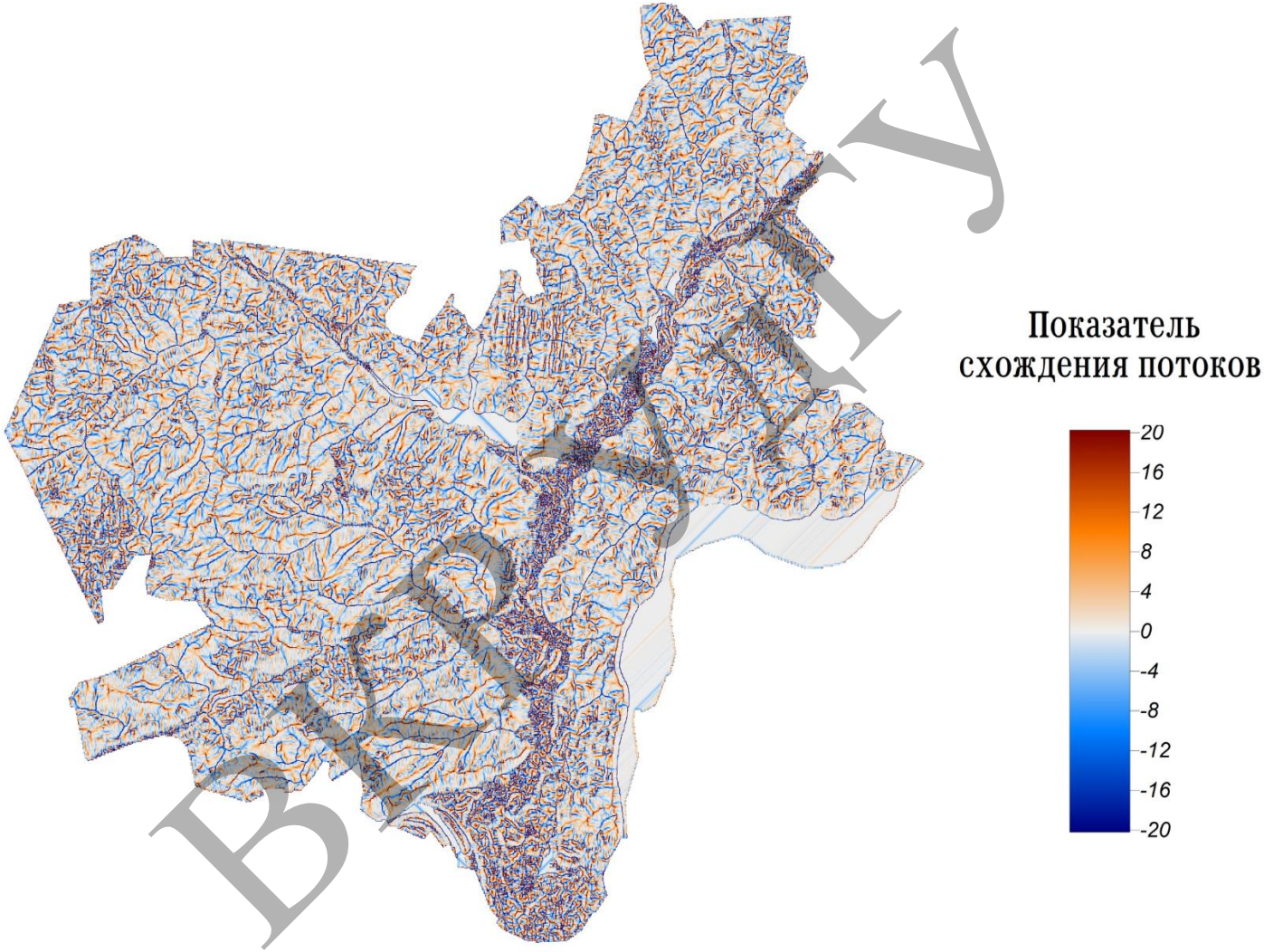
ВГЛУ

Карта опасности возникновения эрозии



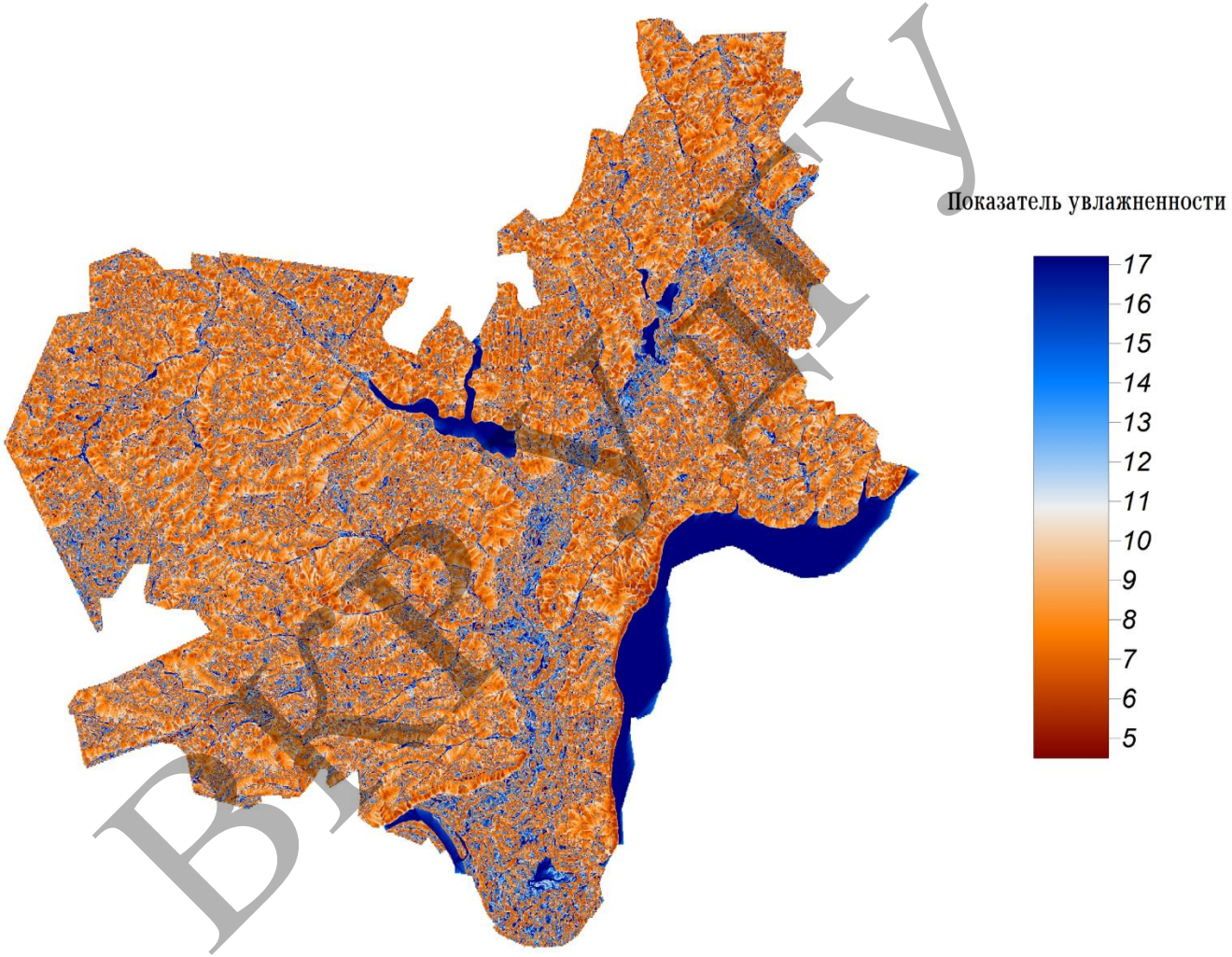
ВГАУ

Карта схождения потоков



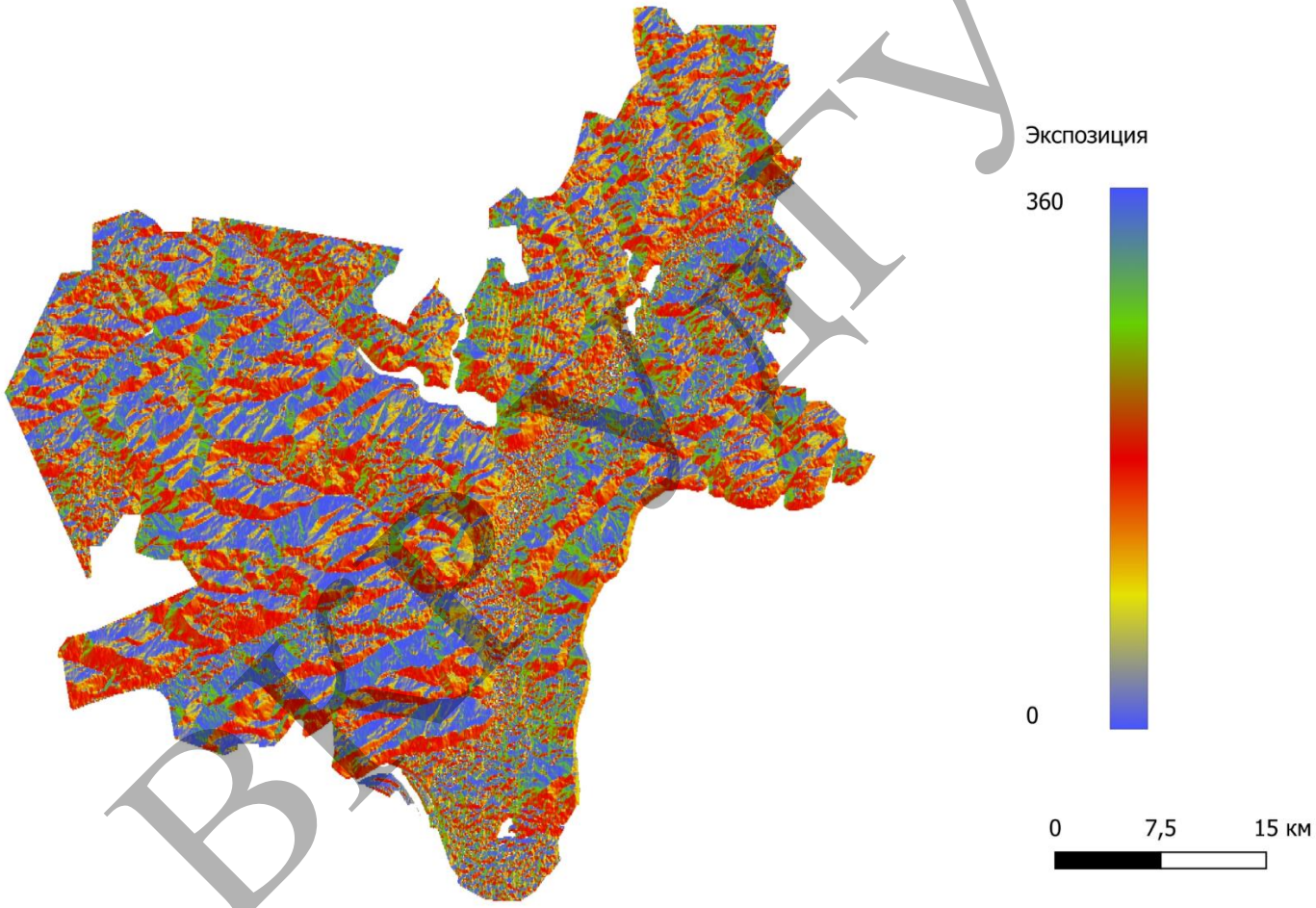
ВГТУ

Карта потенциальной увлажненности Воткинского района



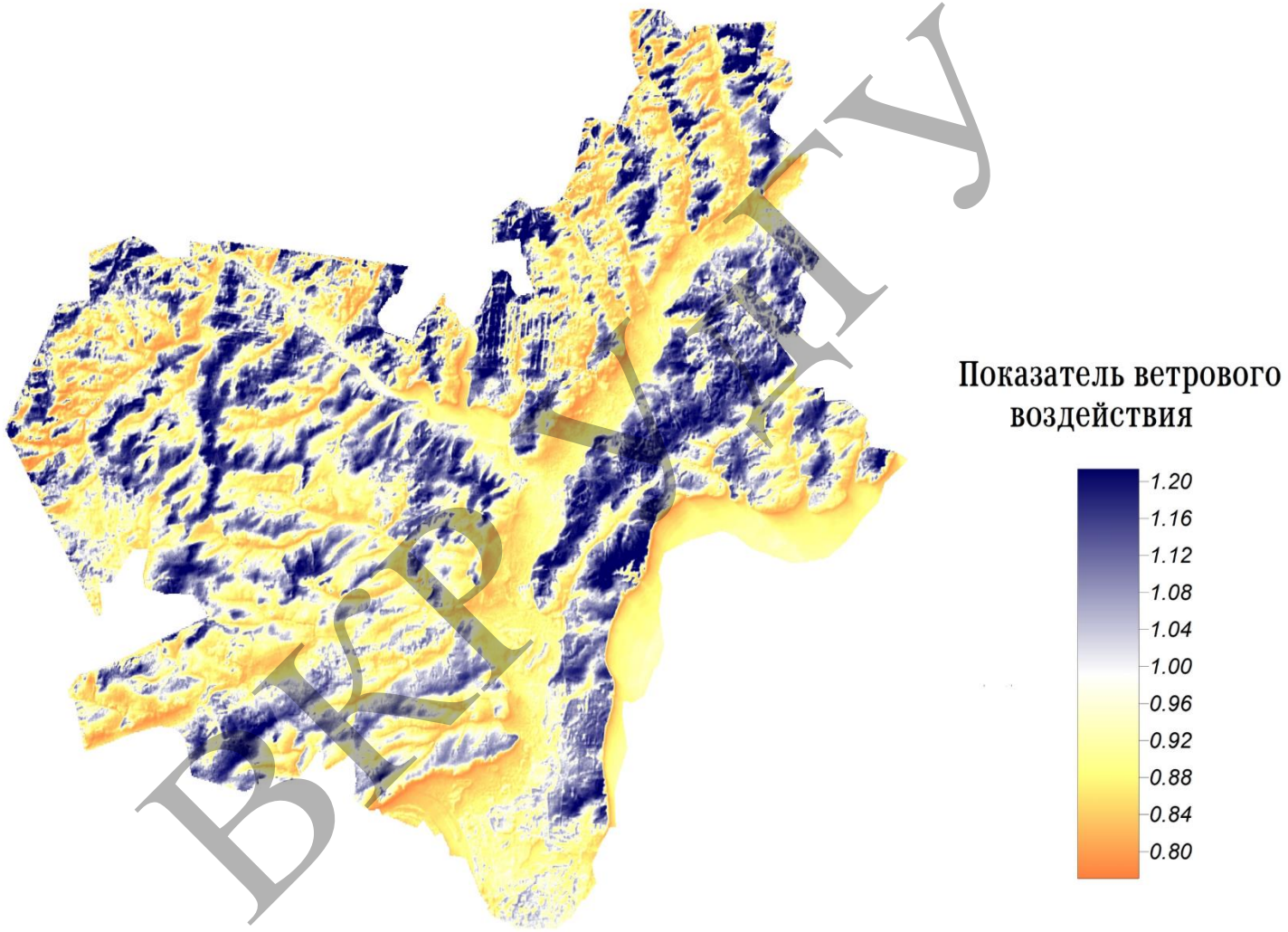
ВГУ

Карта экспозиции склонов Воткинского района



ВГУ

Карта ветрового воздействия



ВКР ЧГУ