

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«ТЮМЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ИНСТИТУТ НАУК О ЗЕМЛЕ  
Кафедра физической географии и экологии

РЕКОМЕНДОВАНО К ЗАЩИТЕ  
В ГЭК И ПРОВЕРЕНО НА ОБЪЕМ  
ЗАИМСТВОВАНИЯ

Директор Института наук о Земле  
к.г.н., доцент

В.Ю. Хорошавин,  
« 25 » \_\_\_\_\_ 2019 г.

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**  
(магистерская диссертация)

РАЗРАБОТКА ИНСТРУМЕНТОВ ЛАНДШАФТНО-ЭКОЛОГИЧЕСКОГО АНАЛИЗА  
ТЕРРИТОРИИ НА ПРИМЕРЕ ГОЛЫШМАНОВСКОГО РАЙОНА ТЮМЕНСКОЙ  
ОБЛАСТИ

05.04.02 География

Магистерская программа «Ландшафтное планирование»

Выполнила работу  
студент 2 курса  
очной формы обучения



Едиханов Юрий  
Равилевич

Научный руководитель  
кандидат географических наук



Идрисов  
Ильдар  
Рустамович

Рецензент  
начальник отдела обработки  
данных, Департамента  
системного  
анализа и обработки данных  
ООО «РусГИС Технологии»



Казakov  
Артем  
Анатольевич

г. Тюмень, 2019

## СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

БД – База данных.

БПЛА – Беспилотный летательный аппарат.

ГИС – Геоинформационная система.

ДДЗ – Данные дистанционного зондирования Земли.

ДЗ – Дистанционное зондирование.

ЕС – Европейский Союз.

ПК – Программный комплекс.

ПО – Программное обеспечение.

СУБД – Система управления базой данных.

API – Application Programming Interface.

WFS – Web Feature Service – протокол предоставления картографической информации в виде векторного изображения.

WMS – Web Map Service – протокол предоставления картографической информации в виде растрового изображения.

## АННОТАЦИЯ

Выпускная квалификационная работа посвящена разработке инструментов ландшафтно-экологического анализа. Работа содержит три главы.

Первая глава состоит из двух подглав. В первой подглаве рассмотрены основные характеристики природных особенностей территории. Во второй подглаве описаны социально-экономические особенности территории.

Вторая глава затрагивает теоретические основы изучаемой темы. В четырех подглавах были рассмотрены методические основы проведения ландшафтно-экологического анализа и оценивания его результатов, также были изучены существующий опыт применения систем мониторинга и основные используемые в веб-картографии программные компоненты.

В третьей главе в трех подглавах представлены анализ источников данных для создания инструмента ландшафтно-экологического анализа, реализация метода создания карты ландшафтного покрова, а также описание алгоритма работы инструмента и его реализация. В последней подглаве приведена оценка и анализ результатов работы инструмента.

Работа выполнялась с использованием книг, статей из журналов, авторефератов диссертаций, ресурсов Интернета – всего 42 источника. Общее количество страниц – 49 и включает 11 рисунков, 3 таблицы и 3 приложения.

## СОДЕРЖАНИЕ

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ .....	2
АННОТАЦИЯ.....	3
ВВЕДЕНИЕ .....	5
ГЛАВА 1. ХАРАКТЕРИСТИКА ПРИРОДНЫХ И СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ ТЕРРИТОРИИ ГОЛЫШМАНОВСКОГО РАЙОНА .....	7
1.1 Природные особенности территории .....	7
1.2 Социально-экономические особенности территории .....	11
ГЛАВА 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ .....	14
2.1 Методические основы проведения ландшафтно-экологического анализа.....	15
2.2 Методические основы оценки ландшафтно-экологического анализа.....	16
2.3 Существующий опыт применения систем ландшафтно-экологического анализа.....	18
2.4 Описание используемого программного обеспечения .....	22
ГЛАВА 3. СОЗДАНИЕ ИНСТРУМЕНТА ЛАНДШАФТНО-ЭКОЛОГИЧЕСКОГО АНАЛИЗА .....	28
3.1 Описание источников данных .....	28
3.2 Описание процесса разработки .....	29
3.3 Оценка и анализ результатов работы инструмента.....	39
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	41
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	42
ПРИЛОЖЕНИЯ .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>

## ВВЕДЕНИЕ

В магистерской диссертации рассматривается процедура разработки инструмента для обеспечения ландшафтно-экологического анализа территории Голышмановского района, обосновываются основные признаки и показатели ландшафтно-экологической оценки.

Ландшафтно-экологическая информация приобретает все большее значение для научного обоснования природопользования и устойчивого развития территории, что определяется возможностями ландшафтной экологии и географии. Основной задачей ландшафтно-экологического анализа является предоставление актуальной информации о состоянии изучаемой территории, что позволяет открыть путь к прогнозированию, долгосрочному планированию ландшафтного пространства и выбору вариантов сбалансированного территориального развития при сохранении ценностей природной среды. Выполнение этой задачи возможно при наличии современного Веб-ГИС инструмента для комплексного исследования территории с возможностью использования различных источников для анализа и сравнения имеющейся информации о состоянии изучаемой территории.

Актуальность исследования определяется необходимостью оперативного получения ландшафтно-экологической информации для обеспечения оптимизации распределения земель для землепользования и их рационального освоения при помощи современных методов Веб-картографии, а также отсутствием отечественного инструмента для обеспечения выполнения таких задач.

Территория Голышмановского района может служить модельной для совершенствования ландшафтно-экологических исследований, ориентированных на решение задач рационального использования территории района с использованием современных методов Веб-картографии.

Цель и задачи исследования. Целью исследования является разработка инструмента ландшафтно-экологического анализа на примере территории Голышмановского района.

Разработка инструмента ландшафтно-экологического анализа территории на примере Голышмановского района Тюменской области будет произведена при решении следующих задач:

1. Изучить методы осуществления ландшафтно-экологического анализа.
2. Исследовать существующий опыт применения систем ландшафтно-экологического анализа
3. Произвести анализ существующих методов обработки ДДЗ.

4. Реализовать автоматизированный программный метод ландшафтно-экологического анализа.

Объект исследования: Структура ландшафтов Гольшмановского района.

Предмет исследования: Применение Веб-ГИС технологий в качестве инструментов ландшафтного планирования.

Защищаемое положение:

Разработанный инструмент позволяет произвести ландшафтно-экологический анализ территории Гольшмановского района, произвести сравнение результатов анализа с имеющейся информацией об использовании земель в целях обеспечения оптимизации ландшафтно-экологического состояния территории с использованием современных Веб-ГИС технологий.

# ГЛАВА 1. ХАРАКТЕРИСТИКА ПРИРОДНЫХ И СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ ТЕРРИТОРИИ ГОЛЫШМАНОВСКОГО РАЙОНА

## 1.1 Природные особенности территории

Голышмановский район располагается в юго-восточной части Тюменской области. (Рисунок 1). Площадь района составляет 4085 км<sup>2</sup>, соседствует с территориями Юргинского, Ишимского Бердюжского, Армизонского, Аромашевского, Омутинского районов. Экономически, территория региона расположена достаточно выгодно. В земли Голышмановского муниципального района входит 15 поселений. Рабочий поселок Голышманово является Административным центром района [23].



Рисунок 1. Голышмановский район на карте Тюменской области

Исследуемая территория расположена на Ишимской равнине и имеет довольно простой рельеф. Диапазон абсолютных высот Голышмановского района колеблется в среднем в пределах 90-120 м. Максимальная отметка рельефа достигает 140 метров. Здесь мало выражены широкие речные долины и маленькие увалы. Данные увалы простираются согласно общему уклону Западно-Сибирской равнины, преимущественно с юга-западной стороны на северо-восток. Горизонтальная ширина грив может измеряться 100-ми метров, иногда она достигает десятков километров. Обширные околоречные места заняты болотами, реками и озерами. Самые высокие точки речной местности достигают 140 метров.

Климат района континентальный и складывается под воздействием воздушных масс, идущих преимущественно со стороны Азии. Сумма среднегодовых осадков достигает 400

миллиметров. Всего за весь год может выпасть до 320 миллиметров осадков. Такое количество осадков можно связать в большей степени с атмосферными фронтами и циклонами. По временам года разделение осадков можно связать с достаточно внезапным переходом от небольших зимних осадков к существенным летним. Большой процент осадков в основном выпадает к августу, меньше всего осадков в феврале. Стабильный снежный покров образовывается через двадцать пять дней после возникновения первого снега, примерно 1 ноября. Самая высокая отметка снежного покрова фиксируется в феврале. Направление ветра в основном юго-западное, доминирующее значительную долю года (с сентября по апрель). В летнее время года доминируют ветра с севера и северо-запада. В Голышмановском районе средняя температура воздуха в январе составляет около  $-19^{\circ}$ , в июле:  $+20^{\circ}$ .

Гидрографическая сеть района представлена реками Вагай, Емец, а также многочисленными речками, ручейками и озерами. Из рек наибольшее значение имеет р. Вагай, которая протекает с запада на северо-востоке северной части района, впадает в реку Иртыш уже за пределами данного района. Река Емец по своим размерам значительно меньше р. Вагай и является ее притоком. Весной часто разливается, выходит из берегов и заливал близлежащие поля. Кроме перечисленных рек, есть небольшие речки, такие как: Суetyак, Демидовка, Черемшанка, и другие, которые впадают в Вагай или Емец. В засушливое время года они пересыхают и превращаются в ручейки с заболоченными и топкими берегами. Речки небольшие по протяженности, неглубоко врезаны в рельеф, поэтому дренажная роль их невелика. Кроме этого, территория района характеризуется обилием озер. Многие озера находятся в стадии зарастания и превращения в тростниково-осоковые зыбуны. Наиболее крупными озерами являются такие, как оз. Долгое, Пашкино, Козье, Лобаново, Белое, Дальнее, Коровинское, Травное и другие, а также много небольших озер с названиями и без. Озера неглубокие с невысокими берегами и почти не оказывают влияния на дренирование местности [23].

Таким образом, равнинный рельеф территории района обуславливает лишь на отдельных участках поверхностей сток атмосферных осадков и поступления их в гидрографическую сеть. В основном же осадки не достигают водоприемников, а просачиваются через почвенно-грунтовую толщу, пополняя запасы подземных вод. Сброс почвенно-грунтовых вод осуществляется медленно, что и определяет высокую стабильность увлажнения почвообразующей толщи, а в конечном итоге способствует повсеместному развитию здесь гидроморфного почвообразовательного процесса. По водообеспеченности Голышмановский район относится к преимущественно обеспеченному за счет местных ресурсов пресных подземных вод. Нагрузка на скважину



составляет 100-200 м<sup>3</sup>/сут. Без проведения поисково-разведочных работ возможно строительство водозабора, состоящего из 1–2-х скважин. Суммарная производительность водозабора составляет 400 м<sup>3</sup>/сут, при большем объеме отбора необходимо проведение поисковых работ. Основным источником водоснабжения является Куртамышский водоносный горизонт. Водовмещающими породы представлены преимущественно мелкозернистыми песками. Интервал залегания Куртамышского водоносного горизонта 85-110 м. Подземные воды горизонта напорные, величина напора составляет 30-80 м. Дебиты скважин составляют от 150 до 200 м<sup>3</sup>/сут. По химическому составу воды преимущественно гидрокарбонатные, кальциево-магниевые, с минерализацией 0.2 - 1.5 г/л. На отдельных участках минерализация составляет более 1.5 г/л. По отдельным компонентам, таким как общее железо, марганец и мутность, общая жесткость, окисляемость, цветность в воде наблюдается превышение нормы относительно существующих нормативных документов в 3-6 и более раз. В воде наблюдается недостаток фтора. В бактериологическом отношении воды здоровые. Эксплуатация подземных вод осуществляется артезианскими скважинами. По инвентаризации в 2004–2006 гг. на территории района насчитывалось 109 эксплуатационных скважин, в т.ч. 56 бесхозных. Конструкция скважин чаще всего состоит из двух колонн — обсадной и эксплуатационной. Диаметры обсадных колонн изменяются от 526 мм до 273 мм, эксплуатационных 325-168 мм, фильтровых 273-146 мм.

В Голышмановском районе известно 15 месторождений кирпичных глин, два – песка строительного, одно – песка кварцевого стекольного, 6 – месторождений сапропеля, 25 – торфа. Запасы озерного сапропеля на территории района составляют 3617 тыс. м<sup>3</sup>. Сапропель водорослево-известковый, водорослевый, смешанно-водорослевый, водорослево-глинистый. Содержание окиси кальция в четырех месторождениях очень высокое, а в сапропеле Боровлянского участка доходит до 53%, что делает возможным его использование в качестве химического сырья, удобрения, минеральной витаминной подкормки, в медицинской промышленности. Промышленной разработки месторождений сапропеля не ведется. Запасы торфа в районе составляют 75702 тыс. м<sup>3</sup> (1513 тыс. т) при 40% влажности. Торф, в основном, низинного типа, месторождения не большие.

Голышмановский район лежит в лесостепной зоне Западно-Сибирской равнины. Основными особенностями формирования почв являются наличие слабо минерализованных почвенно-грунтовых вод, глубокое промерзание почв и медленное их оттаивание. В связи с этим, в почвенном покрове значительное место занимают засоленные почвы, солонцы и почвы полугидроморфного типа. Почвенный покров района своеобразен и сложен. Его мощность и многообразие наблюдается не только на территории района, но даже одного хозяйства. Преобладающими почвами являются темно-серые лесные и

дерново-луговые. Наличие пестрого лесного покрова в районе обусловило разнообразие растительности. В общем комплексе почвенных разностей сельскохозяйственных угодий довольно благоприятен покров для получения хороших устойчивых урожаев, высеваемых в районе сельскохозяйственных культур, но требуют регулярное внесение органических и минеральных удобрений [28].

Растительность Голышмановского района представлена двумя формациями: древесно-кустарниковой и травянистой. Из древесно-кустарниковой преобладают береза, осина, сосна. Из травянистой растительности в лесах произрастают вейник, лабазник, клевер, мятлик, костянка. Леса Голышмановского района занимают 42% территории района. Основными лесообразующими породами являются сосна, береза, осина, ель. Возобновление под пологом леса происходит лиственными породами: береза, осина. Общая площадь лесных участков составляет 174486 га. Ежегодный размер заготовки древесины на всей территории района возможен в размере 143,5 тыс.куб.м. Леса в Голышмановском районе богаты ягодами и грибами. Разнообразие лесных ягод и грибов свидетельствует о экологической чистоте лесных массивов района. В районе охране и рациональному использованию леса уделяется большое внимание. Основным направлением ведения лесного хозяйства в районе является удовлетворение потребности в древесине местных потребителей и лесопользователей.

Леса района по территориальному расположению и лесорастительным условиям относятся к доступным для хозяйственного воздействия.

Немаловажную роль леса района играют в защите окружающей среды, в выполнении почвозащитных функций, в повышении продуктивности охотничьих угодий, а также отдыха, сбора грибов и ягод. Уход за лесными культурами осуществляется на площади 516 га. Расчетная лесосека составила 143,5 тыс.куб.м.

Животный мир Голышмановского района разнообразен. Из хищников встречаются хорек, колонок, волк, горноста́й, лисица. Широко распространены грызуны: суслики, хомяки, пеструшки, полевки, белки. В лесах водится лось, кабан, косуля, медведь. Из птиц, имеющих промысловое значение, водятся куропатки, тетерева, глухари. На водоемах много водоплавающей птицы, несколько видов уток и гусей.

Для сохранения и увеличения численности диких животных в районе урочища Орловское и озера Лебяжье создан заказник площадью 10500 гектаров. Голышмановский район по ландшафтной физико-географической характеристике входит в состав Ишимской провинции. Площадь охотугодий составляет 394600 га, из которой на долю лесных угодий приходится 157000 га, полевых – 203.000 га, болотных – 33700 га. Часть охотугодий (107950 га) предоставлены ГУТО «Управление по охране, воспроизводству и регулированию

использования объектов животного мира» распоряжениями Правительства Тюменской области для ведения охотничьего хозяйства. Охотничьи угодья других охотпользователей – 34000 га, а охотничьи угодья Госохотфонда (свободной территории) составляют 242150 га. Фаунистический комплекс насчитывает 4 вида амфибий, 3 вида рептилий, 15 отрядов птиц и 6 отрядов млекопитающих. Наиболее ценными объектами охоты являются лось, косуля, кабан, барсук, лесная куница, колонок, енотовидная собака, лисица. На озерах (60), старицах, прудах, ручьях много водоплавающей птицы и куликов. Из боровой птицы встречаются белая и серая куропатки, тетерев. В районе происходит возрастание численности кабана, косули, лисицы, зайца-беляка. Прослеживается тенденция снижения численности лося, всех кунных, волка. Список редких и находящихся под угрозой исчезновения животных, в том числе включенных в списки Красных книг Международного союза охраны природных ресурсов, РФ и Тюменской области, насчитывает 57 видов, из которых наиболее известные – кудрявый пеликан, красноносый нырок, савка, краснозобая казарка, писулька, тетеревиный перепелятник, степной орел, беркут, орлан-белохвост, сапсан, стерх, серая куропатка, ходулочник, шилоклювка. Пользование ресурсами животного мира должно осуществляться с четким соблюдением требований федерального и регионального законодательства в соответствии с действующими правилами, стандартами и нормативами, разработанными на основании Федерального закона «О животном мире».

## 1.2 Социально-экономические особенности территории

В Голышмановском районе известно 15 месторождений кирпичных глин, два – песка строительного, одно – песка кварцевого стекольного, 6 месторождений сапропеля, 25 – торфа. Сырье месторождений глин пригодно для изготовления кирпича марок 75-200. Два месторождения – Малышенское и Ражевское – частью выработаны, частью застроены. Песок месторождений Евсинского и Русаковского пригоден для применения в качестве отощителя для глин Евсинского и Гореловского месторождений глин. При строительстве Западно-Сибирской железной дороги было открыто и использовалось месторождение песка Голышмановское. Рекомендуется более детальная разведка. Запасы озерного сапропеля на территории района составляют 3617 тыс. м<sup>3</sup>. Сапропель водорослево-известковый, водорослевый, смешанно-водорослевый, водорослево-глинистый. Содержание окиси кальция в четырех месторождениях очень высокое, а в сапропеле Боровлянского участка достигает до 53%, что делает возможным его использование в качестве химического сырья, удобрения, минеральной витаминной подкормки, в медицинской промышленности. Промышленной разработки месторождений сапропеля не ведется. Запасы торфа в районе

составляют 75702 тыс.м<sup>3</sup> (1513 тыс.т) при 40% влажности, в основном низинного типа. Месторождения небольшие степенью разложения от 17 до 46% и зольностью от 7,5 до 36%.

Промышленной разработки торфа в районе не ведется.

С целью добычи общераспространенных полезных ископаемых на территории района выдано две лицензии: одна – на разработку песка в 5 км севернее д. Боровлянка, вторая – на разработку глин в 1 км севернее деревни Медведево. При этом лицензия на добычу глин выдана ОАО «ТОДЭП» для Голышмановского ДРСУ, для производства кирпича лицензий не имеется.

Территория администрации Голышмановского муниципального района составляет 4,1 тыс. кв. км. Сельскохозяйственные угодья занимают площадь 194516 га. Из них:

- пашня – 95997 га;
- залежи – 13594 га;
- сенокосы – 39388 га;
- пастбища – 45449 га;
- сады – 88 га.

Земли застройки составляют, из них:

- многоэтажная застройка – 28 га;
- усадебная в поселке – 239 га, на селе – 1398 га;
- общественно-деловая в поселке – 91 га, село – 150 га;
- промышленная в поселке – 116 га, на селе – 12 га (без дорог).

Для эффективного решения задач социально-экономического развития муниципального образования в вопросе формирования земельного фонда и его использования, в пределах границ муниципального образования проводится инвентаризация всех земель, муниципальный земельный контроль и другие мероприятия, направленные на выявление и уточнение данных о земельных участках для их регистрации, перераспределения, представления новым арендаторам [23].

Категория земель - это совокупность однородных по своему целевому или функциональному назначению земельных участков, выделенных в качестве особой группы земель в зависимости от их природного, социального и экономического значения (Статья 7 Земельного кодекса РФ). В соответствии с установленными категориями земель земельных участков Голышмановского района по сведениям Росреестра, общая площадь земель в разрезе категорий на состояние 2016 года представлена в таблице 1.

Таблица 1. Площадь земель по категориям

<b>Категория земель</b>	<b>Площадь, га</b>
Земли сельскохозяйственного назначения	284886
Земли населенных пунктов	3157,317
Земли промышленности, энергетики, транспорта, связи, радиовещания, телевидения, информатики, земли для обеспечения космической деятельности, земли обороны, безопасности и земли иного специального назначения	3155,893
Земли особо охраняемых территорий и объектов	0,5
Земли лесного фонда	174486
Земли водного фонда	8071,989
Земли запаса	111,2521
Земельные участки, для которых категория земель не установлена	1205,999
<b>Общий итог</b>	<b>475075</b>

## ГЛАВА 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

В настоящее время ландшафтно-экологический анализ рассматривается как один из важнейших методов изучения природно-экологического потенциала территории с учетом структурных и функционально-динамических особенностей природных комплексов различного таксономического ранга. В конечном итоге она направлена на изучение текущей экологической ситуации в любом регионе, которая предопределяет текущее состояние ландшафтных комплексов и зависит от пропорциональности прогнозируемых социальных функций и природных свойств ландшафтных комплексов, их устойчивости. В связи с этим основной целью анализа является установление и оценка экологически значимых репрезентативных факторов- условий, факторов-причин и факторов-процессов, как природных, так и антропогенных по природе, благоприятных или неблагоприятных для реализации ландшафтных социально-экономических функций [21].

Проблема организации территории в разное время рассматривалась с точки зрения преобладания экономического или экологического императива развития и варьировалась от игнорирования экологических целей в определенных типах отраслевого планирования до «экологического абсолютизма» представителями некоторых экологических организаций. Если изначально объекты территориального планирования были социально-экономическими объектами в соответствии с их ресурсной базой, то теперь, по мере возрастания остроты конфликтов в системе «общество-природа», естественные ограничения, налагаемые спецификой его геосистем, имеют все более и более важное значение в организации территории. Необходимость соотнесения экономических интересов общества с ресурсными возможностями и экологическими ограничениями развития предопределила рассмотрение «естественной основы ландшафта как основы устойчивого адаптивного природопользования». В то же время естественная дифференциация территории: ландшафтная или бассейновая служит оперативно-территориальной единицей (ОТЕ) при проведении оптимизационных работ. Для районов нового развития с преобладанием природно-ресурсной ориентации экономики наиболее эффективным ОЭТ является ландшафт, совокупность морфофункциональных характеристик которого определяет его устойчивость к антропогенному воздействию, а, следовательно, возможность и интенсивность его развитие. Использование инструментов для исследования ландшафта в смежных областях (управление ресурсами, управление лесами и т. д.) называют ландшафтным подходом. Применительно к задачам оптимизации использования природы и сохранения природной среды - ландшафтно-экологические. Ландшафтно-экологический подход рассматривается в работе как частное проявление геоэкологического подхода, в основе которого лежит обеспечение коэволюционно-

совместного и взаимозависимого процесса взаимодействия и развития системы общества и природы [24].

## 2.1 Методические основы проведения ландшафтно-экологического анализа

В настоящее время практически все природные геосистемы и экосистемы претерпели определенные изменения под воздействием антропогенных факторов. Поэтому природно-антропогенные комплексы (геоэкосистемы) являются основными объектами природопользования. Особенность этих комплексов заключается в том, что, во-первых, они включают как природные, так и антропогенные элементы и компоненты; во-вторых, они отличаются сложной комбинацией естественных процессов саморегуляции и элементов управления со стороны человека; в-третьих, они выполняют определенные социально-экономические функции. В связи с этим при организации службы мониторинга геоэкосистем необходимо уделить особое внимание взаимосвязи их природных и социально-экономических компонентов.

Такие объекты, как сельскохозяйственные поля, мелиоративные системы, рекреационные земли, небольшие поселения и т. д. рассматриваются как локальные природно-антропогенные геосистемы (геоэкосистемы). Такие объекты тесно взаимодействуют друг с другом, образуя территориальные сочетания как локального, так и регионального уровней. Эти комбинации имеют определенное единство (целостность) в отношении функций, которые они выполняют, и занимаемого ими пространства. К таким комбинациям относятся крупные города, агломерации, сельскохозяйственные и рекреационные зоны, промышленные узлы и районы и т. п. Они включают в себя элементарные геосистемы и экосистемы, выполняющие различные социально-экономические функции.

Ведущими в методах ландшафтно-экологического анализа являются методы с использованием материалов дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Особенно эффективные результаты для оценки антропогенных воздействий могут обеспечить комплексное использование информации, полученной с использованием космических аппаратов, самолетов и наземных систем наблюдения.

Эффективность ландшафтно-экологического анализа на основе данных дистанционного зондирования характеризуется степенью автоматизации интерпретации спутниковых изображений и достоверностью результатов интерпретации.

Объединяющую роль в познании структурной организации биосферы играет ландшафтный подход. Ландшафты - это территориальные системы любого ранга, структура

и функционирование которых определяются взаимодействием биосферных и геосферных потоков вещества и энергии на поверхности Земли [8].

Методы ландшафтно-экологического подхода являются пока преимущественно качественными, использующими ландшафтные карты и материалы аэро- и космической фотографии, хотя уже с привлечением некоторых количественных методов статистической оценки и моделирования. Практические результаты ландшафтно-экологических исследований представлены в виде карт. Несомненным преимуществом экологического картографирования является использование комплексного подхода к решению конкретных задач на качественном уровне. Однако процедура принятия решений в этом случае носит качественный характер, и точность прогнозируемых оценок воздействия на окружающую среду в каждом конкретном случае требует подтверждения результатов дополнительных исследований [19].

## 2.2 Методические основы оценки ландшафтно-экологического анализа

Состояние и изменение геосистем и экосистем можно описать большим количеством показателей. Исходя из самого важного свойства этих объектов - целостности, предпочтение следует отдавать сложным функциям, которые объединяют максимальное количество частных параметров. Одним из важнейших комплексных показателей состояния и изменений в природных системах является интенсивность и баланс их обмена веществ и энергии (геометаболизм). Об интенсивности или скорости оборота веществ можно судить по отношению всей массы годового биологического производства геосистем к их общей биомассе. Очевидно, что чем больше величина этого соотношения, тем интенсивнее оборот веществ. И наоборот, уменьшение этого показателя указывает на замедление скорости биологического цикла.

В качестве комплексного критерия оценки состояния природных систем выступает показатель их естественной способности к самоочищению (отношение количества поступающих загрязняющих веществ, к количеству, к количеству внесенного в ландшафт за тот же период), критерий оптимального соотношения площадей природных ландшафтов и земель различного назначения, соотношение мертвых органических веществ в экосистемах к общему количеству подстилки и другие критерии. Для геосистем городских и сельских поселений необходимо включать в оценку состояния показатели здоровья населения. Качество окружающей среды в рекреационных ландшафтах можно определить по конечному «продукту» - повышению уровня здоровья отдыхающих за счет рекреации.

Однако, как отмечалось выше, существующие комплексные критерии не могут в полной мере отражать состояние таких сложных образований, как геосистемы и



экосистемы. Кроме того, методы расчета ряда показателей (норматив оптимального соотношения ландшафтных площадей и земель, естественная способность к самоочищению и т. д.) еще не разработаны. Поэтому компонентные показатели широко используются для оценки состояния систем наряду с комплексными критериями. Их следует применять с учетом естественной дифференциации природной среды, т. е. наличия естественных границ природных комплексов.

Оценка степени трансформации природных систем должна проводиться по критериям, которые определяют изменения в структуре и функционировании систем, учитывают их пространственную дифференциацию по степени возмущения, а также динамику трансформирующих процессов во времени и пространстве. К ним относятся такие показатели, как изменение соотношения основных трофических групп в экосистемах, площади проявления негативных процессов, скорости деградации природных систем, уровней продуктивности фитоценозов и темпов их изменения, показателей потери плодородия почв, уровней почвенного загрязнения и другие признаки. Таким образом, при уменьшении или увеличении доли одной из групп продуктов питания на 20-50% происходят серьезные нарушения во взаимоотношениях в экосистемах (хотя процессы деградации еще не принимают необратимый характер). При уменьшении или увеличении доли одного из трофических звеньев более чем на 50% нарушения уже приобретают необратимый характер, и экосистемы теряют свои средо- и ресурсовоспроизводящие функции. Область проявления негативных изменений во многом определяет способность экосистемы вернуться к своему первоначальному состоянию или к близкому к нему состоянию (известно, что при одинаковой степени деградации возможность восстановления участка территории обратно пропорциональна площади его простираия). Определение скорости и направления деградации природных систем необходимо не только для оценки их состояния, но и для прогнозирования ухудшения экологической ситуации и разработки мер по ее стабилизации и улучшению.

Превышение определенного уровня антропогенной нагрузки приводит к нарушению экологических связей между природными компонентами и ландшафтными комплексами, снижению способности к самовосстановлению и, в конечном итоге, к деградации геосистем. Поэтому изучение и определение типа, характера и степени воздействия человека на пространственную структуру и динамику ландшафтов в настоящее время приобретают все большее значение для научного обоснования экологически приемлемого природопользования. Такие исследования особенно важны для регионов, освоение земель которых велось с давних времен, где в результате длительного антропогенного воздействия значительно изменились структура и функционирование ландшафтных комплексов,

образовались экологически неблагоприятные территории. Для оценки антропогенной трансформации ландшафтов можно использовать как аналитические, так и синтетические показатели трансформации территории. Аналитическая оценка антропогенной трансформации ландшафтов выражается прежде всего через структуру антропогенных комплексов. На современном этапе структура антропогенных комплексов отражает особенности геотехнологических процессов, фиксирует их последствия по таким критериям, как степень нарушенности земель, коэффициент запруженности, степень распаханности, доля лугово-пастбищных, линейно-транспортных комплексов, сельской и городской селитьбы.

Особое значение для ландшафтно-экологического анализа имеет степень распаханности территории. Синтетическая оценка степени антропогенной трансформации территории муниципальных районов может быть проведена с использованием интегрального показателя - коэффициента антропогенной трансформации ландшафтов. Данный коэффициент определяется с помощью метода взвешенных оценок (показателей собственного капитала). Таким образом, учитывается доля ландшафтных комплексов трех категорий: условно природные (особо охраняемые природные территории); широко используется в процессе хозяйственного производства (сельскохозяйственные ландшафты лугово-пастбищных и садовых подтипов, гидроморфные ландшафты); природные комплексы в той или иной степени трансформируются в результате антропогенной деятельности (сельскохозяйственные ландшафты пахотного подтипа, селитебные, антропогенные аквальные, промышленные комплексы). В процессе ландшафтно-экологического анализа следует учитывать тот факт, что степень антропогенной трансформации ландшафтных комплексов определяется не только характером и силой хозяйственного воздействия на них, но и всем комплексом свойств, от которых зависит устойчивость ландшафтов. [21]

### 2.3 Существующий опыт применения систем ландшафтно-экологического анализа

Проект Land Cover («Ландшафтный покров») является частью программы CORINE и предназначен для обеспечения информацией о состоянии современных ландшафтов стран членов Европейского Союза.

27 июня 1985 года Совет по предложению Комиссии принял решение по программе CORINE. Эта рабочая программа Комиссии касается «экспериментального проекта по сбору, координации и обеспечению согласованности информации о состоянии окружающей среды и природных ресурсов в Сообществе» (Официальный журнал L 176, 6.7.1985).

В 1990 году спутниковые данные были впервые использованы в Европе для оценки землепользования. Данные, полученные в 2000 году, позволяют определить изменения, произошедшие в Европе за 10 лет.

Чтобы определить экологическую политику Сообщества, правильно оценить влияние этой политики и включить экологическое измерение в другие политики, мы должны правильно понимать различные особенности окружающей среды:

- состояние отдельных сред,
- географическое распределение и состояние природных территорий,
- географическое распространение и обилие дикой фауны и флоры,
- качество и обилие водных ресурсов,
- структура растительного покрова и состояние почвы,
- количество токсичных веществ, выбрасываемых в окружающую среду,
- списки стихийных бедствий и др.

Еще одной целью программы CORINE является объединение всех многочисленных попыток, предпринятых в течение многих лет на различных уровнях (международном, общинном, национальном и региональном), для получения дополнительной информации об окружающей среде и ее изменениях.

Для достижения целей программы были приняты два основных типа дополнительных действий:

- разработка процедур для сбора, стандартизации и обмена данными об окружающей среде в государствах-членах ЕС;
- создание географической информационной системы для предоставления информации об окружающей среде, которая необходима при подготовке и реализации политики Сообщества.

Благодаря CORINE (Coordinated Information on the Environment) Land Cover 2000 ЕС и Европейское агентство по защите окружающей среды вместе со странами-участницами используют ЗИС и ее изменения.

Дистанционное зондирование эффективно применяется для цифрового картирования. Землепользование решающий показатель для оценки нагрузки на окружающую среду вследствие человеческой деятельности. Первый учет землепользования в Европе был проведен на основе спутниковых снимков в 90-х годах. Теперь в распоряжении ведомств по охране окружающей среды и проектированию имеет обновленная база данных для оценки изменений. Основой послужили снимки спутников Landsat-5 и Landsat-7, обработанные по принятой методике. Из 44 классов землепользования в Германии имеются 37.

Картирование территории Германии выполнялось как часть общеевропейского совместного проекта CORINE Land Cover 2000 с ЕС, Европейским Агентством по защите окружающей среды и 29 европейскими государствами. Первые результаты анализа полезного потенциала CORINE Land Cover 2000 были представлены и обсуждены на семинаре в январе 2004 года. [31]

Карты ландшафтного покрова являются важными компонентами для планирования окружающей среды и землепользования на местном, национальном и общеевропейском уровнях. Они непосредственно используются для оценки состояния окружающей среды; и контролирования землепользования. Разработка программы CORINE Европейской комиссией Европейского Союза преследовала три новшества в геоэкологии: теория, практика, образование. Основные задачи: сбор информации о состоянии окружающей среды, выявление приоритетных вопросов; координация процесса сбора данных, предоставление необходимой и достоверной информации на разных уровнях (местном, государственном и международном). Программа также была разработана для объединения и сопоставления уже существующей информации в общую базу данных для мониторинга происходящих изменений. Для реализации этой программы была разработана процедура сбора, стандартизации и обмена экологическими данными в государствах-членах Европейского Союза и созданы интерактивные серверы Web-GIS для предоставления экологической информации (Рисунок 2).

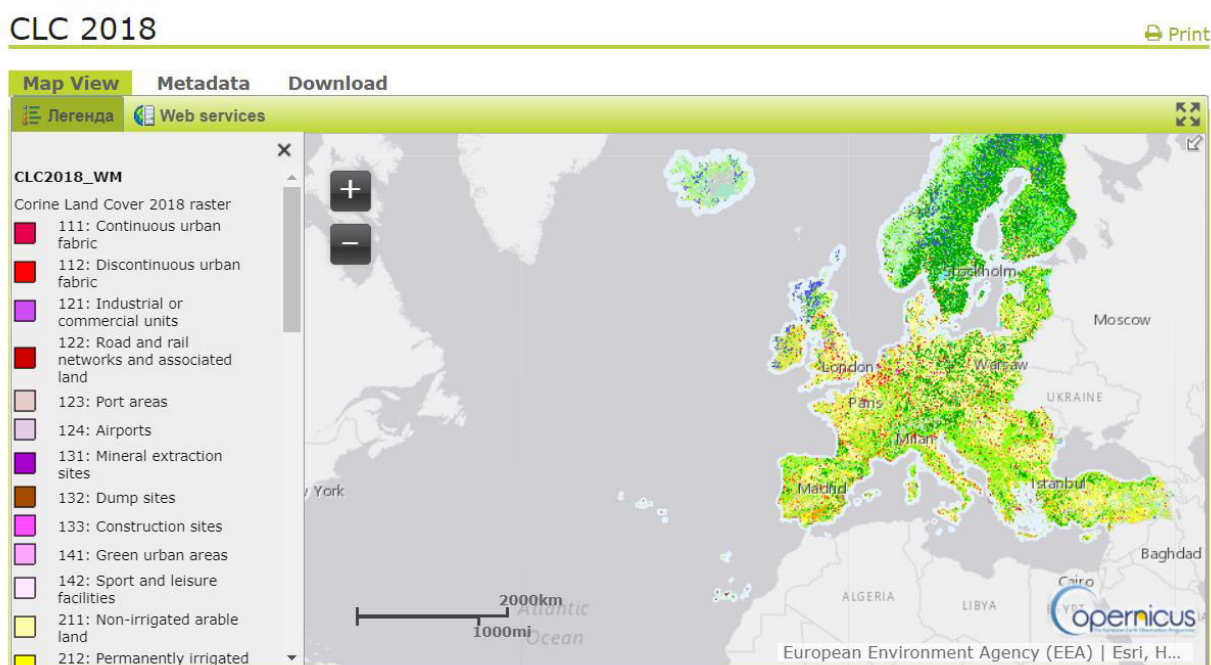


Рисунок 2. Карта CARINE Land Cover 2018 на портале Copernicus

Цель проекта «CORINE Land Cover» - предоставить информацию о состоянии окружающей среды с помощью ландшафтного картографирования. Тематические цифровые карты составленные на основе пространственных баз данных используются для экологически обоснованного территориального управления и планирования землепользования. Объектом картографирования в этих случаях являются земельные кадастровые единицы, которые неоднородные по размеру (от нескольких квадратных метров до нескольких тысяч гектаров).

Программа CORINE Land Cover использует материалы дистанционного зондирования и наземных исследований для создания пространственных данных о ландшафтном покрове европейских стран. Чтобы обеспечить технико-экономическое обоснование проекта, в середине 1990-х годов было проведено исследование в 10 районах (со средней площадью порядка 2400 км<sup>2</sup>). Районы были выбраны, чтобы обеспечить репрезентативный вид западноевропейских ландшафтов. В качестве начального рабочего масштаба был выбран масштаб 1: 100 000, который подходит для использования в качестве основы для конкретных исследований государственных проектов в области развития и защиты окружающей среды. Информационной основой для создания баз данных о пространственном покрытии ландшафтного покрова являются материалы дистанционного зондирования, полученные со спутников LANDSAT и SPOT. Несмотря на то, что спутниковые изображения предоставляют большую часть необходимой информации, также необходимо использовать вспомогательные тематические карты и статистические данные). Первым шагом является выпуск карт в соответствии с европейскими стандартами, которые послужат основой для национальных карт.

На сегодняшний день во всех странах ЕС имеется необходимая статистическая информация, которая дает представление о почве и растениях, ландшафтном покрове и землепользовании. Качество этой информации зависит от конкретной страны и ее технического развития. Как и все вспомогательные данные, собранные для этого проекта, статистические данные должны быть доступны в интегрированной форме и удобны для использования. Статистика для карт ландшафтного покрова состоит из данных переписи, ежегодных обследований сельскохозяйственного производства, лесного кадастра, растительного покрова и землепользования. Полученная информация должна полностью охватывать территорию изучаемой страны, быть доступной и актуальной.

Для наилучшего использования информации о ландшафтном покрове, необходимо её регулярное обновление, проводимое с помощью ГИС-технологий каждые 5-10 лет. К настоящему времени имеются 5 разновременных серий баз геоданных CORINE Land Cover, отражающие состояние ландшафтного покрова Европы на 1990, 2000, 2006, 2012 и 2018

годы. Эти базы данных свободно предоставляются Европейским агентством по окружающей среде по сети Интернет в растровом и векторном формате (последние сгруппированы по 44 геоинформационным слоям, соответствующих числу классов ландшафтного покрова) [31, 30].

С 2008 года стали доступны также базы данных Инновации в геоэкологии: теория, практика, образование пространственных данных об изменениях ландшафтного покрова в сравнении между 1990-2000, 2000-2006, 2006-2012 и 2012-2018 годами, где ареалы изменений представлены в векторном формате.

Важным результатом проекта Corine Land Cover стала разработка унифицированной классификации ландшафтного покрова. Единая для всех европейских стран номенклатура проекта CORINE состоит из трёх уровней, отражающих иерархическую классификацию типов современного ландшафтного покрова Европы: на первом уровне выделяются 5 основных категорий современных ландшафтов Европы; второй уровень (15 групп) предназначен для использования в масштабах 1:500000 и 1: 1000000; третий уровень (44 класса ландшафтного покрова), используется для составления и анализа карт масштаба 1: 100000.

Рассмотренная типизация ландшафтного покрова программы CORINE может быть соотнесена с разработанной отечественной концепцией и классификационной системы современных, т.е. преобразованных хозяйственной деятельностью, ландшафтов, что определяет высокие потенциал и эффективность использования пространственных данных Corine Land Cover – детальных, регулярно обновляемых и географически достоверных как необходимых исходных материалов для геоэкологической оценки и картографирования современных ландшафтов Европы как в мелком и среднем, так и в крупном масштабе.

Вместе с тем, необходимо отметить, что принципиальное отличие карт «Land Cover» от ландшафтной карты, разработанной в соответствии с принципами российской научной школы заключается в отсутствии на картах «Land Cover» данных о литогенной основе [3].

#### 2.4 Описание используемого программного обеспечения

Возможности построения и использования карт для целей оценки и прогнозирования состояния окружающей среды неизмеримо расширились с появлением геоинформационных систем (ГИС).

ГИС - это системы, способные реализовать сбор, систематизацию, хранение, обработку, оценку, отображение и распространение данных.

ГИС разнообразны по видам, структуре, реализуемым функциям и т. д. Обычно они состоят из баз экологических данных, сведений о их территориальной и временной

привязке, источнике поступления, достоверности и систем управления базами данных. Эти системы представляют собой совокупность программных и технических средств, обеспечивающих функционирование ГИС. ГИС предоставляют возможность ввода данных, их накопления и обновления, обеспечивают разнообразную выдачу материалов потребителю: в виде таблиц, сводок, выборок, схем и карт.

Для классификации космических снимков для последующего анализа территории был использован программный комплекс GRASS GIS (англ. Geographic Resources Analysis Support System — система для обработки пространственной информации — программное обеспечение с открытым исходным кодом для управления данными, обработки изображений, создания графики, пространственного моделирования и визуализации многих типов данных. Это бесплатное программное обеспечение с открытым исходным кодом, выпущенное под лицензией GNU General Public License (GPL) = V2. GRASS GIS является официальным проектом Geospatial Foundation с открытым исходным кодом. Поддерживает большое количество форматов данных. GRASS разрабатывается с 1982 года при участии правительства США, научно-исследовательских институтов и компаний.

Данное программное обеспечение построено по принципу модульности и интегрирует в себя множество различных модулей, которые решают задачи от визуализации до импорта/экспорта в различные форматы данных. Изначально система ориентирована на работу с командной строкой, однако сейчас имеется два графических интерфейса к данной системе.

GRASS GIS содержит более 350 модулей для отображения карт и растровых изображений на мониторе и бумаге; позволяет манипулировать растровыми и векторными данными, включая векторные сети; обрабатывать мультиспектральные изображения, а также создавать, обрабатывать и хранить пространственные данные. GRASS GIS предлагает интуитивно понятный графический интерфейс пользователя, а также синтаксис командной строки для простоты операций. GRASS GIS может взаимодействовать с принтерами, плоттерами, дигитайзерами и базами данных для разработки новых данных, а также для управления существующими данными.

Возможности GRASS GIS:

- Растровый анализ : автоматическое преобразование растровой линии и области в вектор, буферизация линейных структур, запрос данных ячейки и профиля, изменение цветовой таблицы, преобразование в векторный и точечный формат данных, анализ корреляции / ковариации, анализ экспертной системы, алгебра карты (калькулятор растров), интерполяция, анализ ячеек растра, генерация поверхности из векторных линий.

- 3D-растровый (воксельный) анализ: импорт и экспорт 3D-данных, 3D-маски, алгебра 3D-карт, 3D-интерполяция (IDW, упорядоченные сплайны с натяжением), 3D-визуализация (изоповерхности), инструменты для интерфейса с Paraview и POVray.

- Векторный анализ: генерация контуров из растровых поверхностей (IDW, алгоритм сплайнов), преобразование в растровый и точечный формат данных и т.д.

- Анализ точечных данных: триангуляция Делоне, интерполяция поверхности по точечным высотам, полигоны Тиссена, морфометрический анализ (кривизна, уклон, экспозиция), LiDAR.

- Обработка изображения: возможность обработки аэрофотоснимков и изображений БПЛА, спутниковых данных (оптических, радиолокационных, тепловых), канонического анализа компонентов (ССА), генерации цветных композитов (RGB и пр.), текстурно-ориентированная классификация (последовательная максимальная апостериорная классификация), определение формы, контролируемая классификация (определение обучающих областей, классификация по максимальному правдоподобию), неконтролируемая классификация (кластеризация по минимальному расстоянию, классификация по максимальному правдоподобию).

- Визуализация данных: визуализация трехмерных поверхностей с 3D-запросом (NVIZ), назначение цвета, отображение гистограммы, наложение карты, растровые карты, векторные карты, функция увеличения / уменьшения масштаба.

- Поддержка SQL: интерфейсы баз данных (DBF, SQLite, PostgreSQL, MySQL, ODBC).

- Геостатистика.

- Временные рамки: поддержка анализа временных рядов для управления, обработки и анализа (больших) пространственно-временных данных об окружающей среде. Поддерживает запросы, расчет карт, агрегацию, статистику и заполнение пропусков для растровых, векторных и растровых данных. Для построения пространственно-временных топологических связей между объектами карты для 1D, 3D и 4D экстенгов доступен построитель временной топологии. [38, 39]

Кроме того, GRASS позволяет выполнять: моделирование эрозии, анализ ландшафтной структуры, анализ водосбора.

Для создания инструмента на базе решений Open Source требуется использование достаточно большого спектра программных компонентов.

Одним из связующих цепей программных компонентов является Python – высокоуровневый язык программирования общего назначения, ориентированный на повышение производительности разработчика и читаемости кода. Синтаксис ядра Python



минималистичен. В то же время стандартная библиотека включает большой объем полезных функций.

Python поддерживает структурное, объектно-ориентированное, функциональное, императивное и аспектно-ориентированное программирование. Основные архитектурные черты – динамическая типизация, автоматическое управление памятью, полная интроспекция, механизм обработки исключений, поддержка многопоточных вычислений, высокоуровневые структуры данных. Поддерживается разбиение программ на модули, которые, в свою очередь, могут объединяться в пакеты.

Эталонной реализацией Python является интерпретатор CPython, поддерживающий большинство активно используемых платформ. Он распространяется под свободной лицензией Python Software Foundation License, позволяющей использовать его без ограничений в любых приложениях, включая проприетарные. Python – активно развивающийся язык программирования, новые версии с добавлением/изменением языковых свойств выходят примерно раз в два с половиной года. Язык не подвергался официальной стандартизации, роль стандарта де-факто выполняет CPython, разрабатываемый под контролем автора языка [32].

Первичная обработка загружаемых космических снимков будет производиться при помощи библиотеки GDAL.

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

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

Пакет GDAL/OGR считается важным проектом в Open Source, а также и в коммерческих кругах ГИС в связи с широким распространением и обширным набором функциональности [37].

Среди программ, использующих библиотеку GDAL/OGR, для обработки растровых и векторных данных наиболее известными являются:

- QGIS — свободная кроссплатформенная геоинформационная система, написанная на Qt.

- GRASS — свободная кроссплатформенная геоинформационная система с мощным интерфейсом командной строки.
- ArcGIS — семейство программных продуктов американской компании ESRI. Начиная с версии 9.2 может использовать GDAL для работы с некоторыми форматами файлов.

Публикация результатов работы на Геопортал Тюменского Государственного Университета возможно с помощью инструментов GeoServer. GeoServer – это картографический сервер, написанный на языке программирования Java с открытым исходным кодом, позволяющий легко управлять ГИС-данными. Как и MapServer, он предоставляет данные в соответствии со стандартами WMS и WFS. Он также поддерживает сервис WFS-T для модификации актуальных данных, а также язык географической разметки (GML), язык разметки Keyhole (KML) и многие другие форматы. Данные организовываются в рабочие области и хранилища данных, при этом используется дисковая система хранения или PostGIS. С помощью встроенного REST API можно управлять наборами данных в режиме реального времени. Это ПО также включает в себя готовый Web-интерфейс. Инструменты и подходы к реализации. Преимуществом Geoserver является его относительно легкая настройка сервера, наличие графического интерфейса для управления и загрузки данных. (<http://gis-lab.info/qa/geoserver-begin.html> )

Геопортал Тюменского государственного университета (<https://geoport.al.utmn.ru/>) - это открытый, развивающийся справочно-информационный ресурс, цель которого – обеспечение учебного процесса и проведение научных исследований в области теории и практики географии с применением методов и средств online картографирования, ГИС-технологий, облачных вычислений и обработки данных дистанционного зондирования. Развитие геопортала производится студентами университета на кафедре картографии и геоинформационных систем. В данный момент доступно использование базового функционала: просмотр карт, навигация, просмотр слоев и легенды карты, инструментов измерения и печати, инструментария для добавления и публикации карт на сервере и портале (Рисунок 3).

Основной целью геопортала является:

- Предоставление открытого доступа сотрудникам и студентам университета к картографическим данным, собранных в едином месте и создание единой базы геоданных, для упорядоченного хранения картографического материала
- Сбор и хранение различного картографического материала, накопленного в стенах университета за достаточно большое количество времени;

- Создание среды для публикации картографических работ, выполненных студентами.

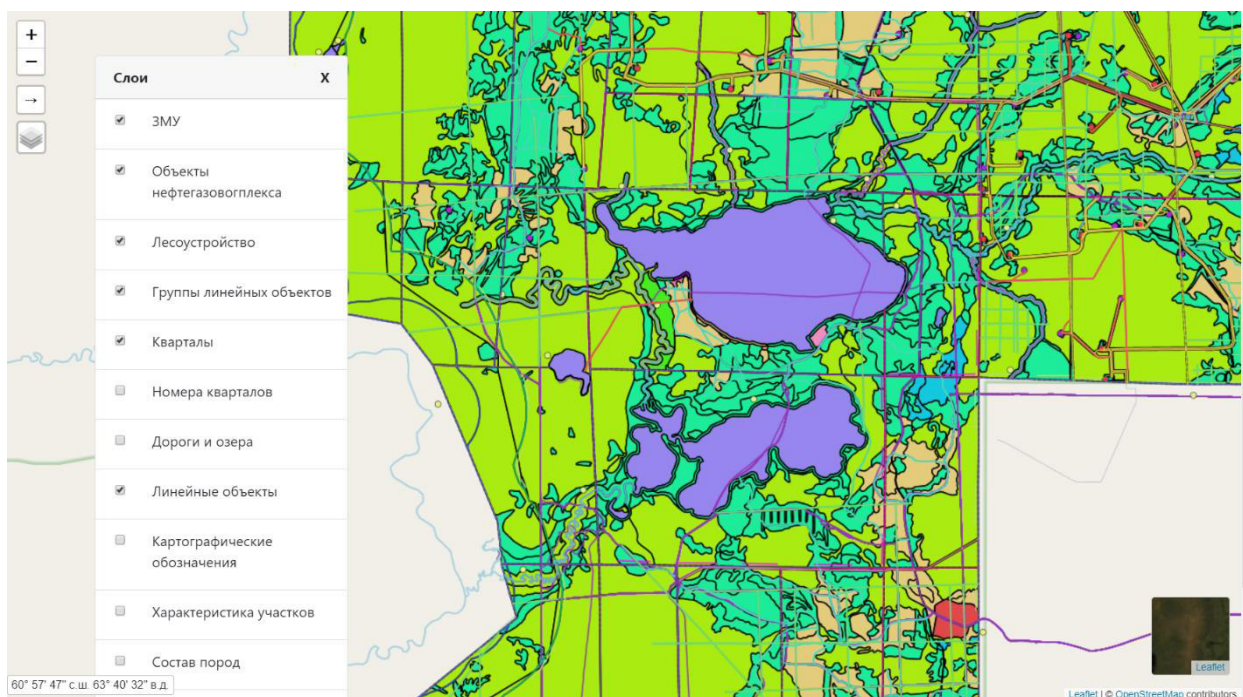


Рисунок 3. Фрагмент электронной карты в окне Геопортала Тюменского государственного университета

Особенностью данного проекта является использование Open Source решений, включающий в себя такие компоненты, как:

- Картографический веб-сервер: Geoserver.
- PHP-фреймворк: Laravel.
- СУБД: PostgreSQL + PostGIS.

## ГЛАВА 3. СОЗДАНИЕ ИНСТРУМЕНТА ЛАНДШАФТНО-ЭКОЛОГИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Целью разработки данного инструмента является возможность произвести ландшафтно-экологический анализ территории Голышмановского района по установленному алгоритму с единой системой классификации земель для сравнения результатов анализа с имеющейся информацией об использовании земель в целях обеспечения оптимизации ландшафтно-экологического состояния территории.

В зависимости с поставленными требованиями к разрабатываемому инструменту был поставлен ряд задач, решение которых позволит произвести разработку данного инструмента.

В первую очередь необходимо определиться с источниками данных, которые будут участвовать в алгоритме и при анализе данных. Второй немаловажной задачей стоит определение и изучение функциональных возможностей используемого набора инструментов для выполнения задач ландшафтно-экологического анализа. Последней задачей является непосредственно разработка инструмента с применением полученных данных и знаний, полученных при решении предыдущих задач.

### 3.1 Описание источников данных

В качестве сервиса предоставления материалов дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) был выбран сервис Геологической службы США EarthExplorer. Преимущество данного сервиса состоит в том, что он содержит постоянно обновляемую базу данных космических снимков серии спутников Landsat и Sentinel 2, предоставляет возможность получения данных снимков в открытом доступе. Также одним из главных преимуществ в выборе данного сервиса являлось наличие API, посредством которого можно получать космические снимки с выбранного спутника посредством внешнего программного кода, что позволит автоматизировать процесс получения снимков без участия человека [34].

В качестве данных были выбраны снимки космического аппарата Landsat-8. Данные снимки наиболее часто используются для анализа и мониторинга состояния земель. Снимки Landsat-8 имеют уровень обработки 1С и допустимое для решения задачи временное и пространственное разрешение [1].

Космический аппарат Landsat-8 создан совместно с NASA и USGS (геологическая служба США), предназначен для отслеживания изменений в окружающей среде и контроля за водными, сельскохозяйственными, природными ресурсами. Данный космический аппарат имеет следующие характеристики создаваемых изображений:

- Разрешение в панхроматическом режиме – 15 м

- Разрешение в мультиспектральном режиме – 30 м (дальний ИК – 100 м)
- Размер сцены – 185X180 км
- Временное разрешение – 16 суток
- Стоимость: Архив - бесплатно
- Минимальный заказ – Архивная и новая съемки поставляются в виде сцен 185X180 км.

В качестве векторных данных наилучшим решением является использование данных OpenStreetMap (OSM). Главной особенностью проекта OSM и его основным преимуществом по сравнению с любыми другими аналогами является принцип полностью открытых географических данных, которые могут быть использованы кем угодно и как угодно (в рамках лицензии CC-BY-SA) и могут свободно дополняться и уточняться любым участником проекта. Как и любые другие данные, географические данные точно так же подлежат структурированию при хранении и обработке [40]. Для решения задач ландшафтно-экологического анализа был выбран следующий набор слоев:

- Железные дороги.
- Автомобильные дороги.
- Гидрография.
- Границы района.

### 3.2 Описание процесса разработки

Карты ландшафтного покрова являются разновидностью тематических геоэкологических карт, используемых в российских научных исследованиях. Однако с учетом общепринятой в научных кругах тенденции использования мультиспектральных космических снимков в геоэкологических исследованиях, представляет интерес разработка данной карты на территорию Гольшмановского района.

Для разработки методики создания карты ландшафтного покрова был отобран мультиспектральный снимок спутника Landsat-8, полностью покрывающий территорию Гольшмановского района (Рисунок 4).

Далее для данного снимка необходимо было произвести обработку (радиометрическая калибровка, атмосферная коррекция) и дальнейшее выделение эталонных участков для классификации изображения [18, 27].

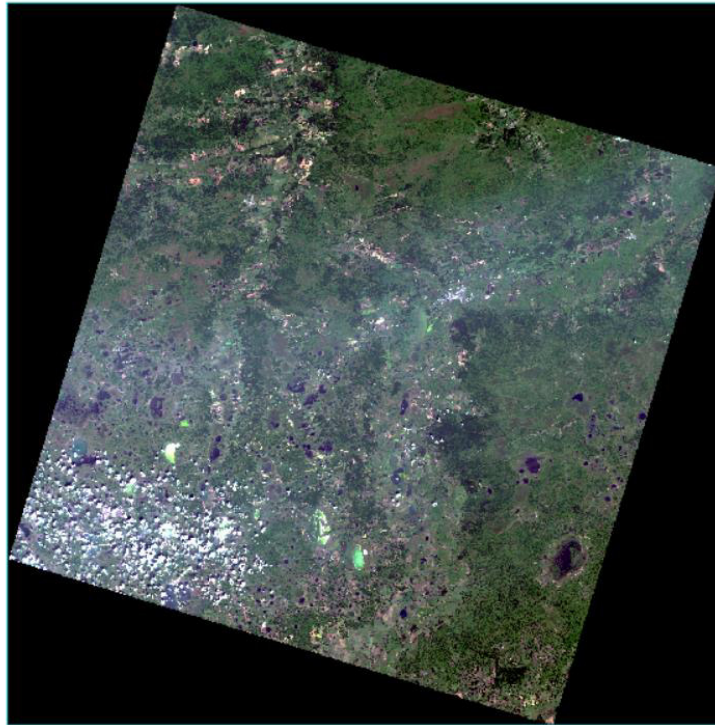


Рисунок 4. Сцена Landsat-8 (LC08\_L1TP\_158021\_20150624\_20170407\_01\_T1).


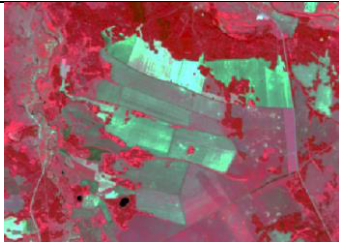
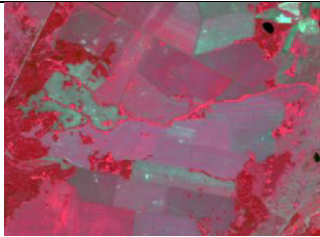
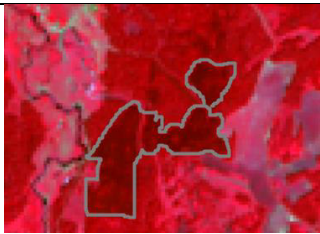

#### Синтез каналов – естественные цвета

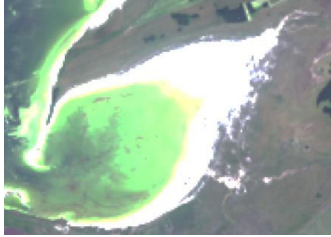
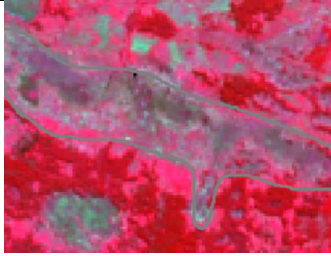
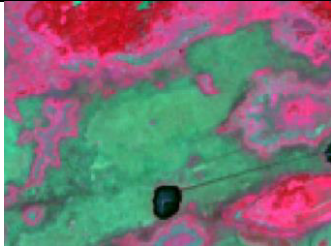
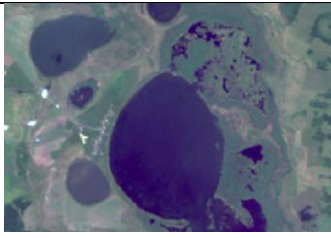
Далее в рамках решаемой задачи были определены в соответствии с рекомендациями мультиспектральные каналы, в которых в дальнейшем осуществлялось дешифрование природных и антропогенных объектов, в число выбранных каналов вошли 6 (коротковолновый ИК-канал – SWIR 2), 5 (ближний ИК-канал - NIR), 4 (видимый красный канал -RED) и 3 (видимый зеленый канал - GREEN) [7, 11].

Первый шаг методики создания карты ландшафтного покрова заключается в выделении обучающих выборок (классов) по которым в дальнейшем будет осуществляться выделение аналогичных участков на всем изображении путем применения метода классификации с обучением (Supervised Classification). Для классификации использовался набор эталонов природных объектов. Создание набора подразумевает под собой выделение однородных по дешифровочным признакам участков (эталонов) на снимке.

Были определены требуемые обучающие выборки (классы) по классификации, используемой в системе CORINE. Данная классификация была упрощена и адаптирована под Гольшмановский район (Таблица 2). При выделении участков были в том числе применены дешифровочные признаки, которые наглядно визуализированы описаны в описании к системе CORINE.

Таблица 2. Выделение обучающих выборок для классификации

№	Название класса	Пример	Характеристики
<b>1</b>	<b>Антропогенные участки</b>		
1.1	<i>Городская застройка</i>		
1.1.1	Городская застройка		В комбинации каналов 5-4-3. Голубые участки с характерной сетчатой структурой
<b>2</b>	<b>Сельскохозяйственные участки</b>		
2.1	<i>Пахотные земли</i>		
2.1.1	Немелиорируемые пахотные земли		В комбинации каналов 5-4-3. Светло-зеленые, голубые, светло-голубые участки с характерной полигональной формой.
2.1.2	Мелиорируемые пахотные земли		В комбинации каналов 5-4-3. Темно-розовые участки с характерной полигональной формой
<b>3</b>	<b>Леса и полуприродные территории</b>		
3.1	<i>Лесные земли</i>		
3.1.1	Хвойные лесные массивы		В комбинации каналов 5-4-3. Преобладание более темных оттенков (темно-красный, бордовый)
3.1.2	Смешанные и лиственные леса		В комбинации каналов 5-4-3. Красные участки с характерной шероховатой структурой
3.2	<i>Открытые участки с небольшим количеством растительности или её отсутствием</i>		

№	Название класса	Пример	Характеристики
3.2.1	Пляжи, дюны и песчаные равнины		В комбинации каналов 4-3-2 (естественные цвета) Белые однородные участки
<b>4</b>	<b>Водно-болотные угодья</b>		
4.1	<i>Внутренние водно-болотные угодья</i>		
4.1.1	Верховые болота		В комбинации каналов 5-4-3. Зелено-серые, розово-серые неоднородные участки
4.1.2	Низинные болота		В комбинации каналов 5-4-3. Бледно-зеленые однородные участки
<b>5</b>	<b>Гидрография</b>		В комбинации каналов 4-3-2 (естественные цвета) Темно-синие, темно-зеленые, темно-серые однородные участки

Первичное выделение и проверка обучающих классов на разделимость производилась в ПК ENVI 5.3. Для каждого класса была настроена своя область интереса в инструменте «ROI Tool» и затем проведена проверка на разделимость классов в инструменте n-D Visualizer (Рисунок 5).

Применение в работе ПК ENVI обусловлено тем, что данное ПО имеет в наличие инструмент для визуализации выделенных обучающих выборок в мультиспектральном пространстве, что позволяет наглядно отследить пересечения одинаковых пикселей на снимке между классами.



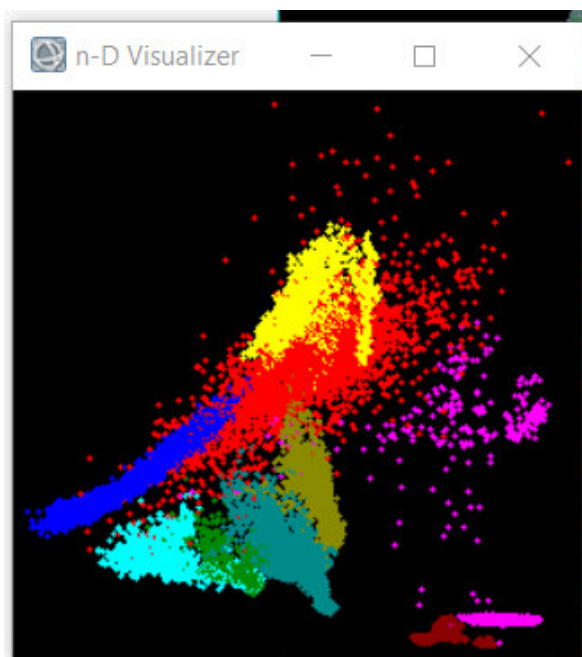


Рисунок 5. Окно n-D Visualizer

На данном рисунке видно, что выделенные классы разделимы в визуальном мультиспектральном пространстве. Это говорит о минимальном количестве конфликтов между классами, которые будут происходить во время классификации по обучающей выборке. Выделенные эталонные участки можно использовать в качестве обучающих, и классификация изображения по данным участкам будет произведена корректно.

Другим способом контролирования разделимости классов является расчет коэффициентов Джеффриса-Матуситы и трансформированной дивергенции.

Данные коэффициенты в числовом соотношении показывают коэффициент разделимости классов в спектральном пространстве. При числе коэффициента равному 2, классы не пересекаются. Числа коэффициентов, меньшие 2 говорят о том, что в классах присутствуют пересечения.

Данная проверка также была проведена для выделенных участков и по первым результатам вычисления коэффициенты показывали, что наибольшие пересечения имеются между классами «Верховые болота» и «Неорошаемые пахотные земли». По результатам первой проверки были скорректированы обучающие выборки, и, затем в последующих проверках пересечения между классами были минимизированы.

В результате классификации была получена карта ландшафтного покрова на территорию Голышмановского района (Рисунок 6). Классификация была произведена методом расстояния Махаланобиса, т. к. результаты данной классификации давали наиболее четкие и достоверные результаты. Также были применены методы классификации

минимального расстояния и максимальной правдоподобности, однако результаты данной классификации были неудовлетворительными.

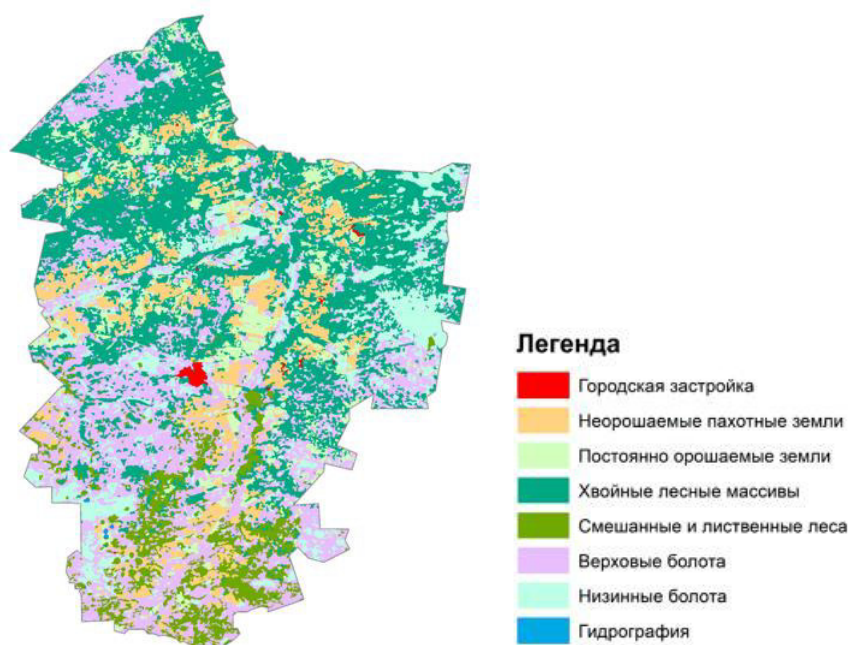


Рисунок 6. Результат классификации изображения с обрезкой по району

Далее после завершения разработки метода создания ландшафтной карты аналогичным образом действия были произведены в ПК GRASS GIS. В данном ПО были созданы аналогичные эталонные участки и произведена классификация изображения. Благодаря наличию открытых методов обращения к GRASS GIS путем ввода команд в командную строку, не обращаясь к интерфейсу программы был описан «скрипт», который автоматизировал данный процесс классификации с применением созданного набора обучающих выборок (сигнатур). Данный «скрипт» позволит применять в автоматическом режиме определенные сигнатуры для классификации новых сцен Landsat-8, которые будут загружаться автоматически с помощью инструмента загрузки [22]. К недостаткам данного метода можно отнести лишь то, что обучающие выборки необходимо актуализировать и обновлять с течением времени, т. к. территории, выделенные под эталонными участками со временем, могут менять свои спектральные характеристики.

Данный метод создания ландшафтной карты включен в общий алгоритм работы инструмента ландшафтной экологического анализа на этапе обработки изображения.

На данном этапе производится классификация и дальнейшая обработка полученных результатов, а также векторизация выделенных классов.

Для разработки инструмента ландшафтно-экологического анализа на базе Геопортала Тюменского государственного университета была подготовлена форма для выполнения обращения к сервису EarthExplorer для получения космических снимков

Landsat 8 (Рисунок 7). Для создания визуальной части формы были использованы языки HTML, CSS и JavaScript. Логическая часть работы формы была описана на языках PHP и JavaScript.

Слон Сохранить

Наименование задачи:  
Мониторинг

Комментарий:

Логин EarthExplorer:  
yura3452@gmail.com

Пароль EarthExplorer:  
\*\*\*\*\*

Набор данных:  
Landsat 8 ▾

Нижний левый угол. Широта:  
56.275749

Нижний левый угол. Долгота:  
68.019610

Верхний правый угол. Широта:  
56.575367

Верхний правый угол. Долгота:  
68.666637

[Указать на карте](#)

Месяцы:  
Май  
Июнь  
Июль  
Август

Минимальное значение облачности:  
0% ▾

Максимальное значение облачности:  
20% ▾

Период обновления

Активный

Рисунок 7. Форма обращения к сервису EarthExplorer

В данной форме предлагается ввести учетные данные для авторизации на портале EarthExplorer, указать территорию, на которую необходимо осуществить мониторинг, а также другие дополнительные параметры, например, указать конкретные месяцы, для которых необходимо подобрать сцену снимка, а также установить требования к минимальной облачности снимка.

После заполнения и сохранения данной формы формируется запрос в сервис EarthExplorer, который в ответ возвращает массив со списком удовлетворяющих запросу сцен Landsat 8. Из данного массива выбирается первая сцена и инициируется загрузка данного архива на сервер.

Для отслеживания статуса выполнения мониторинга была создана страница просмотра задачи (Рисунок 8).

#### Задача

2019-03-10 07:27:28 Авторизация в EarthExplorer  
2019-03-10 07:27:33 Начало загрузки сцены LC81590212018206LGN00  
2019-03-10 07:40:20 Файл успешно загружен  
2019-03-10 07:40:21 Распаковка архива /LC81590212018206LGN00.tar.gz  
2019-03-10 07:40:35 Распаковка архива /LC81590212018206LGN00.tar  
2019-03-10 07:40:54 Расчет растра  
2019-03-10 07:41:23 Публикация

Рисунок 8. Журнал выполнения задачи

Каждый этап обработки задачи журналируется на странице задачи.

Выделены следующие шаги (Рисунок 9):

1. Авторизация в сервисе EarthExplorer – если авторизация не пройдена, дальнейший процесс выполнения задачи приостанавливается.

2. Начало процесса загрузки сцены – на данном шаге выводится сообщение о начале загрузки с выводом идентификатора загружаемой сцены. На данном шаге производится проверка на наличие в файловой системе сервера на наличие ранее загруженной сцены для оптимизации скорости выполнения задачи и использования дискового пространства сервера. В конце отображается сообщение об успешной загрузке файла. В случае, если во время загрузки файла происходит ошибка, задача останавливается.

3. Распаковка архива.

4. Расчет растра – данный шаг включает в себя обработку изображений каналов космического снимка, объединение каналов в мультиспектральное изображение, выполнение классификации изображения.

5. Публикация – на данном этапе результаты классификации публикуются на Geoserver и отображаются в виде слоя на Геопортале Тюменского государственного университета.

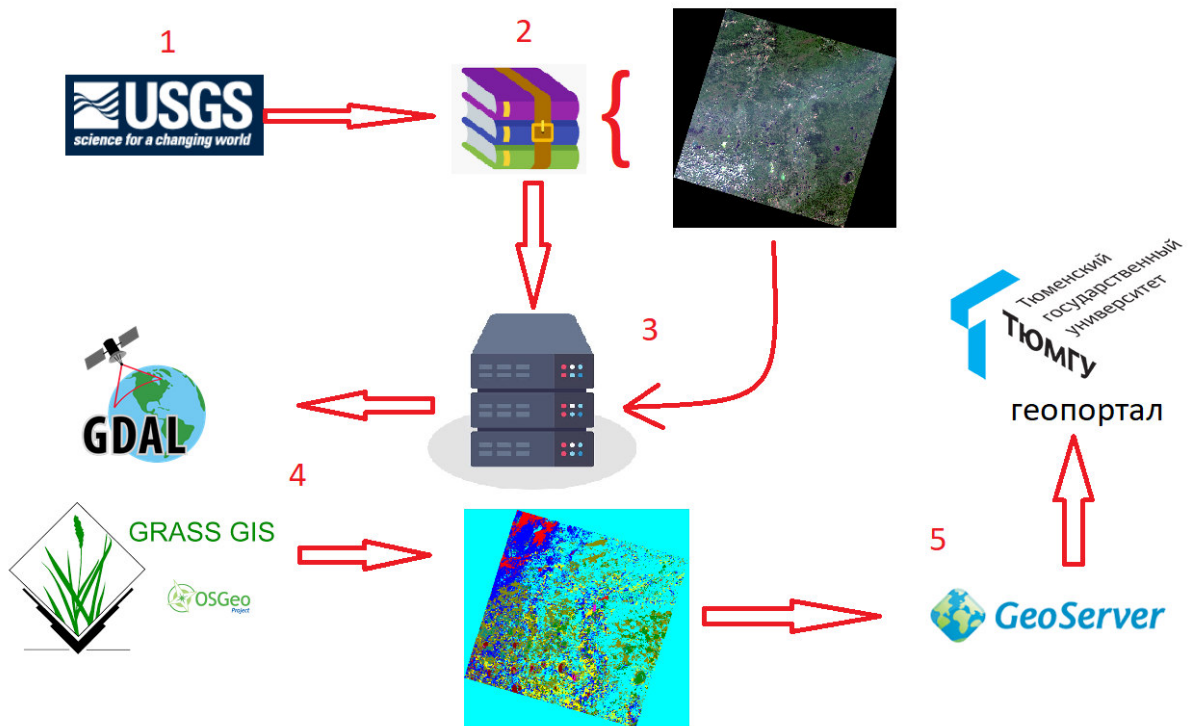


Рисунок 9. Схема алгоритма работы инструмента

После успешной загрузки и распаковки архива в директории распаковки можно наблюдать следующий набор файлов (Рисунок 10).

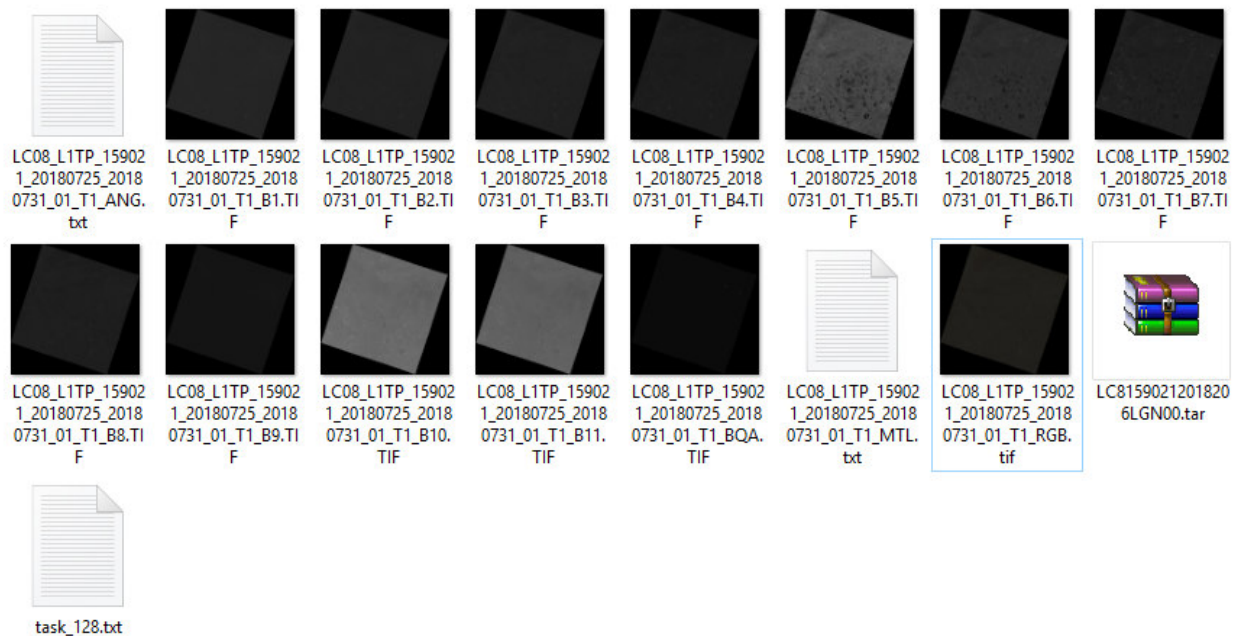


Рисунок 10. Директория задачи

В данной директории располагаются исходные данные из архива сцены Landsat 8.

После распаковки архива автоматически запускается процесс расчета мультиспектрального изображения, содержащего каналы, необходимые в дальнейшем для классификации при помощи использования библиотеки GDAL.

После загрузки и расчета автоматически запускается процесс классификации полученного изображения по обучающим выборкам, определенным ранее. Данная операция выполняется при помощи автоматического обращения к ПК GRASS GIS через командную строку путем ввода команд с установленными переменными.

Следующий этап работы алгоритма – это публикация результатов на геопортал Тюменского Государственного Университета.

Данный этап представляет собой получение результирующего файла с векторными данными по выделенным классам и импорт в базу данных для дальнейшей публикации в виде слоя с помощью GeoServer API на геопортал Тюменского Государственного Университета.

Данные, опубликованные на геопортале, являются электронной картой и представляет собой набор слоев различной тематики – данные результата работы алгоритма, дополнительные информационные слои (дороги, железные дороги, гидрография), а также различные слои с внешних источников, предоставляемые по протоколу WMS и WFS. Наличие такой информации в комплексе позволяет наиболее детально производить анализ и изучение территории, а также проводить сравнение информации различного уровня между собой.

Дополнительно была оцифрована в векторный формат ландшафтная карта на территорию Голышмановского района (Приложение А). Оцифровка производилась по геопривязанному растровому изображению. Привязка и оцифровка изображения производилась в ПК QGIS 3. Для результатов оцифровки был загружен в БД PostGIS и опубликован на геопортале Тюменского государственного университета (Рисунок 11).

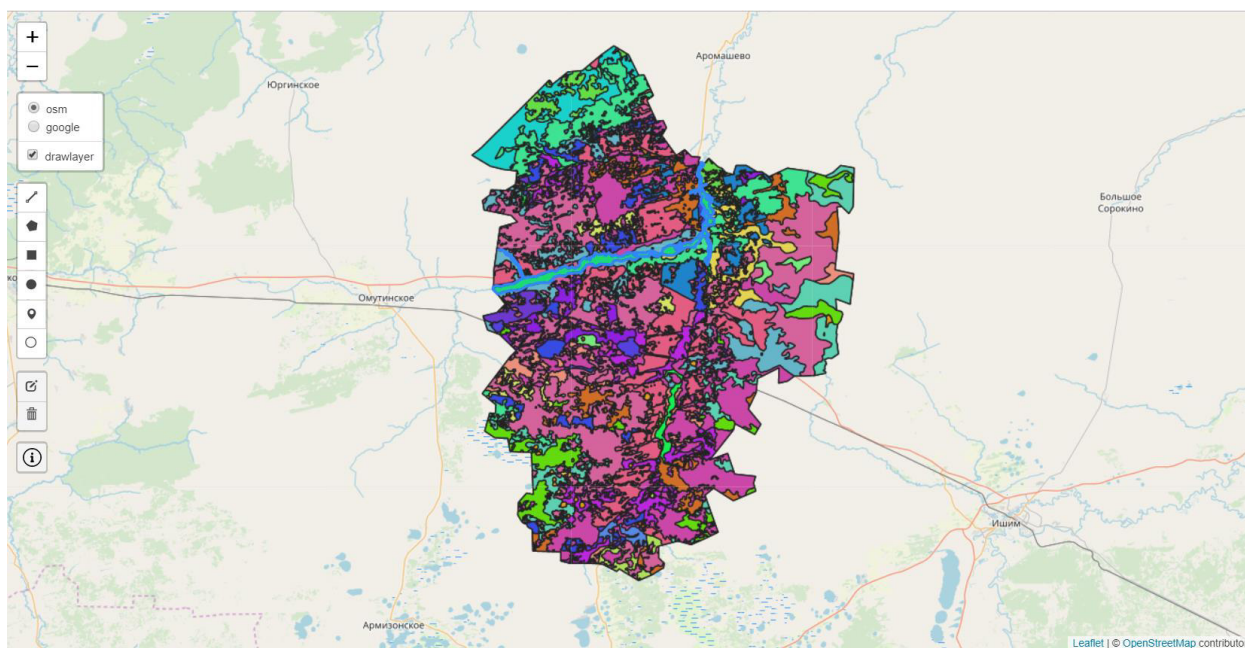


Рисунок 11. Ландшафтная карта Гольшмановского района, опубликованная на геопортале Тюменского Государственного Университета

Данную ландшафтную карту можно будет использовать как материал для сравнения с результатами инструмента ландшафтно-экологического анализа, как комплексный компонент, отображающий информацию о территории в разрезе геоморфологических, гидрологических и почвенных характеристик района.

### 3.3 Оценка и анализ результатов работы инструмента

Анализ пространственной структуры ландшафтов территории показал, что преобладающее распространение получили: Пологоволнистая равнина с осиново-березовыми травяными лесами на темносерых тяжелосуглинистых почвах (22,83% площади района); Плоская с западинами равнина с березовыми лесами на серых лесных осолоделых почвах (14,65% площади района); Пашни с березовыми колками по понижениям на черноземно-луговых среднесуглинистых почвах по основным поверхностям и луговыми осолоделыми (9,29%); Пологоволнистая с гривами равнина с березово-осоковыми травяными лесами на серых лесных осолоделых среднесуглинистых почвах (6,39%).

Анализ пространственной структуры ландшафтного покрова по результатам работы инструмента ландшафтно-экологического анализа представлен в таблице 3.

Таблица 3. Статистика распространения территорий

<b>Наименование класса</b>	<b>Площадь, га</b>	<b>% от территории района</b>
Городская застройка	1739,0479	0,43
Немелиорируемые пахотные земли	34180,60663	8,37
Мелиорируемые пахотные земли	87142,07292	21,35
Хвойные лесные массивы	38613,98169	9,46
Смешанные и лиственные леса	185640,2035	45,48
Верховые болота	50110,49604	12,27
Низинные болота	9273,95632	2,27
Гидрография	1511,714382	0,37
Общий итог	408212,0793	100



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При помощи использования методов современной Веб-картографии становятся доступными для реализации инструменты осуществления ландшафтно-экологического анализа. Наличие таких инструментов упрощает процесс изучения состояния территории, упрощая работу с интерпретацией геоданных различного характера, агрегируя их в единой системе, с возможностью получения доступа к ней с помощью технологий Веб-ГИС.

В ходе выполнения работы было проведено изучение характеристик природных и социально-экономических особенностей территории Гольшмановского района. Были проанализированы различные источники, в том числе, сведения из Росреестра о распределении земель по категориям и их площадях. Были рассмотрены методические основы проведения и оценки ландшафтно-экологического анализа.

Для разработки инструмента были рассмотрены существующие системы и их инструменты осуществления ландшафтно-экологического анализа. В ходе изучения была выбрана система CORINE Land Cover, действующая на территории ЕС. Был принят подход единой классификации всех земель, используемой в данной системе. Данный подход был упрощен и адаптирован под территорию Гольшмановского района.

Другим шагом для разработки инструмента являлось изучение существующих инструментов и программных компонентов Веб-ГИС для осуществления алгоритма работы инструмента. Одними из таких инструментов выступили: GeoServer, GDAL/OGR, GRASS GIS и пр. Последним шагом в ходе выполнения работы было разработка алгоритма с применением различных программных компонентов, выбранных при изучении на предыдущем шаге, и непосредственная реализация алгоритма в виде программного кода и интеграция с Геопорталом Тюменского государственного университета.

Результаты проведенного анализа можно сравнивать с данными территориального планирования, делением территории на категории земель с помощью использования Геопортала Тюменского государственного университета. Результаты работы инструмента можно использовать с целью учета разнообразия, специфики и пространственных особенностей природных комплексов при формировании стратегии оптимального природопользования. Разработанный метод создания карты ландшафтного покрова Гольшмановского района является основой оценки экологической значимости геосистем и выделения земель по единой классификации.

Созданный инструмент является аналогом действующей системы CORINE, однако использует не всю систему классификации, и требует дальнейшего развития. Развитие инструмента возможно при наличии к большому количеству информации о территории, включая сведения о ландшафтах территории, а также знания априорного характера.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беленов А.В. Стандартные уровни обработки и форматы представления данных ДЗЗ из космоса. Мировой опыт // Геоматика – 2009 – №4 – С.18-20.
2. Бельдеева Л.Н.. Экологический мониторинг: Учебное пособие./АлтГТУ им. И.И.Ползунова.- Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 1999. 122 с.
3. Ближе к Европе | Русское географическое сообщество. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.rgo.ru/ru/penzenskoe-oblastnoe-otdelenie/ob-otdelenii/publikacii/blizhe-k-evrope>
4. Вызов GRASS GIS из скрипта на Python [Электронный ресурс] – Режим доступа: [http://wiki.gis-lab.info/w/Вызов\\_GRASS\\_GIS\\_из\\_скрипта\\_на\\_Python](http://wiki.gis-lab.info/w/Вызов_GRASS_GIS_из_скрипта_на_Python)
5. Геопортал ТюмГУ [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://geoport.utm.ru/>
6. Гуня А.Н. Изучение возможностей выявления динамики состояний ландшафтов по наземным и аэрокосмическим данным // Вестник МГУ. Серия 5. №1, 1990, С. 53-57.
7. Евдокимов С. И., Михалап С. Г. Определение физического смысла комбинации каналов снимков LANDSAT для мониторинга состояния наземных и водных экосистем // Естественные и физико-математические науки. – 2015. – № 7. – С. 21-32.
8. Емельянов А. Г. Геоэкологический мониторинг: Учеб. пособие. - Тверь: Твер. гос. ун-т, 2002. 121 с.
9. Жекулин В. С., Мильков Ф.Н. Методы исследования антропогенных ландшафтов. Геогр. об-во СССР Академии наук СССР, 1982. 150 с.
10. Жиленев М. Ю. Обзор применения мультиспектральных данных ДЗЗ и их комбинации при цифровой обработке//Геоматика. №3, 2009. С. 56-61
11. Интерпретация комбинаций каналов данных Landsat TM / ETM+ [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://gis-lab.info/qa/landsat-bandcomb.html>.
12. Исаченко А.Г. Ландшафтоведение и физико-географическое районирование: Учебник. М.: Высшая школа, 1991. - 368 с.
13. Исаченко А.Г. Экологические проблемы и эколого-географическое картографирование // Изв. ВГО. 1990. Т. 22. - Вып. 4. - С. 289-300.
14. Исаченко А.Г. Экологический потенциал ландшафта // Изв. ВГО, 1991 а. -Т. 122.-вып. 4.-С. 5-14.
15. Книжников Ю.Ф., Кравцова В.И. Аэрокосмические исследования динамики географических явлений. М., Изд-во Моск. Ун-та, 1991. 206 с.
16. Козлов Д.Н., Пузаченко М.Ю., Федяева М.В., Пузаченко Ю.Г. Отображение пространственного варьирования свойств ландшафтного покрова на основе дистанционной

информации и цифровой модели рельефа // Известия РАН. Серия Географическая, 2008, №4, С. 112-124.

17. Коновалова Т.И., Трофимова И.Е. Картографирование экологического состояния урбанизированных территорий на основе материалов дистанционных исследований Земли // Исследования Земли из космоса, 2008, №4, С. 36-44

18. Лабутина, И.А. Дешифрирование космических снимков: учеб. пособие для студентов вузов. - М: Аспект Пресс, 2004. 184с.

19. Л.Н. Бельдеева. Экологический мониторинг: Учебное пособие. АлтГТУ им. И.И.Ползунова.- Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 1999. 122 с.

20. Марьянских Д.М. Ландшафтно-экологический анализ территории Уренгойского нефтегазоконденсатного месторождения: дис. ... канд. геогр. наук. Тюмен. гос. университет, 2003.

21. Михно В.Б., Бевз В.Н., Горбунов А.С, Быковская О.П. Ландшафтно-экологический анализ территорий муниципальных образований // Вестник воронежского государственного университета. Серия: география. Геоэкология, 2014, №3. С. 40-48

22. Обработка и интерпретация данных Landsat 8 (OLI) средствами GRASS GIS 7 [Электронный ресурс] – Режим доступа: [http://wiki.gis-lab.info/w/Обработка\\_и\\_интерпретация\\_данных\\_Landsat\\_8\\_\(OLI\)\\_средствами\\_GRASS\\_GIS\\_7](http://wiki.gis-lab.info/w/Обработка_и_интерпретация_данных_Landsat_8_(OLI)_средствами_GRASS_GIS_7)

23. Общие сведения. [Электронный ресурс] – Режим доступа: [https://golyshmanovo.admtymen.ru/mo/Golyshmanovo/about\\_OMSU/more.htm?id=10527386](https://golyshmanovo.admtymen.ru/mo/Golyshmanovo/about_OMSU/more.htm?id=10527386)

24. Остроухов А.В. Ландшафтно-экологический анализ организации территории ресурсоориентированных регионов (на примере Ванинского района Хабаровского края): дис. ... канд. геогр. наук. Хабаровск, 2009.

25. Тематическая обработка мультиспектральных снимков [Электронный ресурс] – Режим доступа: [http://www.nrcgit.ru/aster/methods/thematic\\_methods.htm](http://www.nrcgit.ru/aster/methods/thematic_methods.htm).

26. Территория района. [Электронный ресурс] – Режим доступа: [https://golyshmanovo.admtymen.ru/mo/Golyshmanovo/about\\_OMSU/more.htm?id=10527390](https://golyshmanovo.admtymen.ru/mo/Golyshmanovo/about_OMSU/more.htm?id=10527390)

27. Токарева О.С. Обработка и интерпретация данных дистанционного зондирования Земли: Учебное пособие – Томск: Издательство Томского политехнического университета – 2010 – С. 148.

28. Уфимцева М.Г. Ландшафты Тюменской области: Учебно-методическое пособие. - Тюмень: Издательство ТГСХА, 2012.

29. Шовенгердт Р.А. Дистанционное зондирование. Модели и методы обработки изображений. М.: Техносфера. 2010. 560 с.

30. CORINE Land cover technical guide – Addendum 2000. Prepared by: M. Bossard, J. Feranec and J. Otahel. EEA, Copenhagen, 2000, 105 p.
31. CORINE Land Cover – Publication, 1995, 163 p.
32. Documentation [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.python.org/doc/>
33. Earth Resources Observation and Science (EROS) Center. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://eros.usgs.gov/#/Science>.
34. EarthExplorer - Service Documentation - 1.4.0 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://earthexplorer.usgs.gov/inventory/documentation/json-api>
35. Etherington, T.R. Python based GIS tools for landscape genetics: visualising genetic relatedness and measuring landscape connectivity / T.R. Etherington // Methods in Ecology and Evolution. – 2011. – Т. 2. – №. 1. – С. 52-55.
36. European Environment Agency [Электронный ресурс] – Режим доступа: [www.eea.europa.eu/data\\_and\\_maps](http://www.eea.europa.eu/data_and_maps).
37. GDAL - Geospatial Data Abstraction Library [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.gdal.org/index.html>
38. GRASS GIS - General overview [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://grass.osgeo.org/documentation/general-overview/>
39. GRASS GIS - Historical Notes [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://grass.osgeo.org/home/history/>
40. OpenStreetMap [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.openstreetmap.org/about>
41. Peter Loewe. On scripting GRASS GIS: Building location-independent command line tools. Geinformatics FCE CTU, 2009.