

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра геоэкологии, природопользования и экологической безопасности

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**  
(бакалаврская работа)

На тему «Использование ГИС в оценке эффективности озеленения территории»

Исполнитель

Луккен Анна Кирилловна  
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель

Доктор биологических наук  
(ученая степень, ученое звание)

Лекомцев Петр Валентинович  
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»  
Заведующий кафедрой



(подпись)

Кандидат географических наук, доцент  
(ученая степень, ученое звание)

Алексеев Денис Константинович  
(фамилия, имя, отчество)

«24» июля 2022г.

Санкт-Петербург

2022

Оглавление	
Введение .....	5
Глава 1. Данные дистанционного зондирования Земли (ДДЗ).	
Характеристики съёмочных систем .....	7
1. Данные дистанционное зондирование. Классификация.	
7	
1.2.1. Пассивные съёмочные системы .....	27
Фотографические съёмочные системы .....	27
Нефотографические виды съёмки .....	31
1.2.2. Активные съёмочные системы .....	39
Нефотографические съёмочные системы .....	39
Глава 2. Географические информационные системы. Quantum GIS.	
Метод оценки озеленения на основе вегетационного индекса NDVI и снимков	
спутниковых съёмочных систем Landsat .....	42
2.1. Классификация ГИС .....	43
2.2. Географическая информационная система QGIS .....	47
Основные понятия .....	48
2.3. Нормализованный относительный индекс вегетации растительности	
(NDVI) .....	49
2.4. Landsat .....	50
Глава 2. Анализ озеленения Крестовского острова с разницей в 10 лет.	
Применения индекса NDVI в графической форме для определения	
качественного состава растительность. ....	54
2.1. Общая информация об объекте .....	54
2.2. Особенности благоустройства о. Крестовский .....	54
2.3. Оценка озеленения о. Крестовский с помощью открытой	
геоинформационной системы – Quantum GIS в 2011 и в 2021 г. ....	55
2.4. Обработка результатов .....	57

2.5. Анализ полученных результатов .....	64
Заключение .....	66
Список использованных источников .....	69



## Введение

ГИС-технологии – это очень важный атрибут в жизни современного общества. Если раньше людям приходилось брать с собой бумажные карты, то сейчас есть возможность воспользоваться продуктом технического прогресса. Теперь мы можем применять ГИС-технологии в таких глобальных вопросах, как загрязнение территорий, сокращение лесных угодий, последствия катастроф природного и антропогенного генезиса, перепроизводство сельскохозяйственной продукции, так и решение более повседневных людских вопросов, таких как поиск дома по его адресу, подбор наиболее оптимального пути, логистические маршрутные построения, проведение водопровода или линий электропередач. Широчайшее применение, конечно же, геоинформационные системы получили в приложениях для построения маршрутов на местности, вызова такси – ими пользуется почти каждый житель крупных городов, потому как это дает возможность оптимизировать время.

Актуальность темы заключается в возможности собирать большой объем информации с одного или нескольких источников в режиме настоящего времени, уже не существует необходимости физического присутствия человека для оценки территории по различным параметрам. Так, например, при планировании работ по благоустройству города можно выйти на новый уровень реализации. Теперь к ежегодным несменяемым участкам озеленения мы можем добавить новые, посредством проведения оценки данных дистанционного зондирования и дальнейшего построения плана территориального облагораживания, что позволит увеличить показатель фактического обеспечения территорий зелеными насаждениями. Таким образом получится улучшить условия существования людей, ведь помимо эстетической ландшафтной составляющей, хорошо развитая городская флора способствует снижению уровня шума, улучшению микроклимата, повышению содержания кислорода в воздухе.

Целью ВКР является использование ГИС-технологий при оценке озеленения территорий. Для реализации цели были поставлены следующие задачи:

1. Качественная и количественная оценка зеленых насаждения на территории с разницей в 10 лет.
2. Анализ процессов деградации озелененных территорий.

Предметом исследования является петроградский Крястовский остров, расположенный на территории Петроградского административного района г. Санкт-Петербурга, а объектом – использованные для анализа территорий этого района ГИС-технологии.

Теоретическая база для достижения поставленной цели позволит на произвести полноценное исследование. Многочисленные труды в виде учебных пособий, технологических карт спутниковых съемочных систем, справочников по работе географической информационной системы QGIS и многое другое.

В структуре работы можно выделить несколько составных частей:

1. поиск спутниковых снимков исследуемой территории на электронном ресурсе Геологической службы США Earth Explorer;
2. обработка каналов спутниковых снимков с помощью географической информационной системы Quantum GIS;
3. использование шкалы NDVI в Quantum GIS с целью получения материалов для оценки.

Благодаря полноте исследования у нас получилось достичь поставленную цель, решив задачи.

## Глава 1. Данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Характеристики съемочных систем

### 1. Данные дистанционное зондирование. Классификация.

Для поиска и дальнейшего использования информации об объекте, явлении природного или антропогенного характера или территории научные деятели применяют данные, полученные с помощью средств дистанционного зондирования. Главной особенностью данных дистанционного зондирования является возможность их получения без прямого контакта с исследуемыми объектами. Данными являются снимки, получение которых возможно разными путями – судоходный транспорт (в.т.ч. подводный), летательные аппараты (космические и воздушные, например, спутники, самолеты, вертолеты), стационарные объекты зондирования.

Актуальность развития дистанционного зондирования сейчас очень высока, потому как каждый день для разных целей необходимо производить мониторинг, для получения объективной информации о состоянии окружающей среды, учета состояния земных ресурсов (водных, литосферных, биологических(флора)).

Дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ) – получение информации о поверхности Земли и объектах на ней, атмосфере, океане, верхнем слое земной коры бесконтактными методами, при которых регистрирующий прибор удален от объекта исследований на значительное расстояние.[1]

Спутник является самым главным объектом, позволяющий нам получать снимки. Съемка с помощью спутника никак не связана с сезоном или метеорологическими особенностями, широтой или долготой, временем суток. Она является всепогодным и абсолютным средством. При космической

радиолокации мы получаем разрешение, которое ничем не уступает той же оптической съемке, благодаря боковому обзору и синтезу апертуры.

Между синтезированной (искусственной) апертурой и реальной существует принципиальная разница, суть которой заключается в исходной точке этих процессов. Таким образом, реальная апертура порождает искусственную, благодаря, принятию электромагнитных сигналов в определенные, последовательные промежутки времени, находясь при этом в различных положениях относительно источника волн.

На сегодняшний день ДЗЗ является главным атрибутом неконтактной экологической оценки, с помощью которой можно гораздо быстрее и эффективнее планировать многие территориальные работы, создавать проекты различной направленности.

Экологическая оценка – определение состояния среды жизни или степени воздействия на нее каких-то факторов [7]. Для того, чтобы ее осуществить необходимы комплексные знания о структуре, современном состоянии и функционировании ландшафтов, где учитываются взаимосвязи основных природных компонентов и их реакции на оказанное и прогнозируемое воздействие различных техногенных факторов. Использование ГИС и ДЗЗ для экологической оценки природно-антропогенных систем позволяют точнее отразить состояние окружающей среды, проводить аналитические расчеты и принимать управленческие решения [8].

Данные дистанционного зондирования давно и успешно используются для решения экологических задач. Основные направления применения ДДЗ:

1. анализ состояния и нарушенности экосистем, вызванной антропогенными и естественными факторами;
2. определение индексов вегетации растительного покрова;
3. экологический мониторинг;
4. мониторинг лесных пожаров;
5. изучение послепожарного восстановления растительности;



6. выявление с помощью снимков локальных источников загрязнения (почвы/воды), а затем последствий их воздействия на экосистемы;

7. прогнозирование процессов (заболачивание, опустынивание, засоление, карст, геоморфология и т.д.). [9]

Общая физическая основа дистанционного зондирования (ДЗ) — зависимость между зарегистрированными параметрами собственного или отраженного излучения объекта и его биогеофизическими характеристиками, и пространственным положением. Суть метода — интерпретация результатов измерения электромагнитного излучения, которое отражается либо излучается объектом и регистрируется в некоторой удаленной от него точке пространства. С помощью ДЗ люди изучают химические и физические свойства объектов. Обоняние, зрение, слух человека являются естественными формами ДЗ. А фотографическая съемка является методом дистанционного зондирования, существенным ограничением которой является чувствительность эмульсионного слоя фотопленки только к излучению в видимой либо близкой к ней части электромагнитного спектра. [1]

В современном облике дистанционное зондирование подразделяется на два взаимосвязанных направления:

1. естественнонаучное (дистанционные исследования) или «remote sensing»;
2. инженерно-техническое (дистанционные методы) или «remote sensing techniques».

Предметом дистанционного зондирования являются пространственно-временные свойства и отношения социально-экономических и природных объектов. Они могут проявляться прямо или косвенно в собственном или отраженном излучении, дистанционно регистрируемом из космоса или с воздуха в виде двумерного изображения, то есть снимка. Эта существенная часть ДЗ названа аэрокосмическим зондированием (АКЗ), что подчеркивает его преемственность с традиционными аэрометодами. Метод АКЗ основан на использовании снимков, которые, как свидетельствует практика,

представляют наибольшие возможности для комплексного изучения земной поверхности. [1]

Методы ДЗ заключаются в использовании сенсоров, которые размещаются на космических аппаратах и регистрируют электромагнитное излучение в форматах, существенно более приспособленных для цифровой обработки, и в существенно более широком диапазоне электромагнитного спектра. В большинстве методов ДЗ используют инфракрасный диапазон отраженного излучения, тепловой инфракрасный и радиодиапазон электромагнитного спектра.[1]

Действенный стимул развития АКЗ во всех странах — запросы военных ведомств. Благодаря внедрению космических методов и современных цифровых технологий АКЗ приобретает более важное экономическое значение, а также становится обязательным элементом высшего образования в природоведческих вузах, превращается в мощное средство изучения Земли от локальных исследований отдельных компонентов до глобального изучения планеты в целом. [1]

Поэтому при изложении различных аспектов АКЗ целесообразно рассматривать его как метод исследований, результативно применяемый во всех науках о Земле, и, прежде всего в географии. [1]

Всемирная система обработки данных для анализа всех процессов, происходящих на поверхности Земли базируется на материалах дистанционного зондирования.

Процесс получения материалов дистанционного зондирования Земли и их применения в географических информационных системах схематически представлен на рисунке 1.

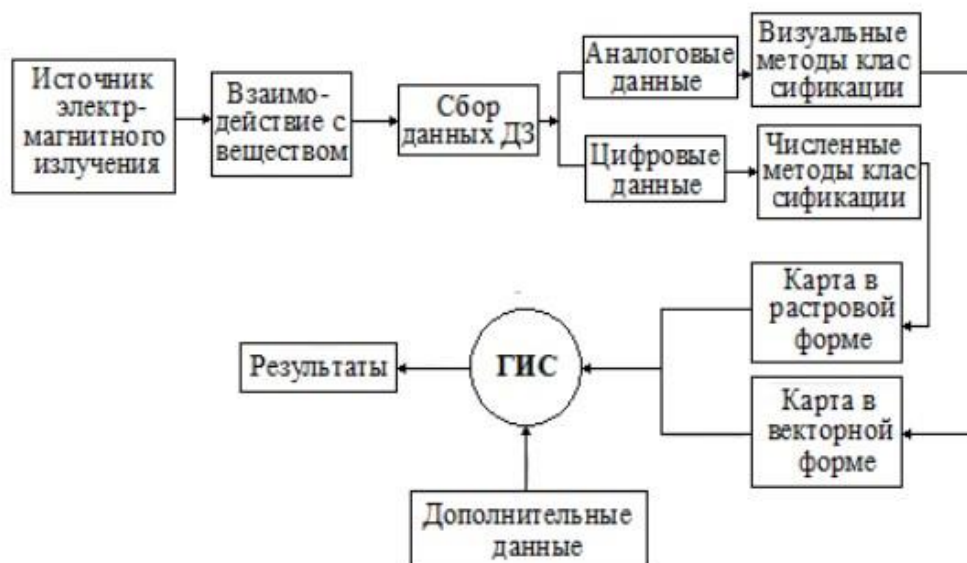


Рисунок 1 - Интеграция данных в географических информационных системах

Правильно организованная система дистанционных исследований должна быть ориентирована на решение конкретных геологических задач, обуславливающих выбор орбит космических носителей, набор датчиков, характер сбора, переработки и передачи на наземные комплексы первичных данных и тип представляемых материалов.[1]

Дистанционные методы исследования предоставляют доступ практически к 100% земной поверхности, что является их главным преимуществом, также информация, получаемая при помощи дистанционного зондирования, может быть получена повторно спустя время, при этом скорость получения картинки будет высокой – все это породило понятие оперативного картографирования, потому как в краткий срок можно произвести полный анализ территории или оценить динамику, на основе многолетних данных.

Космические снимки, вариации которых велики, подвергаются обработке и в дальнейшем служат материалом для картографирования.

Свойства космических снимков:

1. большой охват территории;
2. возможность анализа снимков по широкому спектру направлений;
3. регулярная повторяемость съемки, которая позволяет изучать динамику природных процессов.

Карты, составленные по космическим снимкам, являются более современными и достоверными и отображают явления, которые в отсутствие таких снимков вообще не могли бы быть картографированы. [2]

Благодаря использованию данных дистанционного зондирования можно сократить объем и сроки наземных исследований. [2]

Методы дистанционного зондирования при анализе не всегда подразумевают мгновенное получение информации. Часто приходится производить измерения параметров рассматриваемых объектов, чтобы определить связанные с ними величины, которые нельзя считать с помощью спутникового снимка моментально или при минимальной обработке. Часто только лишь измерения параметров – быстрых исследований, недостаточно для достижения цели, поэтому появляется необходимость в контактном методе исследования территории, с целью проведения экспериментов. Основываясь на подобных действиях, направленных на получение нужных данных, исходит вывод о том, что помимо высокотехнологичности запускаемой ракетной техники и сложностью ее оптических и электронных приборов, в науке появляется новая методология к получению интерпретации измеряемых результатов. Единый язык дешифрования спутниковых данных, сложность обработки которых высока, позволяет делать выходные данные вседоступными, то есть материалы, обработанные в одной точке мира, можно получить на другом конце света, при этом дешифрования не будет проблематичным.

Принцип дистанционного зондирования с использованием волн электромагнитного спектра проиллюстрирован на рисунке 2. Энергия исходит из активного (лампа, лазер) или пассивного (солнце) источника излучения, проходя через слои атмосферы излучение достигает земной поверхности, затем часть излучения отражается и считывается приемником, который отраженное излучение улавливает, обрабатывает (квантует) и запоминает, а затем преобразует в графическое изображение.[3]

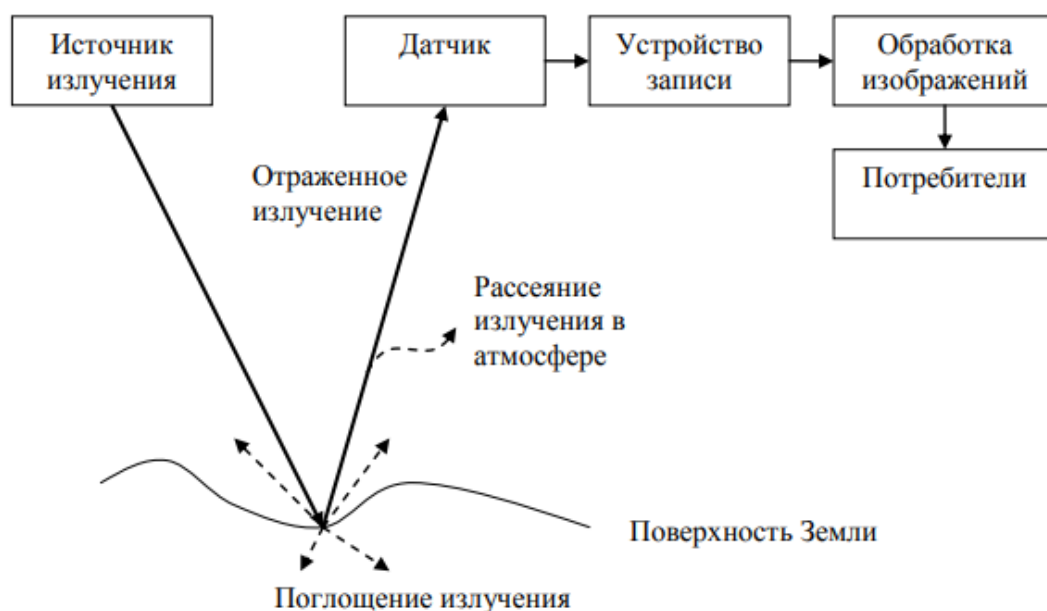


Рисунок 2 - Схема дистанционного зондирования

При переходе излучения от исследуемого объекта к считывающему устройству – датчику, атмосферное излучение диспергируется и поглощается – это может исказить сигнал. В связи с этим появилась необходимость в изобретении методов, позволяющих снизить атмосферное влияние на картинку объекта местности.

При получении данных дистанционного зондирования используют диапазон, содержащий наибольшее количество информации о электромагнитном излучении - оптический (длина волн  $\lambda = 0,1 - 1000$  мкм) и радиодиапазон ( $\lambda$  более 1 мм). Оптический диапазон является спектральным, области показаны на рисунке 3.[3]

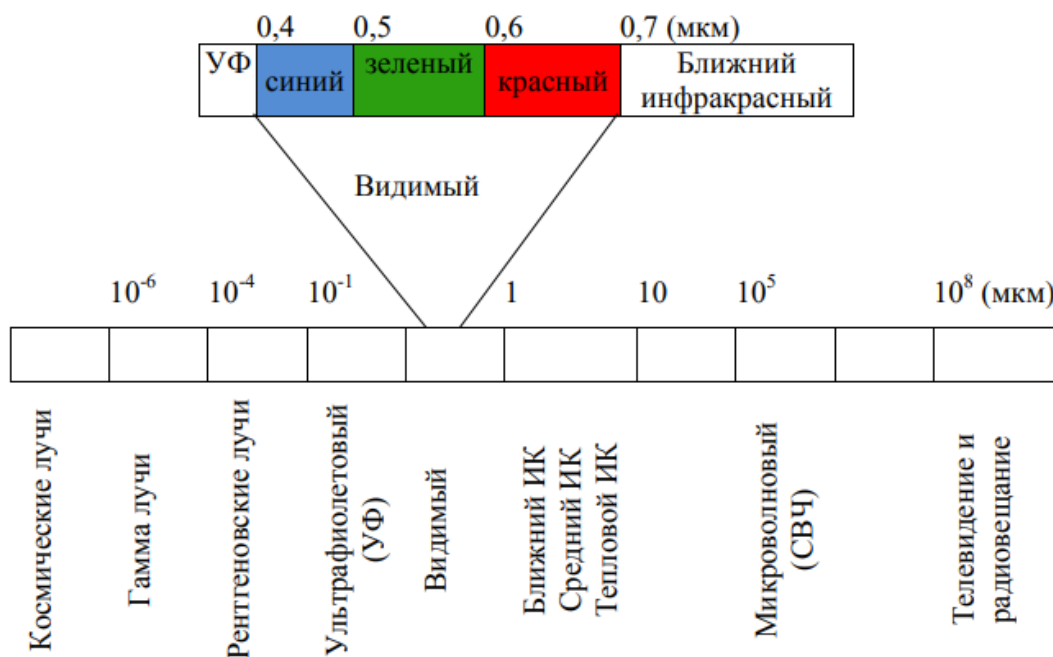


Рисунок 3 - Диапазоны оптического спектра

Солнечное излучение – основной источник электромагнитного излучения. Когда устройства зондирования фиксируют излучение – это в большинстве случаев отраженное от объектов солнечное излучение, за исключением случаев, когда источник излучения – искусственный (лазер и др.).[3]

В связи с тем, что солнечный свет является причиной спектрального разделения света, проходящего через оптические элементы спутника, аналогично призме, выходные данные оптико-электронных устройств делят на области оптического диапазоны, которые в дешифровании спутниковых снимков принято называть каналами спутникового снимка. Подробнее иерархия показана в схеме 1.

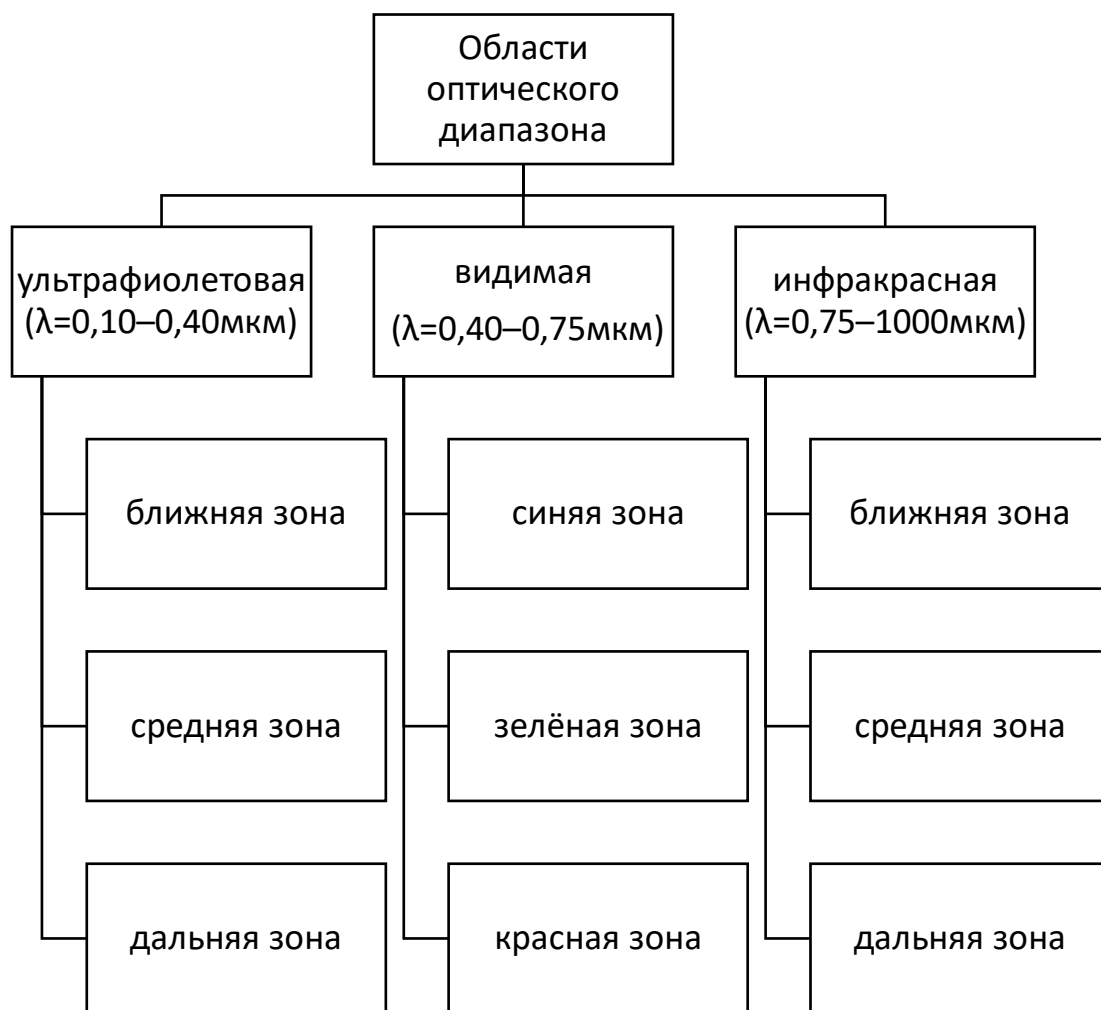


Схема 1 – Схематическое изображение областей оптического диапазона

Аналогично солнечному излучению в техническое устройство сооружений, позволяющих получать снимки Земли из космоса, встраивают радары и лазеры – у них нет зависимости от положения земли относительно солнца, то есть они позволяют считывать снимки в любое время суток. Если говорить о роли солнца в этом процессе, то следует рассмотреть рисунок 4. На нем показано, как солнечное излучение проходит через атмосферу Земли, прежде чем достигнуть земной поверхности, а затем происходит перенаправление полученного Землей излучения (тут все зависит от характеристик поверхности Земли участвующей в процессе территории), а именно поглощение, отражение или рассеивание.

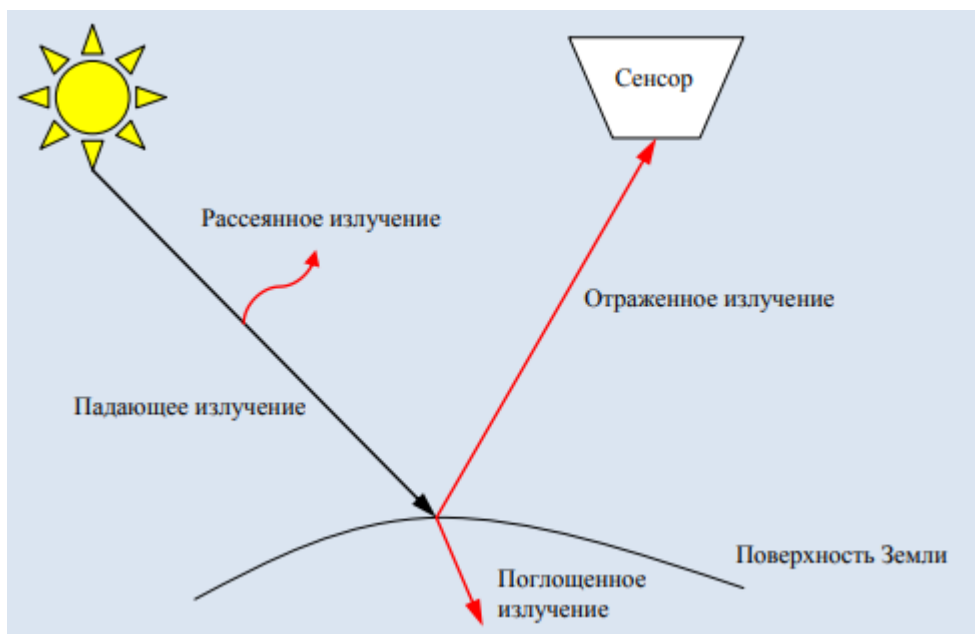


Рисунок 4 - Взаимодействие излучения с атмосферой

Прозрачность атмосферы, определяемая содержанием в ее слоях молекул различных газов, которые поглощают часть электромагнитного излучение на пути его движения к литосфере. На рисунке 5 показана кривая прозрачности атмосферы.[3]

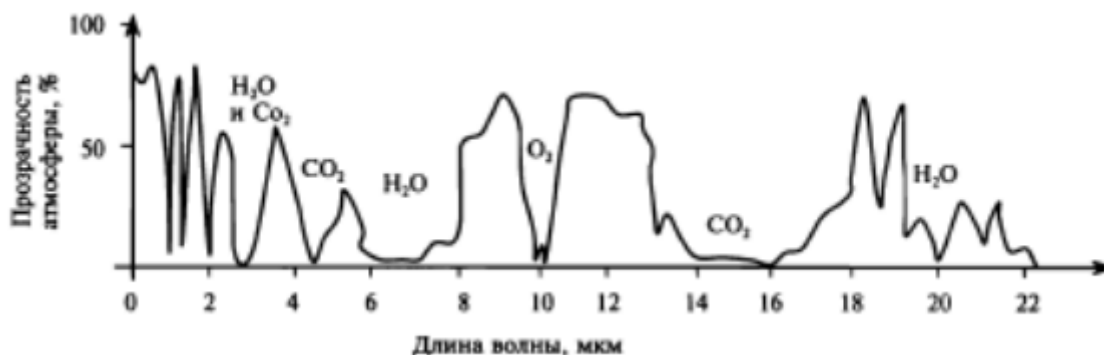


Рисунок 5 - Кривая прозрачности атмосферы

Основываясь на схеме рисунка 5, исходит вывод – большая часть диапазона атмосферы для дистанционного зондирования не имеет смысла, потому как не способна пропускать излучение Солнца. Поэтому с увеличением количества знаний в оптико-технологических устройствах пришли к выводу,



что в общем потоке излучения Солнца есть диапазоны, которые атмосфера может пропускать, рассмотреть их можно на схеме 2.

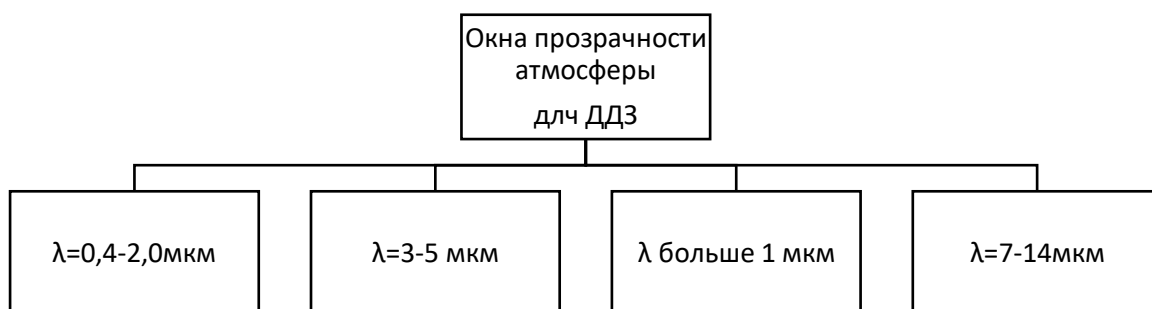


Схема 2 – Окна прозрачности атмосферы для дистанционного зондирования Земли

Процессы поглощения и отражения излучения земной поверхностью всегда зависят от длины волны. Даже если мы рассмотрим однотипные по физическим условиям формирования и веществу объекты, все равно выявится, может незначительная, разница в поведении излучения, при попадании на эти объекты.[18]

Если говорить о процессе рассеивания, то тут основное влияние оказывает поведение электромагнитных волн при контакте с газовыми молекулами и частицами, которые находятся в воздушной оболочке земли.

Так и пришли к тому, что способность каждого объекта по-своему отражать излучение приводит к возможности идентификации этих объектов на спутниковых снимках. Получается, что, если мы не можем различить объекты в одном спектральном диапазоне, значит он обязательно будет замечен в другом – заметить это можно будет посредством изменения цвета. Пример - объект, способный отразить излучение синего спектрального диапазона, на снимке его цвет будет синим.

Отражательные свойства Земли описывает функция, которую называют спектральной отражательной способностью. График зависимости

спектральной отражательной способности объекта от длины волны электромагнитного излучения называется кривой спектральной отражательной способности, отраженной на рисунке 6. График зависимости позволяет спектральные отражательные характеристики поверхностей. Его можно использовать для выбора диапазона для качественного распознавания объектов. [3]

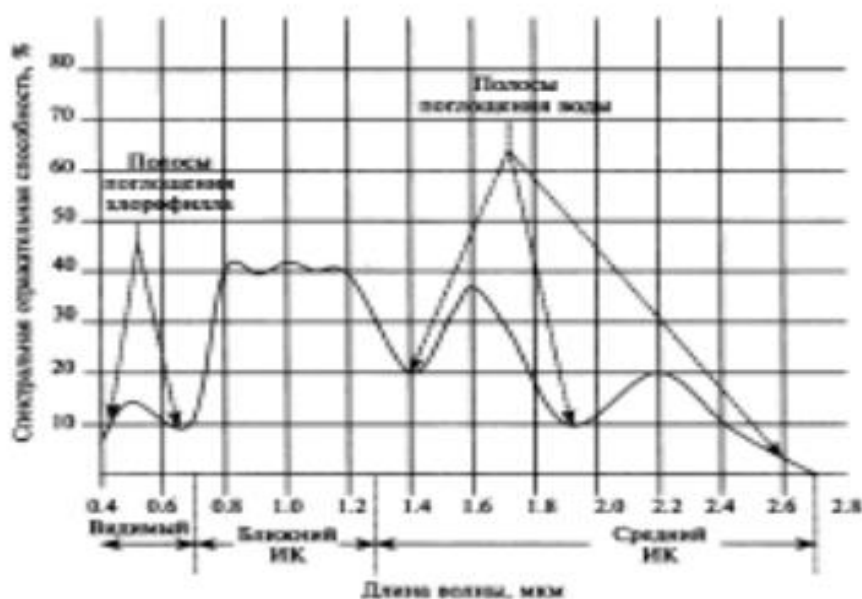


Рисунок 6 – Кривая отражательной способности растительности

Преимущества и недостатки данных дистанционного зондирования представлены в таблице 1.

Преимущества	Недостатки
1. возможность получения информации в различных спектральных диапазонах 2. космические снимки охватывают большие площади 3. высокая периодичность получения данных 4. возможность получить данные о труднодоступных областях 5. в основном все работы камеральные 6. возможность получать данные разного разрешения в зависимости от решаемой задачи 7. возможность трехмерного анализа пространственных данных	1. требуется высокая квалификация и практический опыт оператора для их обработки 2. неэффективны при исследовании небольших территорий 3. высокая стоимость программного обеспечения

Таблица 1 – Преимущества и недостатки дистанционного зондирования

Важность мониторинга процессов, происходящих наземной поверхности, обуславливают необходимость постоянного совершенствования технологий, позволяющих получить данные дистанционного зондирования. Области применения этих данных, а также задачи специалистов, которые обрабатывают эти данные, представлены в таблице 2.

Задачи	Область применения
1. определение метрических характеристик (границы, координаты, размеры, площади и т.д.) объектов местности 2. создание карт и планов 3. создание ортофотопланов 4. создание цифровых моделей рельефа и местности 5. выявление изменений произошедших на местности 6. оценка состояния территорий 7. создание трехмерных реалистичных измерительных моделей объектов.	1. инвентаризации природных ресурсов 2. исследовании природных ресурсов 3. мониторинге стихийных бедствий и оценка их последствий 4. изучении влияния антропогенного воздействия на окружающую среду 5. планировании и управлении развитием территорий 6. освоении недр 7. ведении сельского и лесного хозяйства и др.

Таблица 2 – Задачи и область применения данных дистанционного зондирования.

### 1.2. Классификация съемочных систем

Классификация съемочных систем достаточно обширна, так как существуют разные принципы действия зондирования, что порождает необходимость классифицировать СС по критериям, представленным в схеме 3.

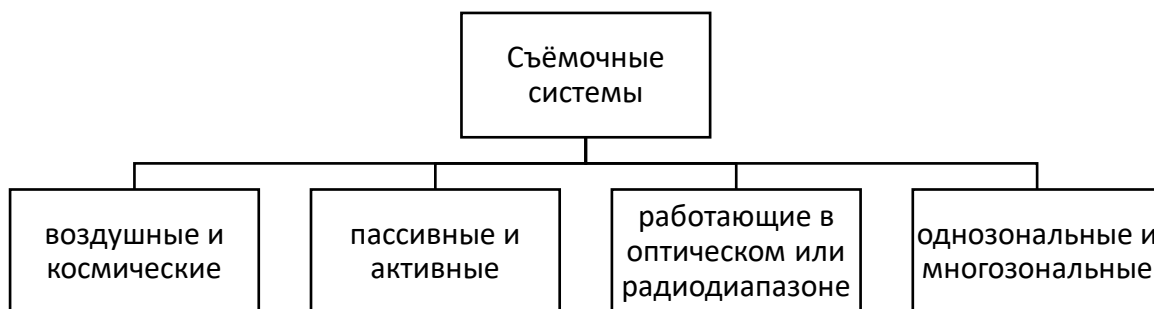


Схема 3 – Критерии классификации съёмочных систем.

Спутниковая съёмка на сегодняшний день в 90% случаев является многозональной. Многозональность обуславливается составлением изображения территории, получаемого со спутника, из разных зон спектра (или из разных каналов) электромагнитного излучения, при этом фотоматериалы могут быть как ч/б, так и в цвете, который может быть как натуральным, так и псевдоцветным (спектрозональное фотографирование, являющееся основой большинства современных спутников). Также снимок имеет разные сроки выполнения – так он может быть оперативным (получение спутникового изображения в сжатые сроки, или неоперативным (более сфокусированное изображение, не имеющее срочности, сфокусированное на других параметрах кадра. Если говорить о фотографических и нефотграфических системах – то тут все зависит от способа доставки и обработки материалов. В первом случае системы неоперативные, и для доставки пленки необходимо транспортировать пленку путем посадки летательного аппарата или спуска на землю контейнера с материалами. Во втором случае все происходит в режиме реального времени –

видеоинформация поступает по радиоканалу, также возможна запись на магнитный носитель и последующая его передача в эфир.

Аэрофотоаппараты не имеют настолько высокой актуальности, как спутники зондирования, но тем не менее получаемые на них снимки чаще всего используются для обработки топографических планов и карт, имеющих крупный масштаб, при этом метод получения – фотограмметрический.

Так как каждая съемочная система обладает специфическими характеристиками есть возможность продолжить классификацию.[1]

При классификации СС по техническим характеристикам и сборке могут использоваться различные критерии, при этом их делят на: воздушные и космические (высота над поверхностью Земли), пассивные и активные (в зависимости от источника излучения), однозональные и многозональные (способность перемещения), фотографические и нефотграфические (вид выходных данных) и др..[1]

Все съемочные системы делятся на две большие группы, представленные в таблице 3: пассивные и активные.

Пассивные съемочные системы	Активные съемочные системы
1. фотографические	1. радиолокационные
2. телевизионные	2. лазерные
3. на основе приборов с зарядовой связью (ПЗС)	
4. сканерные	

Таблица 3 – Группы съемочных систем

Устройства дистанционного зондирования – съемочные системы – имеют технические характеристики, аналогично оптической аппаратуре для фотографирования в обычных условиях. В схеме 4 представлены эти характеристики.

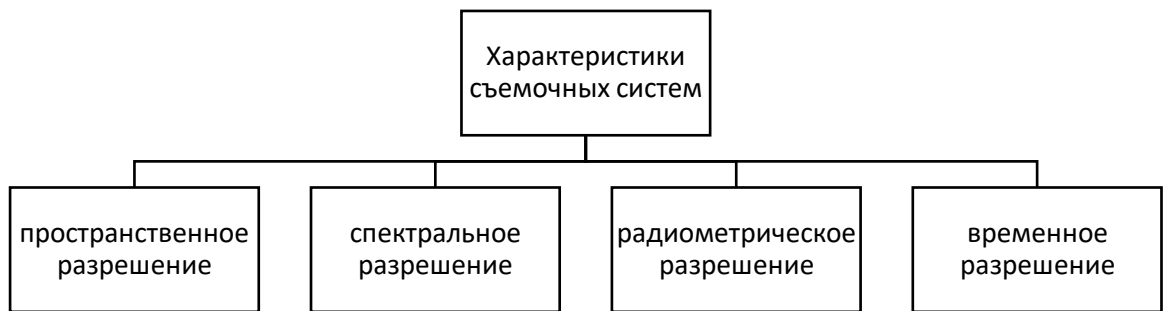


Схема 4 – Характеристики съемочных систем.

Для того, чтобы получить на снимке отдельные детали объекта, подвергающегося съемке, как раз необходимо высокое пространственное разрешение. Оно определяется числом воспроизводимых интервалов между черными линиями в 1 мм изображения, при этом ширина черной линии должна быть равна белому интервалу. Пространственное разрешение съемочной системы зависит от съемки миры, которую можно увидеть на рисунке 8.

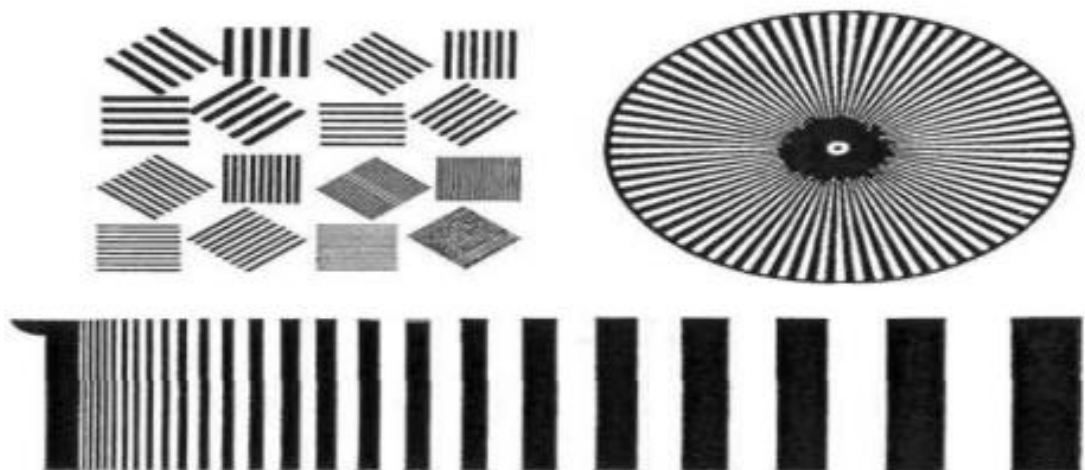


Рисунок 8 – Тест-объекты (миры)

Сканерные и цифровые съемочные системы имеют разрешающую способность, находящуюся в зависимости от элемента сканирования на территории - разрешающая способность сканерной съемочной системы равна 4 м, т.е. 1 пиксель представляет собой 4 метра на местности.[1]

Наименьшая ширина зоны спектра, в которой проводится съемка – это спектральная разрешающая способность. Если увеличить количество диапазонов, но при этом уменьшить промежутки спектра, представленных в мкм, то на выходе мы получим наилучшее спектральное разрешение.[1]

Качественно определить различные типы объектов по кадрам позволяет высокое спектральное разрешение.

Чем меньше разница в уровнях энергии излучения, зафиксированное аппаратурой, тем выше радиометрическая разрешающая способность. Все зависит от чувствительности сенсора к разным уровням интенсивности электромагнитного излучения. Если мы говорим о фотографических и цифровых аппаратах, то в первом случае определяются даже самые малые вариации оттенков серого цвета, а во втором – количество уровней квантования.[19]

Периодичность и длительность съемки участка (например, ежедневно, ежемесячно, раз в несколько дней, на протяжении 2х лет и т.д.) – это аспекты временного разрешения.

Аэрофотоаппараты классифицируются по их техническим характеристикам, которые являются следствием особенностей устройства основных узлов аэрофотоаппарата, различия показаны на схеме 4.





Схема 4 – Классификация аэрофотоаппаратов по техническим характеристикам

Назначение аэрофотоаппаратов тоже имеет свою классификацию и свои особенности. В основном их принято делить на 2 вида, описанных в таблице 5.

Аэрофотоаппарат	Назначение
Топографические	Предназначены для получения ортоскопических аэроснимков земной поверхности, поверхности Луны и других небесных тел с целью их картографирования. Использование аэроснимков, полученных топографическими аэрофотоаппаратами, для составления топографических карт предопределяет требования к их конструкции и характеристикам.
Нетопографические	Применяются для получения аэроснимков с целью их топографического, геологического, ландшафтного и других видов дешифрирования, т. е. опознавания и определения качественной и количественной характеристик изображенных на них объектов. В этом случае решение измерительных задач по аэроснимкам ограничивается определением цифровых характеристик от дешифрированных объектов (глубины оврагов, высоты деревьев и пр.). На этом основании требования к ортоскопии аэроснимков, получаемых этими аэрофотоаппаратами, значительно снижаются.

Таблица 5 – Классификация аэрофотоаппаратов

Несмотря на существующую классификацию по назначению аэрофотоаппаратов, и топографические и нетопографические являются частью аэрофотосъемочного комплекса.

Топографические и нетопографические устройства дополняют друг друга, поэтому аэрофотосъемочный комплекс включает в себя те и другие аэрофотоаппараты. Если фотографирование происходит посредством длиннофокусными нетопографическими и топографическими аэрофотоаппаратами, то первый будет являться дополнительным, то есть играть второстепенную роль, а второй основным, то есть играть главную роль. Если съемочный аппарат топографический – то целевыми являются

фотограмметрические работы, а если нетопографический и длиннофокусный – работы, связанный с топографическим дешифрованием.

### 1.2.1. Пассивные съёмочные системы

#### Фотографические съёмочные системы

Классификация аэрофотоаппаратов возможна по различным признакам. В зависимости от способа экспонирования аэрофотоплёнки бывают разных видов, перечисленных в таблице 4.

Виды аэрофотосъёмки	Характеристика
Кадровые	Экспонирование аэрофотоплёнки происходит прерывисто, отдельными кадрами вдоль длины аэрофотоплёнки (при этом направление оптической оси не меняется относительно плоскости)
Щелевые	Экспонирование происходит непрерывно по всей длине аэрофотоплёнки (при этом направление оптической оси также не меняется относительно плоскости предметов)
Панорамные	Оптическая ось непрерывно изменяет свое направление

Таблица 4 – Характеристики видов аэрофотосъёмки

#### Щелевая аэрофотосъёмка

Механизм состоит в движении фотоплёнки по направлению летательного аппарата, показ которой осуществляется через открытую щель при помощи объектива. Щель находится под углом в 90 градусов к направлению летательного аппарата, при этом плоскость объектива – фокальная – весь механизм отражен на рисунке 7. Фотоплёнка движется внутри комплекса с определенной скоростью, которая соответствует скорости самого летательного аппарата. Выходные данные такой съёмки представлены в виде сплошной ленты, которая будет полностью отображать весь маршрут

полета летательного аппарата, а не в виде привычных кадровых снимков. Если аппарат движется прямо, то запись будет воспроизводиться по ширине фотопленки, а если в бок, то проекция исследуемой территории на пленке будет в ортогональном виде.[20]

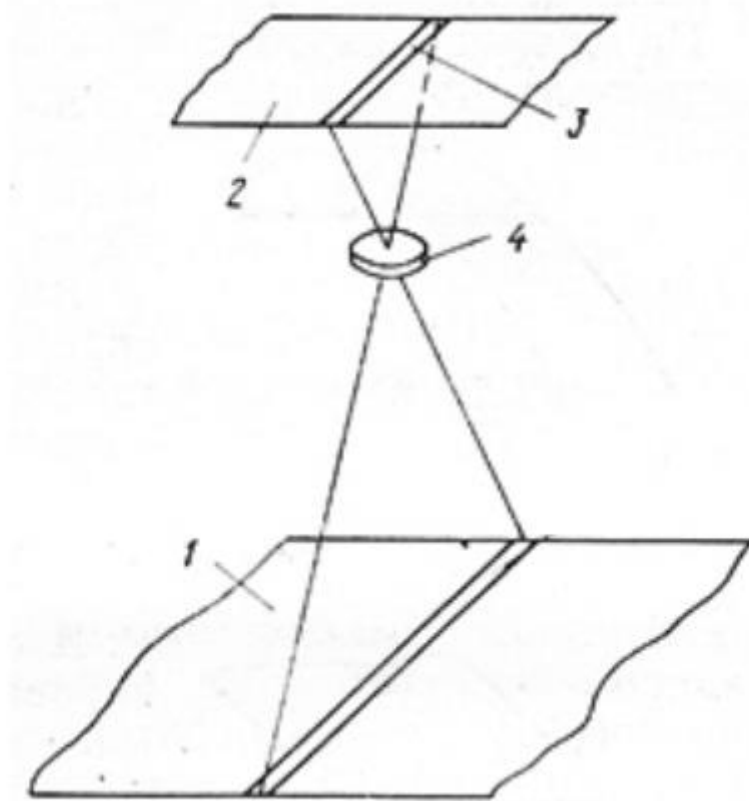


Рисунок 7 – Схема щелевого фотографирования

1 – изображение местности; 2 – фотопленка; 3 – щель; 4 – объектив.

Таким образом, в щелевом аэрофотоаппарате светочувствительный материал непрерывно экспонируется через щель, расположенную в фокальной плоскости объектива перпендикулярно к линии полета.[4]

Отсюда можно сделать выводы:

1. перемещение аэрофотопленки с определенной скоростью в направлении полета летательного аппарата исключает сдвиг, вызывающий смазывание изображения;

2. для сохранения заданной выдержки аэрофотоснимков важно с изменением скорости движения аэрофотопленки пропорционально изменять ширину щели;

3. допустимая выдержка в щелевом аэрофотоаппарате значительно больше допустимой выдержки при использовании кадровых стандартных аэрофотоаппаратов в тех же условиях;

4. в щелевом аэрофотоаппарате затвор отсутствует – экспозиция меняется регулированием ширины щели;

5. изображение местности получается в виде сплошной ленты.

Классифицируются щелевые аэрофотоаппараты по количеству объективов – 1 объектив или 2. В обоих случаях в аэрофотокомплексе необходимо наличие системы синхронизации движения, которая контролирует одновременность движения аэрофотоаппарата и самой пленки, а также системы регулирования экспозиции, которая регулирует ширину щели в зависимости от оси движения аппарата: x-плоскость или y-плоскость. Автоматический режим работы как раз-таки ориентирован на управление этими механизмами.

#### Панорамная аэрофотосъемка

Выдержка  $t_{ск}$  (1), получаемая в ПАФА, определяется скоростью вращения объектива  $V_{об}$  или скоростью сканирования  $V_{ск}$  и шириной щели  $l_{щ}$ , т. е. [4]

$$t_{ск} = \frac{l_{щ}}{v_{ск}} \quad (1)$$

В современных ПАФА скорость сканирования  $V_{ск}$  изменяется от 30 до 700 см/с, а ширина щели  $l_{щ}$  от 1 до 10 мм; в соответствии с этим величина выдержки изменяется в очень широких пределах – от 1/30 до 1/15000 с..[4]

Оптическая ось объектива аэрофотоаппаратного комплекса при панорамном фотографировании исследуемой территории вращается вокруг проходящую через заднюю точку цилиндра, которая представлена в виде

узловой образующей – именно там и находится фото пленка аппарата. Механизм установки представлен на рисунке 9. Важной деталью является положение оси узловой точки под углом 90 градусов по отношению к линии направления полета, а величина фокусного расстояния определяется радиусом цилиндра и равна ему. Реализация аэрофотоснимка осуществляется посредством перемещения щели по длине пленки и ее показом. Выходным продуктом является прямоугольный снимок – кадр, но показ пленки происходит, как и в щелевом аэроснимке, последовательно и соизмеримо со скоростью вращения объектива. Результатом съемки является развернутый цилиндр аэрофотоснимка, длина кадра которого зависит от радиуса цилиндра.

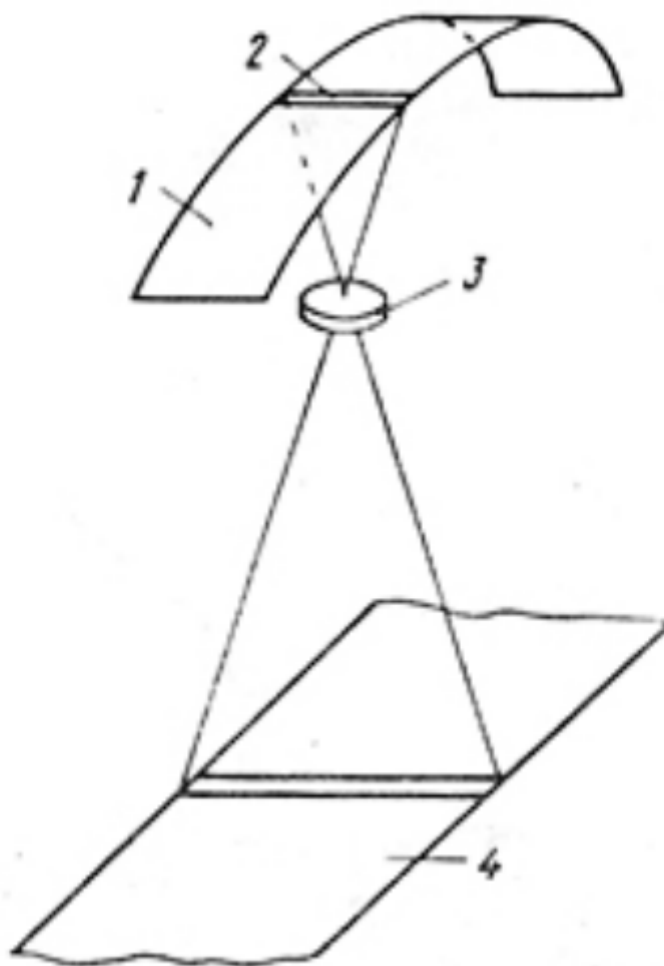


Рисунок 9 – Схема панорамного фотографирования:

1 – фотопленка; 2 – щель; 3 – объектив; 4 – участок местности.

Панорамные аэрофотоаппараты бывают прямого сканирования, осуществляемого вращением объектива, и косвенного сканирования,

осуществляемого вращением призм или зеркал, установленных перед объективом. [4]

Особенности панорамных аэрофотоаппаратов:

1. используется только центральная часть поля зрения объектива (минимизация искажение, поддержание высокого разрешения);
2. скорость поворота проектирующего пучка не зависит от путевой скорости, поэтому панорамную съемку легко производить с любого летательного аппарата;
3. угол панорамной съемки - 140-180°;
4. нет нужды в точном сопоставлении поворота проектируемого пучка и движения самой пленки вокруг цилиндра, если способ сканирования – прямой;
5. аэрофильм, который получается посредством ПАФА, очень удобен для рассматривания, но для определения координат потребуется длительная обработка;
6. показ снимка сопровождается перемещением частей АФА – это порождает неполноценной координатной точностью снимков, которую сложно регулировать, поэтому панорамная аэрофотосъемка не подходит для картографирования.

Нефотографические виды съемки

Нефотографические виды съемки сильно отличаются от привычного нам фотографирования местности, не включает в себя соответственно прямого фотографического проецирования. Необходимость в более глубоком, направленном на качества территории, анализе породило создание такого дистанционного зондирования земли, которое не требует результата в виде кадровых фотографий.

При этом спектр задач, которые может выполнить нефотографическая установка, узок. Важным условием получаемого результата является его обязательная востребованность и точность полученных данных.

Нефотографические виды съемки:

1. тепловая;
2. инфракрасная;
3. микроволновая;
4. телевизионная;
5. радиолокационная;
6. лазерная. [5]

### Тепловые съемки

Съемка на основе термодинамических процессов, отражаемых в кадре, основана на обнаружении тепловых аномалий. Поэтому специализация такой съемки основывается на анализировании трубопроводных путей – их гидрогеологических и геодинамических процессов, которые связаны с переувлажнением почвы над путями, переносом тепла – порождает таяние мерзлоты, заболачивание и т.д.

Поэтому анализ Земной поверхности территории проводится в период заморозков, когда наиболее различим контраст между открытой почвой и снежным покровом.

Тепловые снимки не базируются на радиационной температуре – их уникальностью является отображение контрастов энергитической яркости объектов, отображение которой зависит от времени суток, сезона, географического положения, рельефа местности, метеорологических условий, характеристик подстилающей поверхности (альbedo и теплофизические характеристики).[5]

Обрабатывая материалы цветовой съемки, применяют дискретное цветовое кодирование, устранение общего фона, повышение контраста, создание четких краев изображения, и др..[5]

### Инфракрасная съемка



Электромагнитные излучения разделяются на спектры разных длин волн по диапазонам. Инфракрасное излучение является частью спектрального разделения электромагнитного излучения. Для получения ИК-кадров разработана специальная аппаратура, действие которой базируется на термальной чувствительности, вплоть до  $0,1-0,5^{\circ}\text{C}$ , что позволяет зафиксировать даже минимальные температурные контрасты. Так как геометрическое разрешение =  $0,001$  от высоты полета, то тепловая съемка из космоса позволяет определять объекты большей величины, нежели съемка из атмосферы Земли с вертолетов и самолетов.[5]

Отечественные ИК-сканеры (тепловизоры) различных модификаций, отраженных в таблице 7, и их современные аналоги в таблице 6.

Вид ИК-сканера	Модификация
Тепловизор "Вулкан" (Россия)	Для воздушных съемок. Обладает высоким пространственным разрешением, большим углом обзора, позволяет получать детальные, высококачественные тепловые изображения
Четырехканальный инфракрасный радиометр ИКРЧ-2	Для измерения радиационной температуры, в диапазонах 3-5, 8-10, 10-12 и 8-12 мкм, ПЗ - 3 град., пороговая чувствительность ОДК
Тепловизоры фирмы "АГЕМА" (Швеция)	Достоинствами тепловизоров являются: визуализация теплового изображения в реальном времени, возможность магнитной записи и обработки изображений, портативность, малое энергопотребление и высокая надежность
Новыми являются тепловизоры серии THERMOVISION ( THV) модели 450, 470, 487, 489, 1000.	Термочувствительность приборов - 0,1°С при 30°С (у THV -489 - 0,08°С). Спектральный диапазон 2-5 и 8-12 мкм. Достоинством тепловизоров THV является термоэлектрическое охлаждение приемника излучения
Радиометр типа М-897 фирмы "МАТРА" (Франция).	Для съемки одновременно в шести спектральных интервалах видимой (четыре канала в полосе 0,4-1,1 мкм) и инфракрасной области (два канала 2-5 и 8-13 мкм) электромагнитного спектра отраженного и собственного излучения поверхности земли

Таблица 6 – Качественные характеристики ИК-сканеров

Вид ИК-сканера	Модификация
Сканер К	Для плановой съемки в диапазоне 3-5 мкм, поле зрения (ПЗ) - 120 град., мгновенное поле зрения (МПЗ) - 10 мин.;
Сканер М1	Для плановой съемки в диапазоне 8-14 мкм, ПЗ -120 или 60 град., МПЗ - 9 или 3,5 мин., соответственно;
Сканер М2	Для плановой съемки в диапазоне 8-14 мкм, ПЗ -120 град., МПЗ - 6 мин.;
Сканер С	Для плановой съемки высокого разрешения, ПЗ - 5 град., МПЗ - 20 с.

Таблица 7 – Качественные характеристики отечественных ИК-сканеров.

#### Микроволновая съемка

У Земли есть радиотепловое излучение поверхности, как у антропогенных территорий и котловин, покрытых водой. Интенсивность и поляризация РТ излучения находится в микроволновом диапазоне, а именно от 0,1 до 30 см. Поэтому существует возможность производить съемку при помощи радиометров, встроенных в самолеты, однако разрешающая способность такой съемки ниже той, что базируется на инфракрасном диапазоне, потому как интенсивность МВ-диапазона – ниже.

Самым главным объектом микроволновой съемки является многообразие почв. Микроволновые контрасты позволяют отчетливо выделить глины, торфяники, пески и т.д. Данные МВ-съемки позволяют составить карту с информацией о влагосодержании 5-6% и зонах недавно выпавших осадков до 4мм в режиме реального времени. Изменение метеорологических условий, смена дня и ночи – не являются преградой для проведения микроволновой съемки, по сравнению с инфракрасной съемки. Очевидным преимуществом микроволновой съемки является возможность зондирования через облачный покров.

Устройство, помогающее осуществить микроволновую съемку представляет собой радиометры, антенна которых направленная, с приемником, позволяющем в режиме реального времени производить отбор кадров и усиливать сигнал в зонах слабой навигации, детектором. Высота полета является главным фактором, определяющим качество разрешающей способности. Чем ниже пороговая чувствительность МВ-приемника, тем более подробной на выходе будет структура радиотепловых волн Земли. В настоящее время самой самой продуктивные устройства имеют пороговую чувствительность, равную  $0,1^\circ$ .

Чаще всего для использования рекомендуют радиометр «Дельта», который по своему устройству является многоканальным сверхвысокочастотным радиометрическим комплексом с пространственным или механическим сканированием антенного зеркала. Такая комплектация является стандартной при измерении теплового излучения атмосферного столба и Земной поверхности.[5]

Основные технические характеристики сканирующего радиометра "Дельта":

1. полоса обзора  $+0,8$  Н (Н - высота полета носителя); коническое сканирование с углом  $40^\circ$  (с учетом встречи луча с поверхностью  $50^\circ$ );
2. мгновенное поле зрения  $1^\circ$ ;
3. время сканирования (время одного полного скана) 1,5-2 с;
4. чувствительность 0,2 К.

Пространственное разрешение пассивного локатора, как, например, радиометр типа «Дельта», имеет пространственное разрешение ниже, чем у локатора активного действия. Это отражается на картографических аспектах снимка, а именно – геометрических границах, они более размытые, но несмотря на это обладает способностью оценки измерения собственного теплового излучения Земли. Возможно это потому как у каждого типа поверхности есть излучательные свойства и температура, которые пассивный локатор способен зафиксировать.

В зависимости от состава применяемой аппаратуры итоговая информация на выходе ИК- и МВ-системы представляется в виде:

1. ИК- или РТ-изображений на мониторе ТВ-типа;
2. непрерывных сигналов (например, с записью на фотопленку);
3. табличной информации;
4. цифровой информации.

Длина строки на местности (ширина полосы захвата) примерно равна высоте съемки.[5]

Радиометрические или инфракрасные тепловые изображения практически аналогичны тем, что получаются при аэрофотосъемке и расшифровывать их легко. Достаточно рассмотреть снимки – территории и объекты с повышенной температурой будут на негативах иметь повышенную оптическую плотность, а пониженную – на позитивах.

Тепловые изображения достаточно просто поддаются топографическому дешифрованию – определению номенклатуры участка Земли и соответствующего ему кадра. Рассматривая снимок, можно по оптической плотности определить величину теплового излучения. Объекты с повышенной оптической плотностью, и, соответственно с повышенной температурой, будут на негативах снимка, а объекты с наименьшей оптической плотностью и с пониженной температурой – на позитивах.

#### Телевизионная съемка

Изучение и документирование состояния трубопроводных гидротехнических сооружений является главным направлением высококачественной видеотелевизионной съемки. Осуществляется съемка с искусственных спутников Земли, применяется в узкоспециализированной области – контроль геодинамических процессов, локализованных в местах прокладки трасс трубопровода, с целью обнаружить аварийную ситуацию и произвести оценку причиненного ущерба.

Кадры ТВ-съемки поступают на наземные станции как в режиме реального времени, так и в формате отложенной записи (сохранение в базы данных и последующее их дешифрование при запросе). Чтобы изображения дошли до наземной станции, необходимо строго контролировать расстояние между станцией и летательным аппаратом – оно не должно превышать несколько тысяч километров. В случае хранения кадров без моментального использования производится магнитная запись видеосигнала, а когда искусственный спутник Земли вновь проходит в нескольких тысячах км от приемной станции = происходит быстрая транспортировка информации по радиоканалам. Электрические сигналы, которые при возможности передались на станцию, преобразуются в изображение или цифровую форму, а уже после этого данные накладываются на пленку.

Если производить телевизионную съемку с искусственных спутников Земли, то появляется возможность получения оперативных и регулярных изображений большого угла обзора на территорию. В основном масштабы ТВ-съемки находятся в диапазоне от 1:1000000 до 1:2500000. Если говорить о разрешающей способности изображений, получаемых с помощью телевизионной съемки, то она ниже, чем у космических фотоснимков.[5]

Как известно, аэрофотосъемка в большинстве случаев используется при оценке состояния трубопровода, но помимо этого ее уникальной особенностью является возможность применения результатов дешифрования в текущей работе по ремонту и эксплуатации трасс трубопровода.[5]

В камеральных условиях, т.е. в условиях текущей работы на местности, можно просматривать запись нужное количество раз. Также существует возможность покадрового режима просмотра, что позволяет воспроизводить анализ мелких деталей, создание фотографий монитора и при этом навести кадр на нужный участок трассы. Также при просмотре на телевизионном мониторе записей можно наложить на нее векторные данные, содержащие информацию о реперных точках или километраж проведенного трубопровода.[5]

Съемка трубопровода может производиться с любой частотой, необходимой заказчику, но не реже двух раз в году – так появляется возможность создавать хронометраж, который в дальнейшем можно применить для анализа процессов, зарождение которых было незаметным и не вызывало аварийных ситуаций.

В сравнении с аэрофотосъемкой, у телевизионной более низкая разрешающая способность, это создает трудности а изучении снимкой. Пока улучшить качество не удалось. Эта характеристика и является основным недостатком телевизионной съемки.[5]

Несмотря на то, что ТВ-съемка обладает низким разрешением, параметр съемки должен обеспечивать максимально возможную четкость проработки деталей, чтобы избежать смазывания изображения.

Малогобаритный телемонитор позволяет выполнять мониторинг текущей съемки, такая возможность оперативного просмотра уже записанных кадров способствует определению оптимальных съемочных технических условий, внесению корректировок в соответствии с обследуемой территорией.

### 1.2.2. Активные съемочные системы

#### Нефотографические съемочные системы

##### Радиолокационная съемка

Радиолокационная съемка (РЛС) является активным средством зондирования, основанным на использовании отражения зондирующих сигналов, излучаемых передатчиком РЛС от земной поверхности, и ведется в диапазоне 0,3-100 см (100 ГГц - 300 МГц).[5]

Обновление тематических и топографических карт возможно при использовании радиолокационной съемки. Этот вид съемки позволяет производить структурную оценку как водных объектов, так и суши – на основе этих данных можно определить номенклатурное местоположение и

тематическое направление будущей геологической карты (зоны подтопления, линии берегов водоемов, нарушенные участки трубопровода, создать оценку арктических льдов. Но главная особенность радиолокационной съемки – возможность оценки качества и состава почвы на глубине до двух метров – для таких работ используются РЛС-станции бокового обзора.

Также радиолокационная съемка является главным атрибутом в анализе рельефа местности, но перед тем, как получить такие данные, необходимо дешифровать снимки, т.к. положительные формы рельефа на исходном снимке искажены, а отрицательные представлены в виде пустого пятна.

Как любая система зондирования радиолокационная съемка имеет преимущества и недостатки, которые отражены в таблице 8.

Преимущества	Недостатки
1. независимость от метеорологических условий и времени суток 2. принципиальная независимость разрешающей способности на местности от расстояния до объектов 3. большая полоса захвата на местности (с малых высот) 4. возможность обнаружения всплывших трубопроводов по радиолокационным контрастам 5. возможность цифровой записи информации в момент съемок и ее передачи с борта носителя по каналу связи на значительные расстояния	1. более низкая разрешающая способность по сравнению с АФС 2. мелкий масштаб изображения 3. дисторсия изображения (отклонение оптических систем, при которой коэффициент линейного увеличения изменяется по мере удаления отображаемых предметов от оптической оси)

Таблица 8 – Преимущества и недостатки радиолокационных систем

Можно выделить основные дешифровочные признаки радиолокационных снимков, а именно: текстура рисунка изображения, тон и радиолокационная тень.



## Лазерная съемка

Лазерная съемка основана на свойствах лазера давать мощное излучение в узких зонах спектра.[5]

Лазерную съемку применяют в следующих случаях:

1. для поиска утечек продукта (при перекачивании);
2. для получения оценки загрязнения воздушного бассейна и местности;
3. для получения изображений поверхности местности (можно как в дневное время, так и в ночное);
4. для зондирования состояния дна и трубопроводов (при обследованиях подводных переходов). [5]

Лазер способен излучать мощное излучение в зонах слабого поглощения веществ, это является базисной характеристикой для обнаружения утечек жидкостей разной природы при перекачке. Специальные датчики регистрируют сигналы об аварийной ситуации, обнаруженной при сканировании местности.

В тех случаях, когда при помощи лазерных съемочных комплексов производится мониторинг донного пространства водоемов, подводных труб, на снимках фиксируется зеленая зона спектрального излучения. Глубина, на которой осуществляется лазерная съемка может достигать 45 м, результат зависит от характеристик лазерной съемочной установки – ее путевой скорости, частоты импульсов, мощности, а также состоянии вод в исследуемом водном объекте.

Для плановой лазерно-локационной съемки можно применять лазерный сканер (0,55 мкм), поле зрения 120 град., мгновенное поле зрения - 3,5 мин..[5]

Глава 2. Географические информационные системы. Quantum GIS.  
Метод оценки озеленения на основе вегетационного индекса NDVI и снимков спутниковых съёмочных систем Landsat

Информационное богатство теперь – главное преимущество крупных компаний. Обширные многоресурсные базы данных дают возможность быстро анализировать процессы и получать доступ к нужным материалам. Если говорить о тех предприятиях, деятельность которых связана с земными ресурсами или зависит от процессов, происходящих в определенной локации, то самым важным источником информации будут географические данные. Обработка, использование и поиск таких данных производится с помощью ГИС.

Геоинформационные системы (ГИС) - системы сбора, хранения, анализа и графической визуализации географических данных и связанной с ними информации о необходимых объектах. [6]

Чтобы наиболее качественно, эффективно и безопасно управлять работой геонаправленности, необходима оценка всех компонентов цепочки деятельности промышленности. Материалы исследуемых взаимосвязей подвергаются анализу с помощью географических информационных систем.

Данные системы включают в себя пространственные базы данных, редакторы растровой и векторной графики, различные средства пространственного анализа данных. Они могут применяться в картографии, метрологии, геологии, геодезии, землеустройстве, экономике и во многих других областях. К таким областям относится и экология.

Геоинформационные системы содержат множество технологий для обработки данных, следовательно позволяют синтезировать методы решения проблем и способствуют выстраиванию стратегии природопользования.

Широкий спектр применения геоинформационных систем делает их абсолютным и бесконкурентным лидером. Они позволяют решать логистические задачи, обеспечивают практически повсеместную навигацию,

постоянно используются при военных операциях, являются источником информации в области геологии, географии, топографии, биологии, ландшафтоведении и т.д..

## 2.1. Классификация ГИС

Классификацию ГИС можно произвести по следующим критериям: по функциональным возможностям, по архитектурному принципу построения, по территориальному (пространственному) охвату, по проблемной ориентации, по способу организации пространственных данных, по масштабу, по тематике. [11]

1. Классификация ГИС по функциональным возможностям представлена на схеме 5.

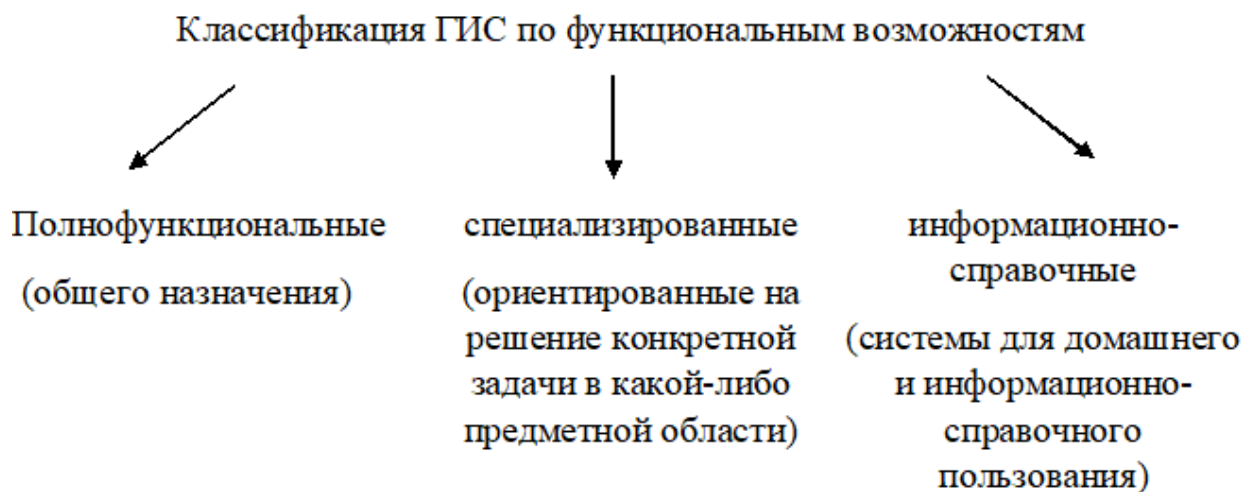


Схема 5 – Классификация ГИС по функциональным возможностям

2. Классификация ГИС по архитектурному принципу построения представлена на схеме 6.

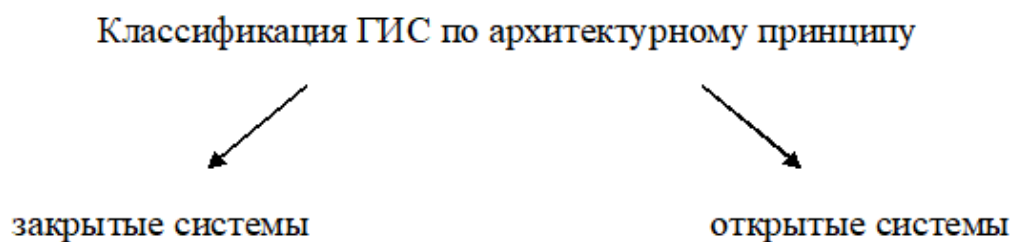


Схема 6 – Классификация ГИС по архитектурному принципу

Закрытые геоинформационные системы являются платными и, соответственно, не дают возможность расширить функциональные возможности. Работать можно только с тем набором операций, который предоставляется пользователю при покупке программного обеспечения. Незначительные изменения текущей задачи могут быть нерешаемыми, потому как у купленной ГИС просто нет такой функциональной возможности. По причине невозможности изменения закрытой геоинформационной системы она имеет короткий срок реализации и низкую стоимость.

Открытые геоинформационные системы, в отличие от закрытых, пользователь всегда может изменить под свои нужды. Такая особенность базируется на том, что открытые ГИС создаются на основе языков программирования, что позволяет человеку создать дополнительные функции, тем самым подстроив программу под себя. Благодаря возможности изменения открытой геоинформационной системы, она имеет большой срок реализации.

3. Классификация ГИС по масштабу представлена на схеме 7.

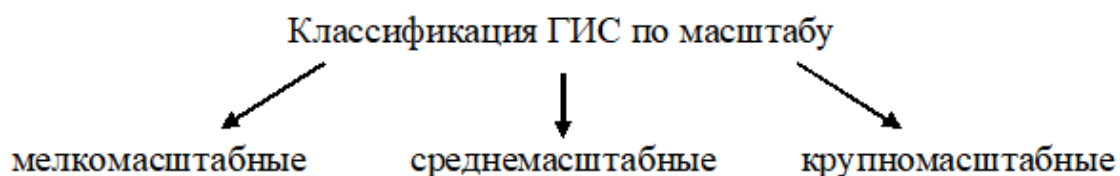


Схема 7 – Классификация ГИС по масштабу

4. Классификация ГИС по территориальному (пространственному) охвату представлена на схеме 8.

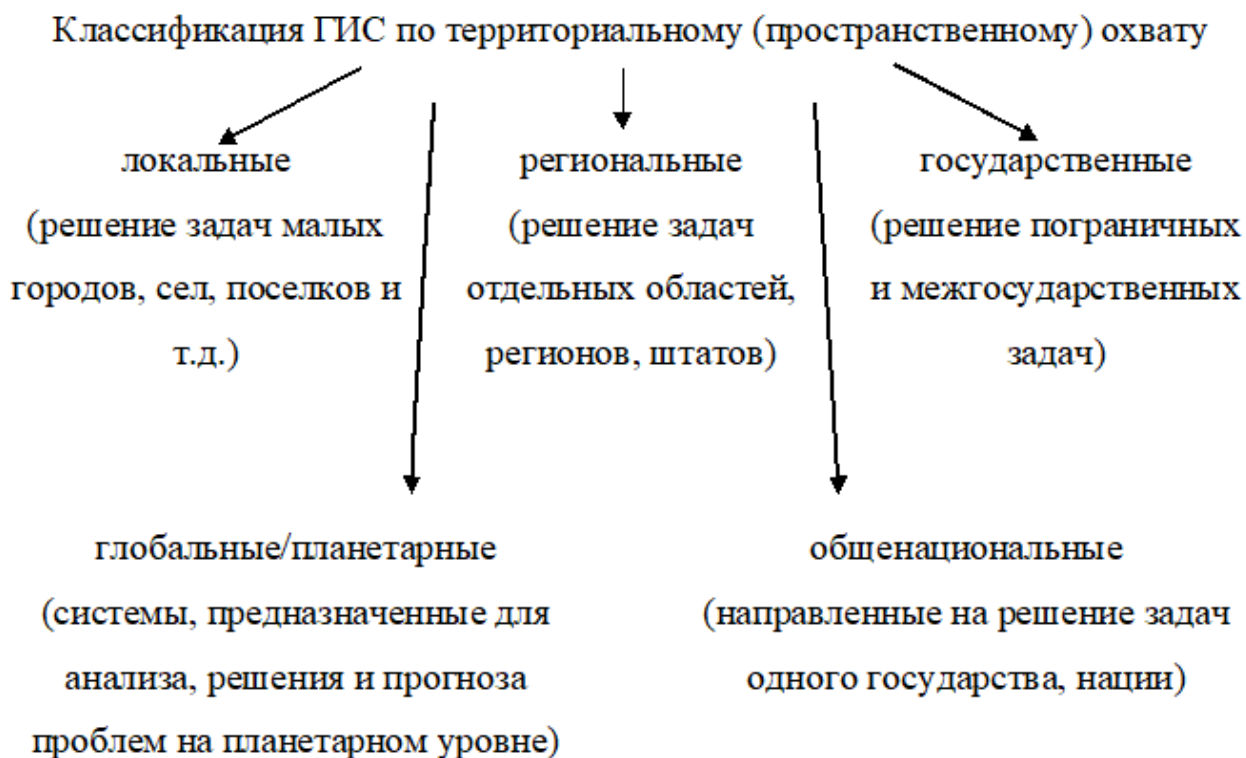


Схема 8 – Классификация ГИС по территориальному охвату

5. Классификация ГИС по тематике представлена на схеме 9.

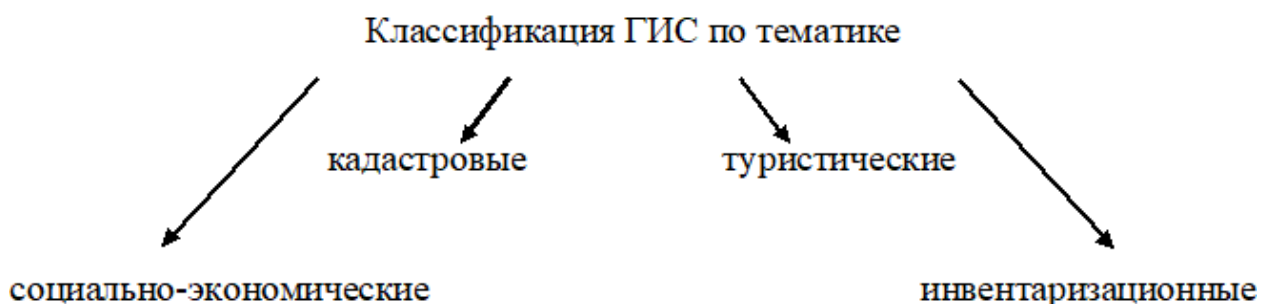


Схема 9 – Классификация ГИС по тематике

6. Классификация ГИС по проблемной ориентации представлена на схеме 10.



Схема 10 – Классификация ГИС по проблемной ориентации

7. Классификация ГИС по способу организации пространственных данных представлена на схеме 11.

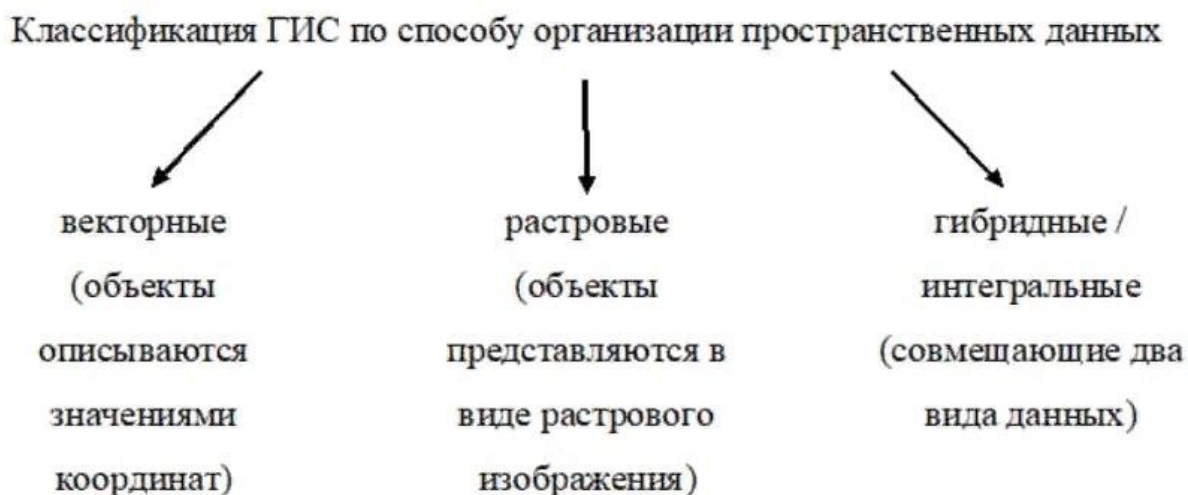


Схема 11 - Классификация ГИС по способу организации пространственных данных

## 2.2. Географическая информационная система QGIS

МНО (международная некоммерческая организация) Open Source Geospatial Foundation является лидером в создании программного обеспечения географической направленности. Она создает продукты, доступные повсеместно и для каждого. Эта организация создала уникальный, широкоизвестный открытый сервис QGIS в 2007 году.

Преимущества QGIS:

1. лицензионное условие General Public License обеспечивает бесплатное распространение, использование и копирование программного обеспечения QGIS;

2. свободный доступ к исходному коду программного обеспечения позволяет регулировать модификации для собственных целей или просто изучать устройство;

3. широкоизвестная геоинформационная система поддерживается группой разработчиков и постоянно модернизируется, что обеспечивает регулярное развитие разработки;

4. наличие документации для пользователей любого уровня – от обучающего курса для новичков до разработчиков QGIS на языке программирования Python;

5. способна функционировать практически на любом устройстве, поддерживать многообразие форматов данных, как загружаемых, так и выгружаемых, поддерживать огромное количество систем координат.

Хоть в самом начале пути эта геоинформационная система не давала больших надежд, а лишь использовалась в узких кругах для таблиц PostGIS, сейчас она абсолютно функционально и широкоспециализированная.

## Основные понятия

Векторные данные. Это данные, которые в электронном мире геоинформационных систем представлены в формате shape-файлов. Форма их – это точка, линия или полигон.

QGIS позволяет пользователям создавать векторные слои с формированием таблицы атрибутов и топологии для собственных нужд, а также преобразовывать атрибутивные данные в графический вид.

Векторные данные вносятся в программу посредством оцифровки перевода пользовательских материалов в цифровую форму.

Выделяют следующие методы цифрования:

1. с помощью специального устройства – дигитайзера;
2. с помощью манипулятора «мышь» с экрана монитора по растровому изображению.[13]

Выделяют три основных типа векторных данных: точка, линия и полигон.

Точка в QGIS – это географический объект с известными широтой и долготой.

Линия представляет с собой связанные друг с другом точки, т.е. расстояние от начальной точки до конечной не равно нулю.

Полигон – это площадь, ограниченная замкнутой линией.[13]

Топология отвечает за способность векторных объектов совместно существовать в пределах одного проекта, не нарушая при этом целостность карты и объектов на ней – точек, линий и полигонов. Топологические данные позволяют обнаружить ошибки цифрования и исправить их – это важно, потому что топологические ошибки нарушают отношения между объектами и прежде, чем проводить анализ векторных данных, необходимо эти ошибки исправить.[13]



### 2.3. Нормализованный относительный индекс вегетации растительности (NDVI)

Одним из самых распространенных индексов, использующих количественные оценки растительного покрова, является вегетационный индекс NDVI — это нормализованный относительный индекс вегетации растительности, количественный показатель фотосинтетически активной биомассы [14].

Метод расчета индекса основан на построении графического изображения, сложенного из спектральных каналов спутникового снимка и дальнейшего расчета всего оттеночного диапазона рассматриваемой карты, которая подвергается окрашиванию цветовой гаммы соответствующей по шкале величине индекса. Информация о соответствии типа поверхности определенной величине индекса представлена в таблице 9.[21]

NDVI	Тип покрытия
0,8 - 1,0	Очень мощная, густая растительность
0,6 - 0,8	Мощная густая растительность
0,4 - 0,6	Скудная и разреженная древесная растительность
0,2 - 0,4	Кустарники и травяной покров
0,1 - 0,2	Открытая почва
-0,2 - 0,1	Горные породы, песок, снег
-0,5 - -0,2	Водный объект
-0,5 - -1,0	Антропогенное покрытие
0	Облака

Таблица 9 – Зависимость величины NDVI от типа покрытия, зафиксированного на снимке

NDVI рассчитывается на основе снимков высокого, среднего или низкого разрешения, имеющих спектральные каналы в красном (0,55-0,75 мкм) и ближнем инфракрасном диапазоне (0,75-1,0 мкм). Для Landsat-5 используются 4 и 3 каналы, а для снимков Landsat-8 – 5 и 4 каналы.

Формула вычисления индекса NDVI (2):

$$\text{NDVI} = \frac{\text{NIR} - \text{RED}}{\text{NIR} + \text{RED}}, \quad (2)$$

где NIR - отражение в ближней инфракрасной области спектра, RED - отражение в красной области спектра.

Получаемые показатели индекса NDVI меняются в зависимости от плотности (сомкнутости) растительности и насыщенности растений хлорофиллом. После расчета индекса по вышеуказанной формуле результаты измерений находятся в диапазоне от -1 до 1.[17]

## 2.4. Landsat

Landsat – это серия спутниковых съемочных систем. Организация, существующая под тем же названием, ведет свою деятельность на протяжении 50 лет. За это время аппараты успели во много раз улучшить свои характеристики и увеличить спектр задач, которые можно решить посредством обработки и анализа снимков. Спутниковые фотоснимки с Landsat позволяют решить широкий спектр тематических задач, например, оценка зеленых насаждений, прогнозирование и контроль эрозии почв и т.д.

Наиболее актуальные спутниковые данные получают со спутника Landsat 8, американского спутника дистанционного зондирования Земли, восьмого в рамках программы Landsat (седьмой выведенный на орбиту). [15]

Landsat 1 (LS-1), ранее называвшийся ERTS-A и ERTS-1, был первым спутником программы США Landsat. Это была модифицированная версия метеорологического спутника Nimbus 4, запущенная 23 июля 1972 года ракетой Delta 900 с базы ВВС Ванденберг в Калифорнии.[16]

Landsat 2 - второй спутник программы Landsat. Первоначально космический аппарат носил обозначение ERTS-B (спутник технологии земных ресурсов B), но перед запуском 22 января 1975 года был переименован в "Landsat 2". Задача спутника заключалась в получении глобальных сезонных данных со средним разрешением от околополярная солнечно-синхронная орбита. Спутник, построенный General Electric, собирал данные с помощью

системы Return Beam Vidicon (RBV) и многоспектрального сканера (MSS). Несмотря на расчетный срок службы в один год, Landsat 2 проработал более семи лет, окончательно прекратив работу 25 февраля 1982 г..[16]

Landsat 3 - третий спутник программы Landsat. Он был запущен 5 марта 1978 года с основной целью создания глобального архива спутниковых изображений. В отличие от более поздних спутников Landsat, Landsat 3 управлялся исключительно NASA. Landsat 3 выведен из эксплуатации 7 сентября 1983 г., истек его проектный срок службы, составлявший один год. Данные, собранные во время эксплуатации Landsat 3, использовались 31 страной. Страны, которые не могут позволить себе иметь собственный спутник, могут использовать данные в целях сохранения окружающей среды и определения местонахождения природных ресурсов.

Landsat 4 - четвертый спутник программы Landsat. Он был запущен 16 июля 1982 года с основной целью предоставить глобальный архив спутниковых изображений. Хотя программа Landsat находится в ведении NASA, данные со спутника Landsat 4 были собраны и распространены Геологической службой США. Научные операции Landsat 4 закончились 14 декабря 1993 года, когда спутник потерял способность передавать научные данные, что намного превышает расчетную продолжительность жизни в пять лет. Спутниковая уборка телеметрия и слежение по-прежнему поддерживаются NASA, пока он не был выведен из эксплуатации на 15 июня 2001 года.[16]

Landsat 5 была низкой околоземной орбите спутник запущен 1 марта 1984 года для сбора изображений на поверхности с Земли. Являясь продолжением программы Landsat, Landsat 5 находился под совместным управлением Геологической службы США (USGS) и Национального управления по авиации и исследованию космического пространства (NASA). Данные со спутника Landsat 5 были собраны и распространены Центром наблюдения за ресурсами Земли и науки (EROS) Геологической службы США.[16]

Landsat 6, оснащенный модернизированными версиями приборов Landsat 5, был разработан для продолжения программы Landsat. Он был запущен 5 октября 1993 года ракетой-носителем Titan II, но на орбиту не вышел. В Landsat 6 отсутствовал мультиспектральный сканер, который был у его предшественников, но был реализован усовершенствованный тематический картограф, который улучшил предыдущий тематический картограф, добавив панхроматический диапазон с разрешением 15 м. [16]

Landsat 7 — седьмой спутник программы Landsat. Основная цель Landsat 7, запущенного 15 апреля 1999 года, — обновить глобальный архив спутниковых фотографий, предоставляя актуальные и безоблачные изображения. Программа Landsat управляется и управляется Геологической службой США, а данные с Landsat 7 собираются и распространяются Геологической службой США. Проект NASA WorldWind позволяет свободно перемещаться по 3D-изображениям с Landsat 7 и других источников и просматривать их под любым углом. Компаньон спутника, Earth Observing-1, отставал на одну минуту и следовал тем же орбитальным характеристикам, но в 2011 году его топливо закончилось, и орбита EO-1 начала ухудшаться. Landsat 7 был построен компанией Lockheed Martin Space Systems.[16]

В 2016 году NASA объявило о планах первой в истории дозаправки действующего спутника путем дозаправки Landsat 7 в 2020 году с помощью миссии OSAM-1. По состоянию на 2021 год дата запуска перенесена на 2025 год. [16]

NASA планирует вывести спутник из эксплуатации после запуска и активации Landsat 9 в 2021 году. [16]

Landsat 8 - американский спутник наблюдения Земли, запущенный 11 февраля 2013 года. Это восьмой спутник в программе Landsat; седьмой - успешно достигнет орбиты. Первоначально называемая Landsat Data Continuity Mission (LDCM), это сотрудничество между NASA и Геологической службой США (USGS). Центр космических полетов имени Годдарда NASA в Гринбелте, штат Мэриленд, обеспечил разработку, проектирование систем

миссии и приобретение ракеты-носителя, в то время как Геологическая служба США обеспечила разработку наземных систем и будет проводить текущие операции миссии с помощью оперативного наземного имидж-сканер (OLI) и тепловой инфракрасный датчик (TIRS), которые можно использовать для изучения температуры поверхности земли и для изучения глобального потепления. [16]

Landsat 8 получает изображения в видимом диапазоне волн, в ближнем ИК и в дальнем ИК, с разрешением снимков от 15 до 100 метров на точку. Производится съемка суши и полярных регионов. В сутки снимается порядка 400 сцен (у предыдущего Landsat-7 было всего 250 сцен в день). Снимки Landsat 8 находятся в открытом доступе на сайте NASA Earth Explorer.[15]

Глава 2. Анализ озеленения Крестовского острова с разницей в 10 лет. Применения индекса NDVI в графической форме для определения качественного состава растительность.

### 2.1. Общая информация об объекте

Объектом исследования выступил остров Крестовский, расположенный в дельте Невы, г. Санкт-Петербург. Относится к Петроградскому административному району, располагающемуся в западной части города.

Основную площадь острова занимает Приморский парк Победы. Его направленность является культурно-развлекательной, т.к. на территории парка расположен аттракционный комплекс «Диво остров».

Также на Крестовском острове находится главная спортивная площадка города, которая называется Zenit Арена. Недавно власти города отстроили новую станцию метро – Zenit. Причиной стала активность туристических поездок с целью участия в спортивно-развлекательных мероприятиях.

### 2.2. Особенности благоустройства о. Крестовский

В связи с развлекательным характером территории, расположением на ней большого парка и спортивной арены, власти города регулярно поддерживают состояние озелененной площади: контролируют высадку газонов при оскудении, заполняют отдельно отведенные площади цветами. Помимо этого, по данным комитета по благоустройству Санкт-Петербурга, ведется регулярная высадка саженцев деревьев.

За растениями, находящимися на острове, регулярно ухаживают посредством полива, стрижки кустарников, защиты деревьев от вредителей.

В целом, власти, по данным комитета, регулярно увеличивают площадь зеленых насаждений. Например, бетонная площадь, расположенная перед

Зенит Ареной была засажена газоном – часть бетонных плит убрали и заменили растительностью.

2.3. Оценка озеленения о. Крестовский с помощью открытой геоинформационной системы – Quantum GIS в 2011 и в 2021 г.

Для того, чтобы получить спутниковые снимки острова, потребовалось сформировать поисковой запрос на сайте Earth Explorer, который является источником хранения данных дистанционного зондирования Геологической службы США.

Доступ к снимкам открыт, существует возможность скачивания при регистрации.

Архив состоит из множества снимков спутниковых система разной направленности и даже частных аппаратных кадров.

Сайт позволяет выбрать период, за который необходимо воспроизвести поиск, координаты территории, которая должна быть на снимке, спутниковую съемочную систему, особенности снимка: процент облачности, разрешение и т.д..

При создании поискового запроса я производила поиск по спутниковым системам от Landsat 5 до Landsat 8, период – летний, июль месяц, годы 2021 и 2011.

Результатом поиска было некоторое количества снимков с разным процентом облачности и качеством изображения (например, снимки со спутника Landsat 7 оказались неподходящими – в 2008 году на съемочном комплексе произошла авария, которая повлияла на качество снимков, однако, спутник до сих пор активен, но 30% кадра невозможно дешифровать и использовать при анализе). Наиболее качественные снимки имели разрешение 30 м на пиксель.

Благодаря широкому спектру возможностей модулей QGIS, удалось повысить качество снимка Landsat 8 до 15 м на пиксель (GDAL – инструмент

повышения пространственного разрешения). Кадр со спутника Landsat 5 обработать не удалось, так как в 2011 году на спутнике не было возможности создавать панхроматические снимки с высокой светочувствительностью ко всему излучению. На рисунке 10 можно рассмотреть общий вид снимка, обработанный для пользовательского просмотра.



Рисунок 10 – спутниковый снимок Landsat 5 в обработанном формате.

После скачивания ZIP-архива с сайта Геологической службы США, мы получаем снимки (для Landsat 5 это 8 каналов, каждый из которых соответствует спектрам излучения, для Landsat 8 это уже 12 каналов), а также файлы с атрибутивными таблицами, но они в работе не понадобились.

Для того, чтобы полученные снимки отформатировать под свою цель, мне потребовалось;

1. Создание полигона исследуемого объекта – о. Крестовский, на основе границ карты Google Normal;
2. Обработка растровых изображений каналов для каждого спутника для получения нужной подложки под NDVI;
3. Наложение стиля на полученный растровый формат снимка (рисунок 11);



4. Обрезка снимка по маске полигона о. Крестовский;
5. Создание полигонов с зелеными насаждениями и распределением видов растительности;
6. Обработка результатов.

Рисунок 11 – Стилевая обработка спутникового снимка

#### 2.4. Обработка результатов

Первое, что удалось получить это спутниковые снимки Крестовского острова (для Landsat 5 использовались каналы 4 – красный и 3 – инфракрасный, а для Landsat 8 - 5 – красный и 4 – инфракрасный). Снимок за 28 июля 2011 года в обработке представлен на рисунке 12, а за 7 июля 2021 года – на рисунке 13.

**Спутниковый снимок о.Крестовский, 2011г.**



#### Условные обозначения

Спутниковый снимок

Канал 1 (Gray)

0,529412



-0,254902

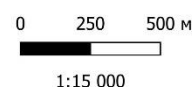
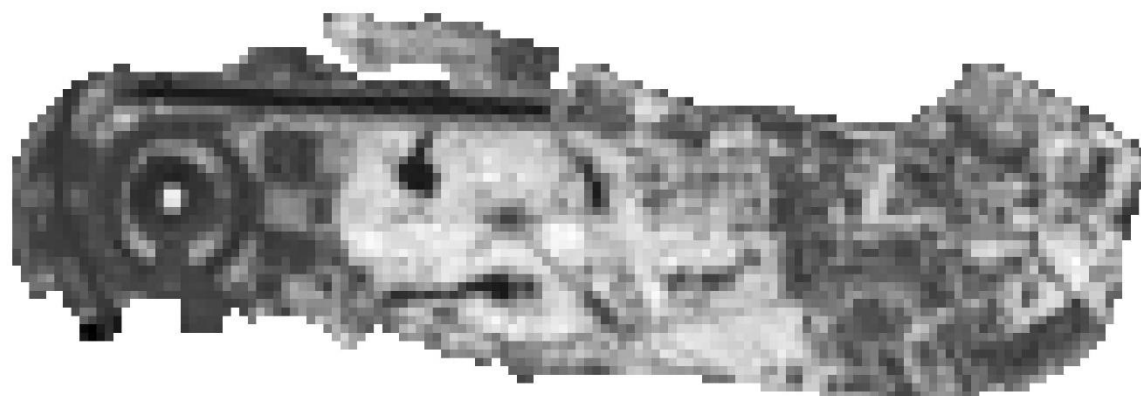


Рисунок 12 – Обработанный спутниковый снимок о. Крестовский, 2011

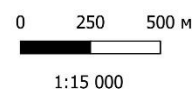
Г.

Спутниковый снимок о. Крестовский, 2021г.



**Условные обозначения**

Спутниковый снимок  
Канал 1 (Gray)



1:15 000

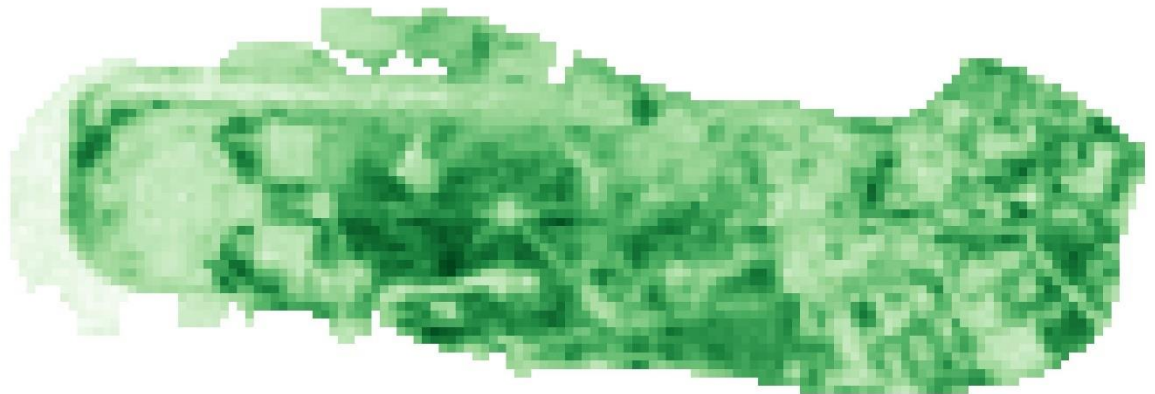
Рисунок 13 – Обработанный спутниковый снимок о. Крестовский, 2021 г.

Следующим этапом было наложение цвета, с помощью которого получилось выполнить следующие задачи;

1. Посчитать площадь озелененной территории острова;
2. Посчитать площадь разреженной древесной растительности;
3. Посчитать площадь кустарников и травяного покрова.

Итак, обработанные в цвете спутниковые снимки представлены на рисунках 14 и 15.

**NDVI расчёт, представленный в графическом изображении  
о.Крестовский, 2011г.**



**Условные обозначения**

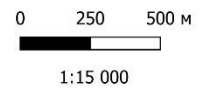
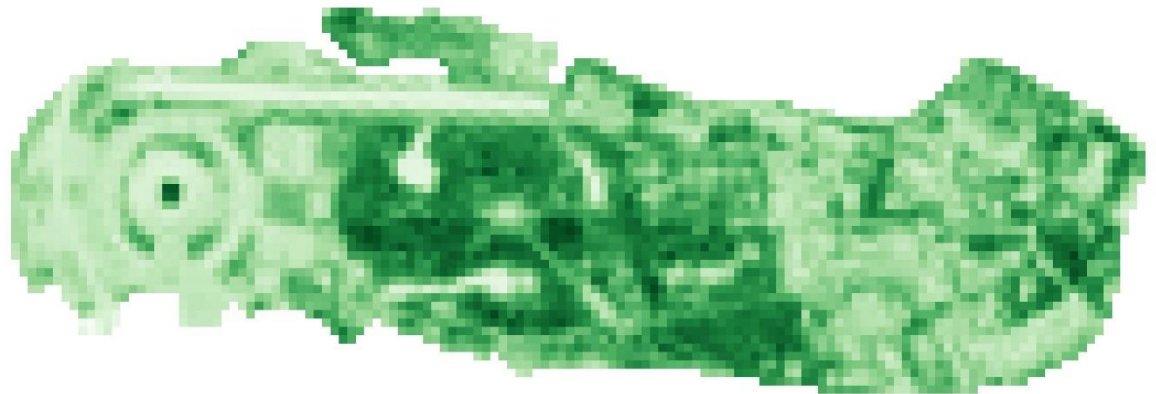


Рисунок 14 – NDVI расчёт, представленный в графическом изображении  
о. Крестовский, 2011г.

**NDVI расчёт, представленный в графическом изображении о.Крестовский, 2021г.**



**Условные обозначения**

**NDVI**

Канал 1 (Gray)

0,499444

-0,117893

0 250 500 м

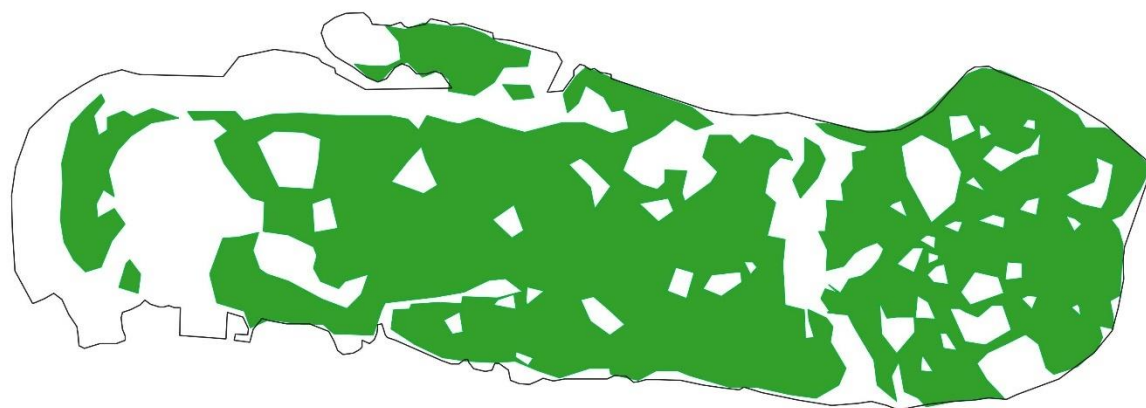


1:15 000

Рисунок 15 – NDVI расчёт, представленный в графическом изображении о. Крестовский, 2021 г.



На основе обработанных снимков были созданы векторные слои полигонов, которые позволили вычислить площадь зеленых насаждений исследуемой территории, результаты представлены на рисунках 16 и 17.

## Зелёные насаждения о.Крестовский, 2011г.



Общая площадь зелёных насаждений: 4,9 км<sup>2</sup>

### Условные обозначения

-  Крестовский остров
-  Зеленые насаждения

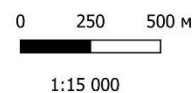


Рисунок 16 – Макет зеленых насаждений о. Крестовский, 2011 г.

## Зеленые насаждения о.Крестовский, 2021 г.



Рисунок 17 – Макет зеленых насаждений о. Крестовский, 2021 г.

Следующим этапом был качественный подсчет культур, составляющих зеленые насаждения территории. Нам потребовалось создать векторные слои и по подложке в виде графического изображения NDVI выделить полигоны с разреженной древесной растительностью, а затем, вычислив разницу с помощью инструмента QGIS (Вектор – Геообработка – Разница) было произведено вырезание из векторного слоя зеленых насаждения – векторного слоя разреженных древесных площадей, что позволило нам создать новый слой, на котором находились только кустарники и травяной покров, результаты можно увидеть на рисунках 18 и 19.

### Распределение разных типов зеленых насаждений о. Крестовский, 2011г.

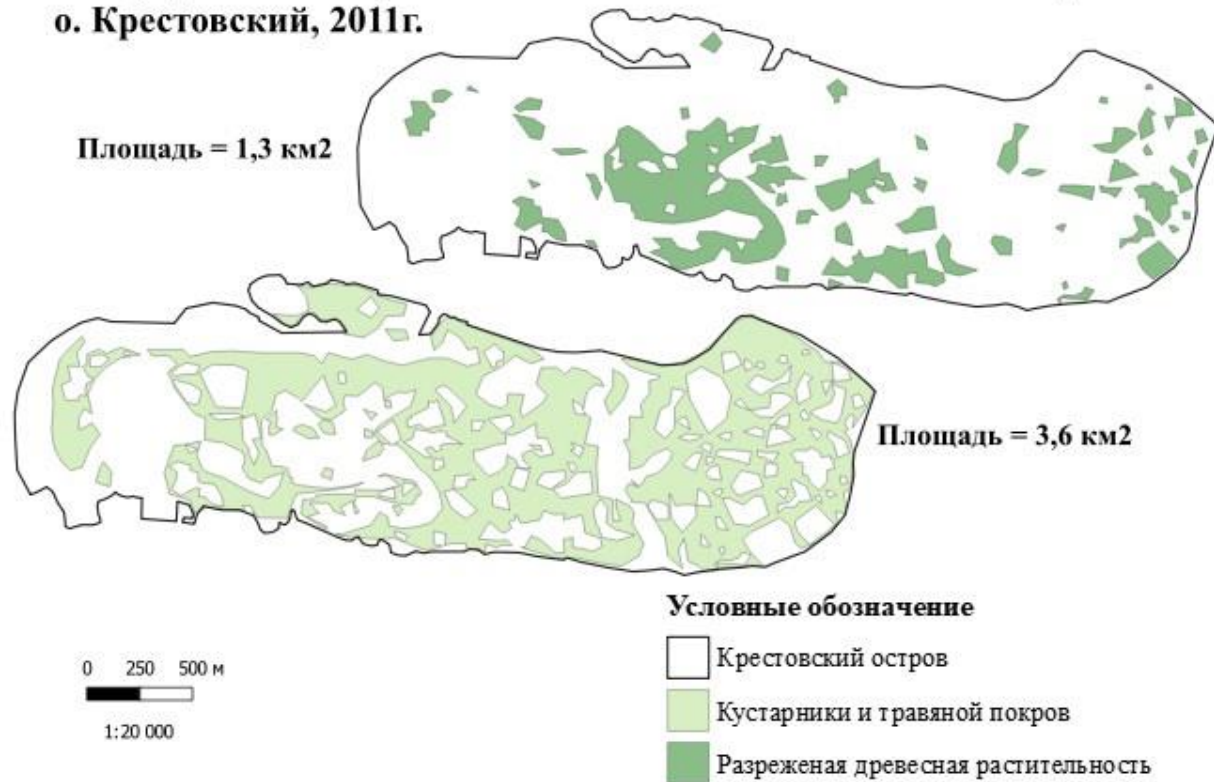


Рисунок 18 – Распределение разных типов зеленых насаждений о. Крестовский, 2011 г.

## Распределение разных типов зеленых насаждений о. Крестовский, 2011г.

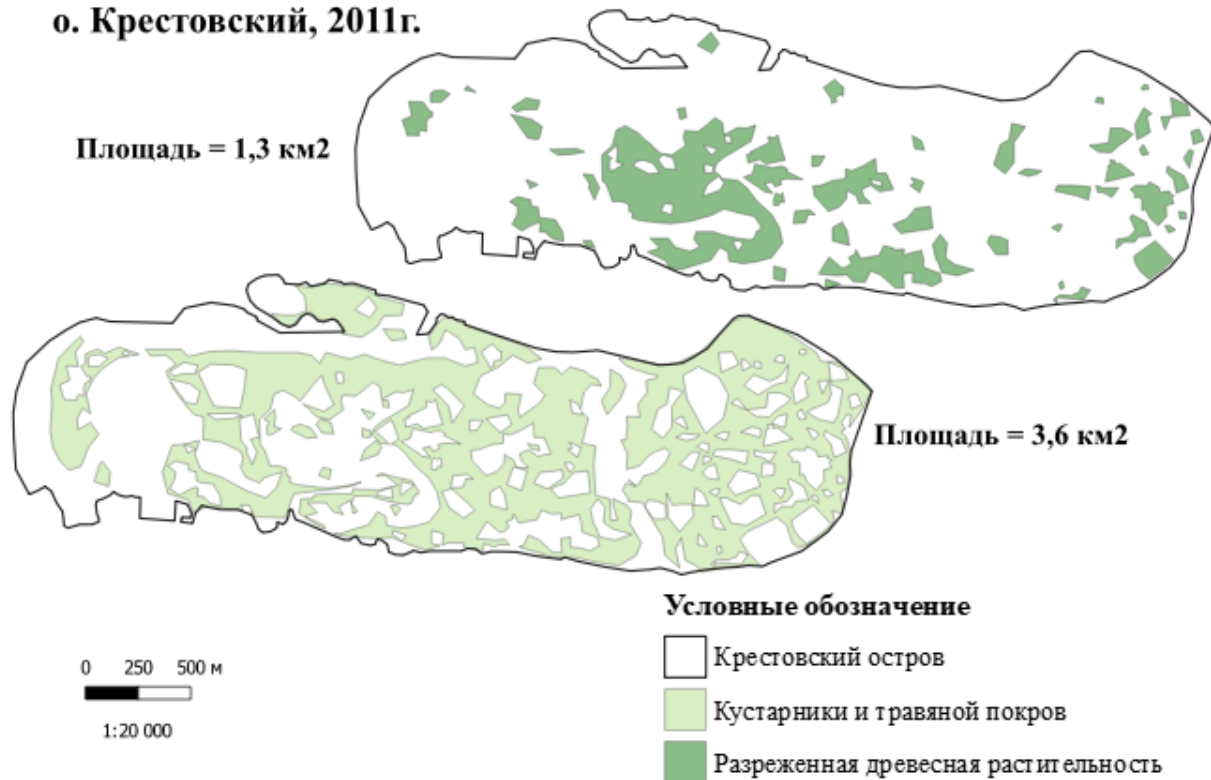


Рисунок 19 – Распределение разных видов зеленых насаждений о. Крестовский, 2021 г.

### 2.5. Анализ полученных результатов

Общая площадь зеленых насаждений в 2011 году составляла 4,9 км<sup>2</sup>. За 10 лет она уменьшилась на 0,8 км<sup>2</sup>.

Такого рода деградацию можно связать лишь с искусственными причинами.

Мы знаем, что основной деятельностью территории являются культурно – развлекательные мероприятия.

Постоянно растущий поток посетителей стал причиной необходимости создания новых торговых сувенирных и фаст-фуд точек повсеместно, а также увеличению количества аттракционов «Диво Острова». Известно, что парк развлечений располагается прямо на территории Приморского парка Победы,



следовательно для того, чтобы установить новый аттракцион необходимо занять часть территории, которая в парке является озелененной.

Именно вследствие мелких строительных мероприятий и произошло уменьшение площади зеленых насаждений на Крестовском острове.

Следующий объект рассмотрения – качественный состав растительности.

Разреженная древесная растительность сократилась с 1,3 км<sup>2</sup> до 1,1 км<sup>2</sup>, то есть на 200 м<sup>2</sup>.

Площадь, занимаемая кустарниками и травяным покровом в 2011 году составляла 3,6 км<sup>2</sup>, а к 2021 году уменьшилась на 600 м<sup>2</sup>.

Отсюда следует, что в основном застройка и организация новых аттракционов происходила на территории, занимаемой травяным покровом, однако 200 м<sup>2</sup> деревьев было вырублено, если обратится к макетам с территориальным распределением деревьев то мы обнаружим, что около 100 м<sup>2</sup> исчезло из парка из и столько же в прогулочно-городской зоны Крестовского острова.

## Заключение

Все науки о земле, например, геоморфология, география, геофизика, почвоведение, картография, геодезия, климатология, океанология и другие, основа на постоянных исследованиях Земли бесконечным многообразием методов, что позволяет открывать новые факты и создавать почву для дальнейших, более углубленных исследований, потому как чем больше знаний, тем больше появляется вопросов о тех или иных областях изучения.

В настоящее время очень востребованным и эффективным материалом для оценки земной поверхности (как ее поверхности, так и определенных глубин) являются данные, которые получают посредством дистанционного зондирования. Они позволяют производить мониторинг исследуемых территорий без физического присутствия там, а также дают возможность прогнозирования процессов, связанных с антропогенной деятельностью или природными катаклизмами, или производить оценку на основе многолетних данных, чтобы выявить причины формирования нынешней ситуации на территории и понять, как действовать дальше

С увеличением популярности дистанционного зондирования Земли, вырос спрос и на используемое техническое оборудование – появилась необходимость в его модернизации, с целью улучшения производительности, увеличения длительности полета, повышения разрешающей способности встроенной фотографической и нефотографической аппаратуры.

Принцип действия всех аэрокосмических комплексов базируется на отражательной способности земли и материалов объектов, на ней расположенных. Основной механизм заключается в способности поверхности поглощать, отражать или же рассеивать излучение; отраженное излучение считывается устройствами и переходит в цифровой формат. Современные спутники способны обрабатывать эту информацию, как только они ее получают, создавая интраспектральные и спектральные каналы каждого из

снимков, а затем отправлять обработанные данные на наземные станции для дальнейшей работы с ними.

Снимки из космоса могут быть представлены в различных форматах – панорамные снимки, которые создаются благодаря широкоугольной съемке оптической аппаратуры летательной станции, могут представлять собой сплошную пленочную запись, на которой отображается диагональ движения спутника по отношению к Земле. Помимо этого, существуют спутниковые системы, работа которых основана на термо-съемке или даже радио- и ТВ-волнах.

Также существуют и частные съемочные спутниковые системы компаний, которые они используют только в своих целях, есть искусственные спутники Земли, способные передавать информацию, которая впоследствии становится общедоступной.

Дальнейшая судьба снимков зависит от индивидуальных целей пользователя: государственные разработки, военное дело, оценка последствий выбросов на крупном предприятии, создание атласов разной направленности или написание научных трудов, например дипломной работы.

Чтобы обработать снимки ученые и разработчики создали ГИС – географические информационные системы, которые включают в себя инструменты для обработки снимков любого формата – от обычных фотографий, которые можно подгрузить из интернета с привязкой координат, до спутниковых снимков. Обработка материалов может производиться даже из дома, без необходимости посещения научного учреждения. Можно установить на компьютер открытую (с постоянно обновляющимися данными и инструментам) или закрытую (купленный окончательный набор профессиональных инструментов без возможности обновления).

Открытая геоинформационная система Quantum GIS стала главным инструментом в решении задач этой дипломной работы. Она позволила произвести форматирование снимков со спутников Landsat 5 и Landsat 8,

которые находятся в открытом доступе на сайте Геологической службы США – Earth Explorer.

После обработки снимки позволили проанализировать изменение территории, а именно растительного покрова Крестовского острова.

В ходе работы удалось выяснить, что за 10 лет (с 2011 по 2021 год) произошло уменьшение площади зеленых насаждений на исследуемом объекте на 800 м<sup>2</sup>.

Известно, что Крестовский остров – это спортивно-развлекательная территория города Санкт-Петербург. Из-за большого количества туристов территория острова была подстроена под их нужды – была произведена повсеместная установка фаст-фуд точек и сувенирных ларьков, а также расширение комплектации парка аттракционов «Диво остров».

Несмотря на то, что площадь зеленых насаждений уменьшилась, городские власти, а именно комитет по благоустройству Санкт-Петербурга, производит регулярный уход за озелененной территорией и контролирует качество насаждений,

В ходе работы мы смогли произвести оценку территории с помощью спутниковых данных дистанционного зондирования и их обработки в открытой географической информационной системе QGIS.

## Список использованных источников

1. Панасюк М.В., Сафиоллин Ф.Н., Логинов Н.А., Пудовик Е.М. Фотография, фотограмметрия и дистанционное зондирование Земли. Казань: Учебное пособие для студентов, 2018, 121 с.
2. Сутырина Е.Н. Дистанционное зондирование земли. Иркутск: Учебное пособие ИГУ, 2013 г., 165 с.
3. ФГБОУ ВПО «СГГА», Кафедра фотограмметрии и дистанционного зондирования. Конспект лекций. Новосибирск, 2012. – 99с.
4. Калинин А.А., Бондаренко А.М., Семенцов М.Н., Строгий Б.Н., Казачков И.А., Матвейкина Ж.В., Самойлова Т.Ф. Фотограмметрия и дистанционное зондирование. Зерноград: Учебное пособие Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО Донской ГАУ, 2017 г., 98 с.
5. Хренов Н.Н., Егурцов С.А., Ланчаков Г.А., Степаненко А.И. Методические рекомендации по применению аэрокосмических методов для диагностики трубопроводных геотехнических систем и мониторинга окружающей среды. Москва: Методическое пособие, 1995 г., 351 с.
6. Харыбин Т.А. Применение ГИС-технологий в решении проблем экологии. Кемерово: Учебное пособие КГТУ им.Т.Ф.Горбачева, 2016 г., 4 с.
7. Реймерс Н.Ф. Природопользование. Москва: Издание Мысль, 1990 г., 637 с.
8. Гельдыев Б.В., Максимов М.А., Шкурычев Д.С. Экологическая оценка природно-антропогенных систем с использованием ГИС и ДДЗ. Алматы: Научный журнал Терра, 2008 г., 45 с.
9. Андреев Д.Н. Экологическая оценка по данным спутниковых наблюдений. Пермь: Издание Пермь, 2010 г., 36 с.
10. Ципилева Т.А. Геоинформационные системы. Томск: Учебное пособие, 2004 г., 162 с.
11. Н.А. Кащенко, Е.В. Попов, А.В. Чечин Гинформационные системы. Нижний Новгород: Учебное пособие, 2012, 130 с.

12. Свидзинская Д. В., Бруй А. С. Основы QGIS. Киев: Методическое пособие, 2014 г., 83 с.
13. Шевелина И.В., Суслов А.В., Низаметдинов Н.Ф., Нуриев Д.Н. Создание цифровой базы данных при лесоустройстве на основе QGIS. Часть 2. Екатеринбург: Учебно-методическое пособие для выполнения практических работ, 2018 г., 31 с.
14. Геологической службы США (USGS - United States Geological Survey) [Электронный ресурс] URL: <https://earthexplorer.usgs.gov> (дата обращения: 06.06.2022) – Яз. Рус
15. Куртушин Н.А., Чупин С.Ю. Применение спутниковых данных Landsat в задачах дистанционного зондирования земли. Уфа: Краткий справочник, 2015 г., 5 с.
16. Всемирная Викимедиа. Спутниковая система Landsat [Электронный ресурс] URL: <https://www.hmong.press> (дата обращения: 08.06.2022)
17. Мнацаканян К.Н. Мониторинг изменения зеленых насаждений в пределах города Саратова по данным дистанционного зондирования Земли. Саратов: Статья. Учебное пособие СГУ им.Чернышевского, 2021 г., 363 с
18. Ожередова А.Ю. Поглотительная способность почвы. Ставрополь: Лекционный материал ФГБОУ ВО, 2012 г, 14 с.
19. Васильев И.Д., Новиков К.В. Основы радиометрии. Учебное пособие для юных геологов. Москва: Учебное пособие РГГРУ, 2009 г., 37 с.
20. Оробинский, В. С. Основы аэрофотогеодезии . Владимир: Учебное пособие ВГУ, 2005 г., 72 с.
21. Балабанов В.И., Беленков А.И., Березовский Е.В. Навигационные технологии в сельском хозяйстве. Координатное земледелие. Москва: Учебное пособие РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2013 г., 117 с.