

Санкт-Петербургский государственный университет

ГУМЕРОВ Айдар Флоритович

Выпускная квалификационная работа

Выявление региональных особенностей глобальных изменений природной среды на основе материалов спутниковой съёмки

Уровень образования: магистратура

Направление 05.04.03 «Картография и геоинформатика»

ВМ. 5523 «Геоинформационное картографирование»

Научный руководитель:

доцент, кафедра картографии и геоинформатики,

 к.т.н., Паниди Евгений Александрович

Рецензент: Главный специалист,

ЗАО «Агентство экологического консалтинга и

природоохранного проектирования»,

к. г. н., Солодов Алексей Анатольевич.

Санкт-Петербург

2021

Содержание

Введение.....	3
Глава 1. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ	5
1.1 Глобальные изменения природной среды и климата.....	5
Глава 2. ВЛИЯНИЕ ГЛОБАЛЬНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ НА ПРИРОДНУЮ СРЕДУ РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН.....	10
2.1. Краткая географическая характеристика территории Республики Башкортостан...	10
2.2. Изменения природной среды Республики Башкортостан.....	16
Глава 3. СПУТНИКОВАЯ СЪЕМКА ПРИ ИЗУЧЕНИИ ОСОБЕННОСТЕЙ ИЗМЕНЕНИЙ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ.....	19
3.1 Основы дистанционного зондирования Земли.....	19
3.2 Обзор работ по исследованию природной среды с использованием материалов спутниковой съемки.....	25
Глава 4. МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ДЛЯ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ И ВЫЯВЛЕНИЯ ИЗМЕНЕНИЙ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН НА ОСНОВЕ МАТЕРИАЛОВ СПУТНИКОВОЙ СЪЕМКИ.....	31
4.1 Ключевые участки и их характеристика.....	31
4.2 Данные дистанционного зондирования Земли, использованные в исследовании....	33
4.3 Метеорологические данные для исследования.....	35
4.4 Характеристика программных средств, использованных в работе.....	38
5. МОНИТОРИНГ И ВЫЯВЛЕНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН НА ОСНОВЕ МАТЕРИАЛОВ СПУТНИКОВОЙ СЪЕМКИ.....	43
5.1 Создание полигонов в QGIS.....	43
5.2 Разработка методики отбора данных ДЗЗ. Написание кода и обработка данных ДЗЗ в Google Earth Engine.....	45
5.3 Анализ полученных данных и выявление изменений.....	50
Заключение	63
Литература	65
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	71
ПРИЛОЖЕНИЕ А. Код для обработки данных дистанционного зондирования Земли.....	72

Введение

Актуальность темы. Современное состояние природной среды подвержено изменениям, что обусловлено природными и антропогенными факторами. Одним из методов исследования изменения природной среды – является мониторинг изменения природных условий. Мониторинг - это комплексная система наблюдений за состоянием окружающей среды, оценки и прогноза изменений ее состояния под воздействием природных и антропогенных факторов. Мониторинг предполагает процесс систематического или непрерывного сбора информации о параметрах окружающей среды для определения тенденций их изменения. Мониторинг можно проводить с помощью сети стационарных пунктов, однако наблюдения на отдельных точках или профилях не всегда отражают пространственные изменения. Поэтому использование аэро- и космических снимков является необходимым условием проведения регулярных наблюдений за современным состоянием систем. Сравнение их с результатами съемок, выполненных в прошлые годы, десятилетия позволяет точно выявить произошедшие изменения природной среды. Применение материалов спутниковой съемки при проведении мониторинга сводится к сопоставлению разновременных данных для выявления изменений в природной среде.

Цель работы: Разработать методику мониторинга природной среды (на примере лесных экосистем) с использованием материалов спутниковой съемки и апробировать её на примере ключевых участках, расположенных на территории Республики Башкортостан.

Задачи научно-исследовательской работы:

-Анализ изученности данного вопроса и актуальности данной темы, обзор литературы;

-описание географической характеристики территории Республики Башкортостан и природных особенностей ключевых участков исследования;

-подбор данных дистанционного зондирования Земли и метеорологических данных, а именно, информации по температуре воздуха и относительной влажности воздуха, как об одних из главных факторов, влияющих на состояний лесного покрова и в целом природной среды;

-разработка методики отбора и обработки данных дистанционного зондирования Земли с необходимыми параметрами, такие как: временной промежуток, местоположение объекта исследований, допустимый процент облачности и т.д.

-статистический анализ данных ДЗЗ, исследование динамики, изменений показателей NDVI и NDWI;

-статистический анализ данных метеостанций;
-сравнение, сопоставление данных ДЗЗ и наземных данных (данных метеостанций), анализ, выявление характерных изменений.

Объект исследования: объектом исследования являются современные изменения природной среды.

Предмет исследования: тенденции изменений природной среды в пределах изучаемой территории.

Научная новизна.

1. Разработана методика (путем написания кода в облачной платформе для геопространственного анализа Google Earth Engine), который позволяет сделать отбор и обработку данных дистанционного зондирования Земли, с учетом необходимых параметров (временной промежуток, местоположение объекта исследований, допустимый процент облачности).

2. Впервые, на изучаемую территорию, были рассчитаны средние значения NDVI и NDWI, индексы, дающие характеристики состояния растительного покрова (для летнего периода, с 1985 по 2020 гг.), проведен сравнительный анализ полученных значений индексов с данными близлежащих к ключевым участкам метеостанций, оценено влияние тенденций изменений метеорологических данных на данные NDVI и NDWI. Путем анализа полученных данных выявлены характерные изменения природной среды изучаемой территории.

1. ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ.

1.1 Глобальные изменения природной среды и климата

В настоящее время наблюдается значительное усиление изменений географической оболочки. Эти изменения видны во всех компонентах географической оболочки: в водной среде, в атмосфере, в почвенном покрове и т.д. Причинами данных изменений являются как естественные процессы, так и воздействие человеческой деятельности. Влияние человека заметно на всей планете. Практически везде можно обнаружить результаты человеческой деятельности. Это загрязнения вод, атмосферного воздуха, почвенного покрова, вырубка лесов и другие негативные воздействия. Вредные химические элементы, накапливаются во всех сферах, тем самым нарушая баланс в геохимическом круговороте элементов (Глобальные климатические изменения..., 2019).

Работы по исследованию и разработке моделей развития глобальных процесса, и их роли в изменении природных условий, тесно связана с изучением динамики природной среды, обусловленной влиянием изменения геофизических параметров Земли, гелиокосмических факторов, развития процессов тектонической и вулканической активности, глобальных тепловых условий изменения температуры и влажности, колебания объема льда, изменения уровня моря. (Глобальные климатические изменения..., 2019).

Многие явления за последние 200 лет стали необратимыми. С нарастанием экологического кризиса возникает необходимость полноценного анализа развития взаимодействия между природными и общественными процессами с целью определения дальнейших путей управления ими (Современные глобальные изменения..., 2012).

В 1980 году группа ученых учредила международную программу под названием Всемирная программа исследований климата (WCRP). Даная программа была создана с целью изучения воздействия человека на природную среду, климат, оценить степень влияния человечества и к каким последствиям это может привести. Спустя определенное время научное сообщество поняло, что климатические изменения могут привести к структурным изменениям и других компонентов географической оболочки. В 1987 году группа исследователей во главе с Бертом Болином и других ученых успешно выступили за организацию международной исследовательской программы по изучению глобальных изменений природной среды и климата. Эта программа является Международной программой геосферы-биосферы (IGBP). В программе

восемь проектов, исследующих различные части системы Земля и связи между ними (Современные глобальные изменения..., 2012).

IGBP, WCRP и Международная программа по человеческим измерениям по глобальному изменению окружающей среды (IHDP основанная в 1996 году), возглавил ориентир научной конференции, состоявшейся в Амстердаме в 2001 году конференции, вызовы меняющегося Земли: глобальные изменения Открытой научной конференции, привело к Амстердамская декларация, в которой говорилось: «Помимо угрозы значительного изменения климата, растет озабоченность по поводу постоянно увеличивающегося антропогенного изменения других аспектов глобальной окружающей среды и связанных с этим последствий для благосостояния людей. Основные товары и услуги, предоставляемые глобальные изменения все больше и больше влияют на планетарные системы жизнеобеспечения, такие как продукты питания, вода, чистый воздух и благоприятная для здоровья человека окружающая среда» (Эколого-географические последствия..., 2011).

Большинство стран имеют свои собственные программы, по изучение природной среды, по оценке влияния человеческой деятельности на климат. А после конференции в Амстердаме был создан еще одна программа, по изучению биоразнообразия – DIVERSITAS (Современные глобальные изменения..., 2012).

В ранние периоды, основными факторами влияния на географическую оболочку были процессы движения литосферных плит, извержения вулканов, падения космических тел, процессы, происходящие в Солнце и т.д. Мировым научным сообществом уже несколько десятилетий назад доказано, что нынешние изменения во многом обусловлены влиянием человека. Удовлетворяя свои потребности, человечество истощает различные виды ресурсов, загрязняет водные бассейны, выбрасывает в огромных количествах вредные химические элементы в атмосферу. Также происходит деградация земель, с каждым годом все меньше и меньше становится плодотворного слоя почвы, увеличивается содержание в почвах химических элементов, в результате применения удобрений, в целях повышения урожайности. В последние 200 с лишним лет произошли уменьшение рыбных запасов, изменения в океане, разрушение озонового слоя, загрязнения и другие крупномасштабные сдвиги (Эколого-географические последствия..., 2011).

Исследователи, которые занимаются изучение геосферы, биосферы, говорят, что вся географическая оболочка функционирует в таком состоянии, в котором она никогда не находилась. Изучение процессов, происходящих в ландшафтах, прошлых и настоящих, показали, что наша планета, уже давно не меняется, только под воздействие

естественных процессов (Эколого-географические последствия..., 2011).

Человечество всегда тем или иным образом оказывало влияние на природную среду. Особенно это усилилось, после того, как человек начал вести сельскохозяйственную деятельность. Небольшая человеческая популяция не оказывала большого влияния на географическую оболочку. Это влияние усилилось с началом промышленной революции. Далее изобретение процесса Габера-Боша в 1909 году, способствовал началу производства, применения различных удобрений в растениеводстве. Внесение удобрений привели к изменениям в процессах химического, биологического круговорота на Земле (Современные глобальные изменения..., 2012).

После Второй мировой войны процессы изменений природной среды начали усиливаться. С середины 20-го века до начала 21-го века, численность населения планеты увеличилось в 2 раза. В этот период происходят процессы глобализации. Произошло увеличение объемов мировой торговли, возникновение новых технологий, смена технологического уклада, произошли интеграционные процессы между экономиками. Увеличилась огромная потребность в воде, для различных нужд: для промышленности, для сельского хозяйства и т.д. Начали строиться крупные гидроэлектростанции. В самых крупных по численности населения государствах, в Индии и Китае, увеличение потребления воды особенно заметно. Все сильнее усиливались процессы урбанизации, к началу 21-го века численность городского населения стало больше численности сельского населения. В огромных количествах началось использование удобрений в сельском хозяйстве. Современное сельское хозяйство нуждается в больших количествах удобрений. Иначе могут снизиться урожайность, а это может негативно повлиять на обеспечение населения планеты продовольствием. (Глобальные климатические изменения..., 2019).

Все выше перечисленные изменения, оказывают огромное влияние на географическую оболочку Земли. Происходят процессы изменения химического состава атмосферы, увеличилась концентрация углерода, азота, метана и других элементов. Происходит процесс разрушения озонового слоя нашей планеты. Огромный ущерб нанесен по отношению к водным ресурсам, происходит увеличение объемов рыболовства. Также происходит загрязнение вод суши, морей и океанов, что приводит к гибели огромного количества обитателей водной среды. Все в больших количествах вырубаются леса, лесных ресурсов становится все меньше. Это также приводит к гибели живых организмов, обитающих в лесах, исчезновению целых видов. (Современные глобальные изменения..., 2012).

Факты говорят о том, что дальнейшее негативное воздействие на планету, может вывести её из состояния равновесия, баланса. Это может привести к очень негативным последствиям (Современные глобальные изменения..., 2012).

Процессы изменения природной среды, приводят к другим изменениям. Это изменения затрагивают политику, экономику, культуру, правовое поле. Изменения, которые происходят в глобальном масштабе, называются процессами глобализации. Глобализация началась с торговли на дальние расстояния и процессов урбанизации. Первые упоминания о торговых маршрутах на дальние расстояния относятся к третьему тысячелетию до нашей эры.

С началом промышленной революции, а особенно после Второй мировой войны процессы глобальной интеграции усилились. В это время, произошли структурные сдвиги в сфере транспорта, технологий и т.д. Теперь люди свободно перемещаются по планете, в огромных количествах поставляются товары в каждый уголок мира, благодаря сети «Интернет», люди стали ещё более связанными между собой. Эта новая глобальная взаимосвязь и свободный поток информации радикально изменили представления о других культурах, религиях, обычаях. Доступ к информации стал лучше, любой человек может выйти на связь с человеком из другой части планеты (Глобальные климатические изменения..., 2019).

Человеческая деятельность приводит к изменению в геохимических, в биохимических процессах. Без мер по разумному управлению природной средой, её физическими, химическими, биологическими и социальными компонентами, вероятно, может привести к негативным последствиям по отношению к природной среде. Одной из главных проблем является то, что несвоевременное принятие мер, может привести к структурным изменениям геосфер. Это повышение уровня Мирового Океана, полная вырубка лесов и т.д. (Глобальные климатические изменения..., 2019).

Научное сообщество говорит о том, что в последние десятилетия, структурные изменения усилились, и быстрые изменения в процессах динамики, функционирования геосистем, экосистем вопрос времени. Были определены потенциальные переломные моменты, и были предприняты попытки количественно определить пороговые значения. Но на сегодняшний день приложив максимум усилий, можно лишь определить слабо определенные «планетарные границы», за которыми существуют переломные точки, но их точное местоположение остается неуловимым (Глобальные климатические изменения..., 2019).

В рамках ООН существует несколько международных природоохранных конвенций, включая Рамочную конвенцию об изменении климата, Монреальский

протокол, Конвенцию по борьбе с опустыниванием и Конвенцию о биологическом разнообразии. Кроме того, в ООН есть два органа, отвечающих за координацию деятельности в области окружающей среды и развития: Программа Организации Объединенных Наций по окружающей среде (UNEP) и Программа развития Организации Объединенных Наций (UNDP) (Современные глобальные изменения..., 2012).

2. ВЛИЯНИЕ ГЛОБАЛЬНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ НА ПРИРОДНУЮ СРЕДУ РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН.

2.1. Краткая географическая характеристика территории Республики Башкортостан

Республика Башкортостан (РБ) расположена на Южном Урале и прилегающей к нему с запада части Восточно-Европейской равнины, называемой Предуральем. На востоке она занимает узкую возвышенно-равнинную полосу - Башкирское Зауралье. Площадь Республики 143,6 тыс. кв. км. или 0,8 % от общей площади страны (Атлас Республики Башкортостан, 2005).

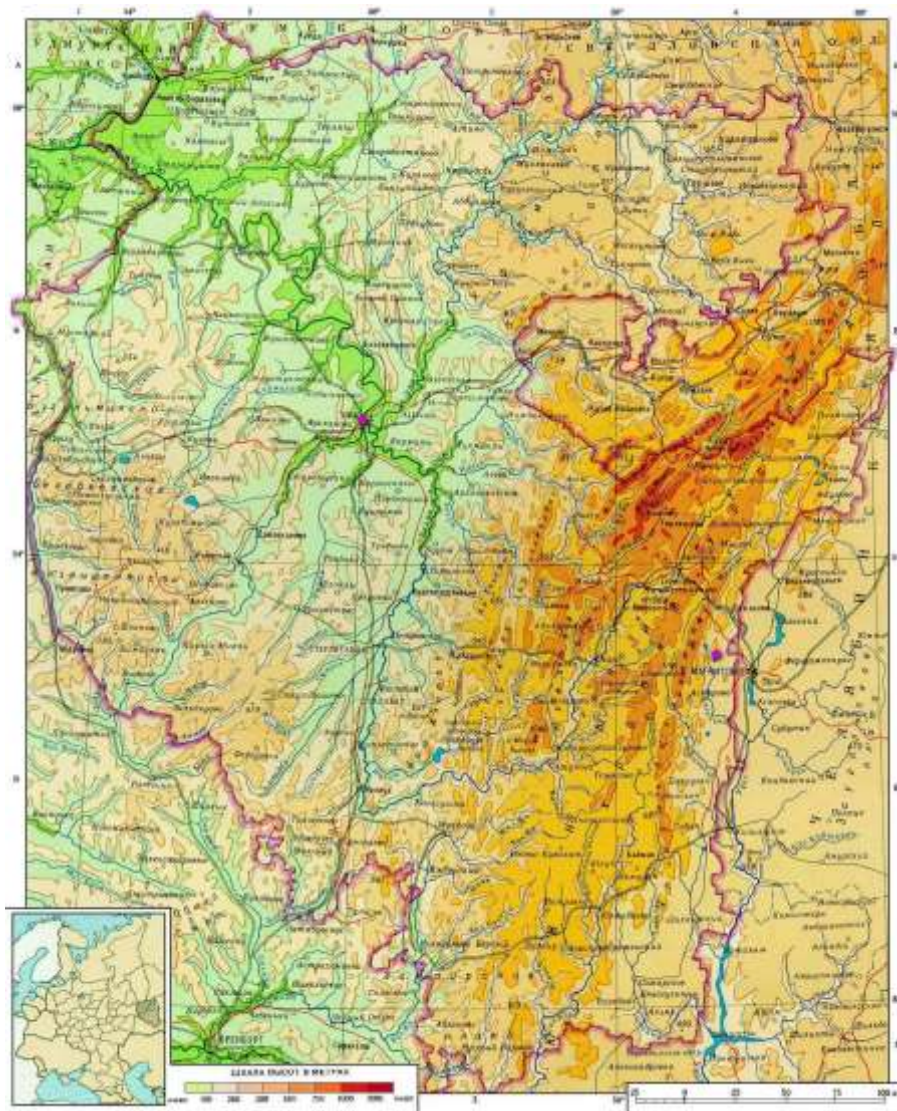


Рисунок 2.1 – Территория Республики Башкортостан (Атлас Республики Башкортостан, 2005).

Протяженность территории с севера на юг 550 км, с запада на восток - 450 км. Общая протяженность границ 2500 км. РБ расположена между 51° 31' с.ш. и 56° 25' с.ш., 53° 10' в.д. и 60° 00' в.д. (Атлас Республики Башкортостан, 2005).

На севере Башкортостан граничит с такими регионами как Пермский край и Свердловская область, на востоке - с Челябинской областью, на юго-востоке, юге и юго-западе - с Оренбургскими областями, на западе - с Республикой Татарстан, на северо-западе - с Удмуртской Республикой. (Южное Предуралье: география, геология, тектоника и геоморфология, 2016).

Башкортостан занимает достаточно большую часть Южного Урала, прилегающие к нему равнины Башкирского Предуралья и возвышенно-равнинную полосу Башкирского Зауралья. Башкортостан располагается в пределах четырех географических зон умеренного пояса: смешанных лесов, широколиственных лесов, лесостепной и степной зоны (Атлас Республики Башкортостан, 2005).

Характерное для региона разнообразие геологического строения и рельефа во многом таким фактором, как сложная тектоника. Здесь выделяют 5 крупных структурно-тектонических зон.

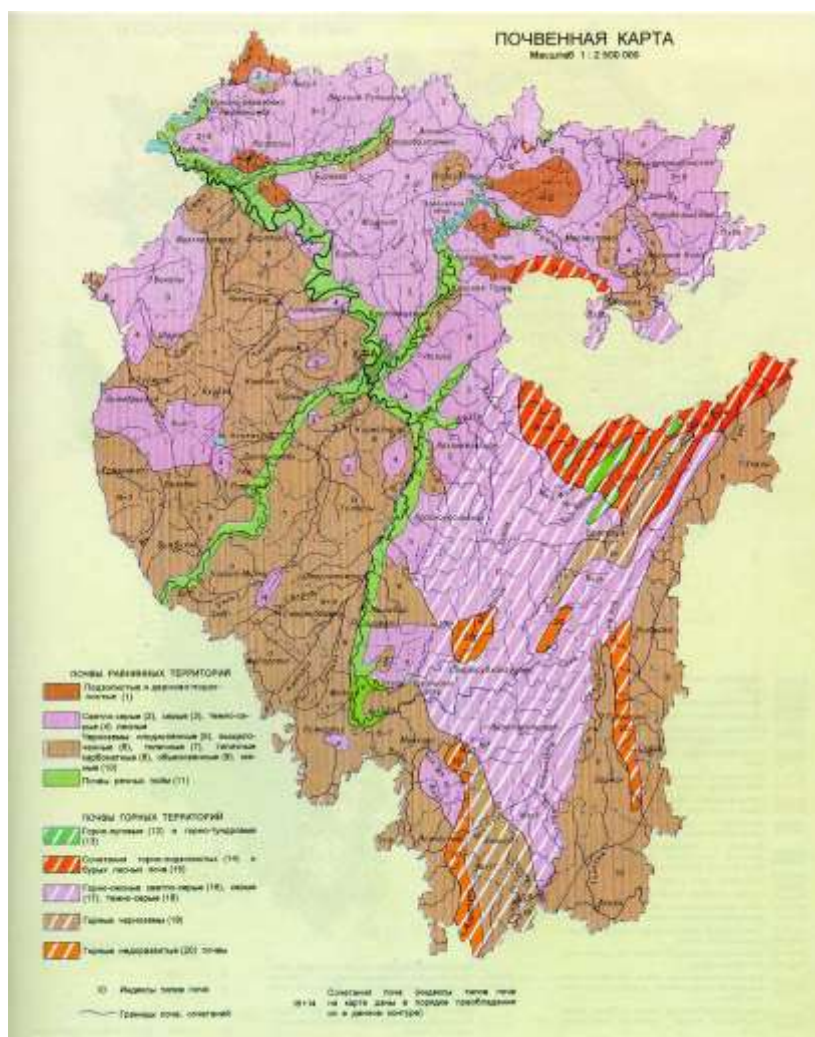


Рисунок 2.2 - Почвенная карта Республики Башкортостан (Атлас Республики Башкортостан, 1992).

Растительный и животный мир представляет собой пеструю смесь волжско-камских, уральских и сибирско-казахстанских видов.

Территория Башкортостана входит в пределы четырех географических зон умеренного пояса: смешанных лесов, широколиственных лесов, лесостепную и степную зоны (Атлас Республики Башкортостан, 2005).

Характерно, что эти зоны под влиянием рельефа отчетливо отклоняются от широтного направления, смещаясь далеко на юг, вследствие чего различия в почвенно-растительном покрове проявляются резче с запада на восток, чем при продвижении с севера на юг. Существенную роль в этом играют Уральские горы, которые протянулись широкой полосой от северной до южной границы Республики. Они определяют проникновение лесной зоны далеко на юг, в глубь лесостепей и степей (Атлас Республики Башкортостан, 2005).

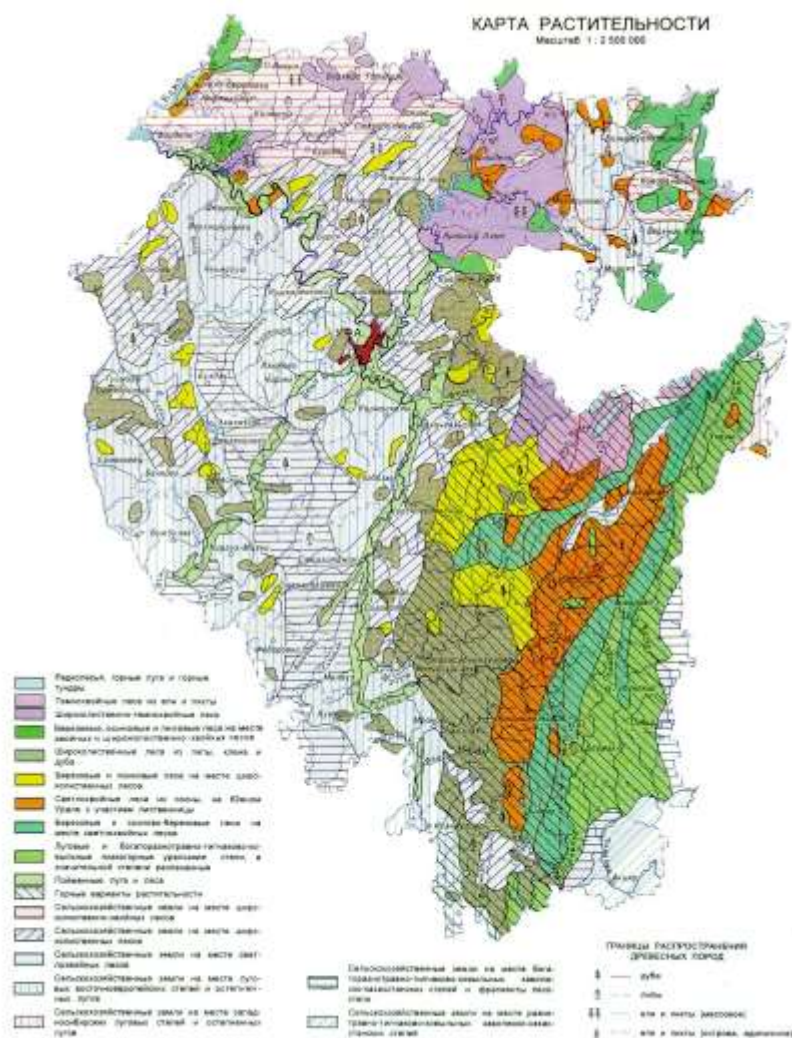
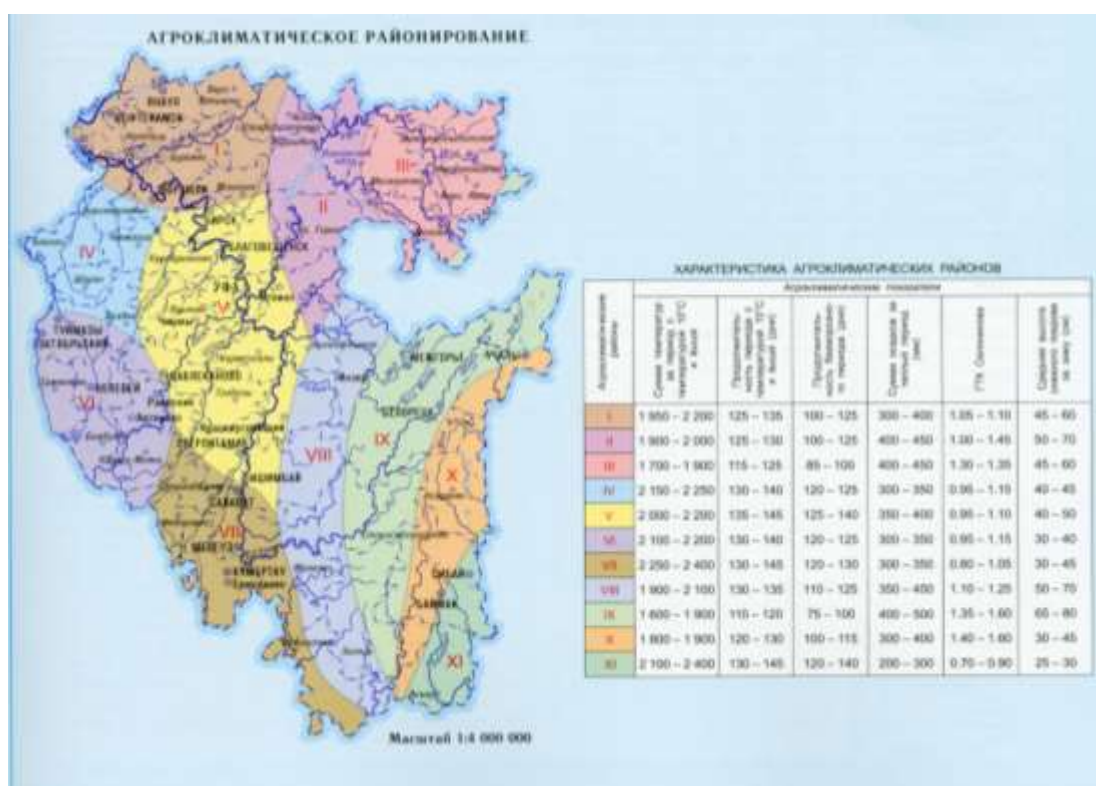


Рисунок 2.3 - Карта растительности Республики Башкортостан (Атлас Республики Башкортостан, 1992).

Территория Башкортостана расположена в глубине материка и воздушные

массы, формирующиеся над Атлантикой, поступают сюда измененными. Республика с севера широко открыта влиянию Ледовитого океана, с юга – влиянию засушливых регионов Казахстана и Прикаспийской низменности. (Атлас Республики Башкортостан, 2005).

Климат территории относится к выраженному засушливому типу со значительной годовой амплитудой температуры воздуха (35° - $36,4^{\circ}$), сухой продолжительной зимой, жарким летом и в целом небольшим (330-380 мм/год) количеством осадков. Сумма активных температур в северной части 1500 - 1800° , в южной 2000° - 2200° , продолжительность безморозного период 100-105 дней и до 120 соответственно (Южное Предуралье: география, геология, тектоника и геоморфология, 2016).



2.4 – Агроклиматическое районирование Республики Башкортостан (Атлас Республики Башкортостан, 2005).

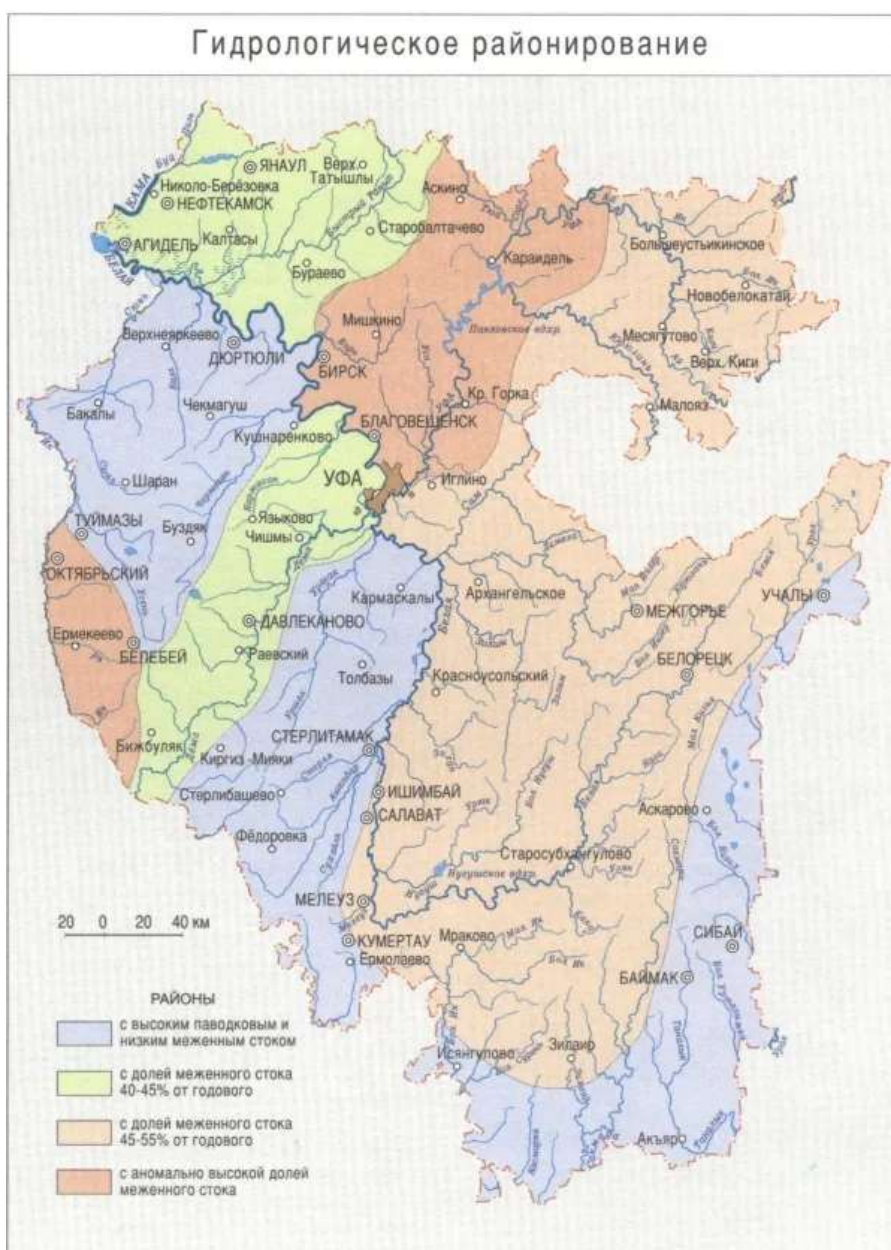
Находясь на стыке Европы и Азии, ее территория охватывает несколько существенно различающихся по геологическому строению зон: Восточную окраину Русской платформы, Предуральский краевой прогиб, Горный складчатый Урал и Зауралье. Каждой зоне соответствует свой богатый набор полезных ископаемых.

Территория Башкортостана расположена в пределах бассейнов рек Волги, Урала и Оби. Водные ресурсы Республики складываются из количества воды, поступающей из сопредельных территорий (Челябинской, Пермской, Свердловской,

Оренбургской областей и Республики Татарстан), а также ресурсов, формирующихся в пределах самой Республики (Южное Предуралье: география, геология, тектоника и геоморфология, 2016).

Водные ресурсы Республики Башкортостан выделяются неравномерностью распределения во времени и по территории. Основная часть годового стока – до 70% - приходится на весеннее половодье.

На территории Республики Башкортостан насчитывается около 13 тысяч рек общей протяженности которых составляет более 57 тыс. км. Основную часть из них (99,9 % по количеству и 87 % по протяженности) составляют реки длиной менее 100 км (Южное Предуралье: география, геология, тектоника и геоморфология, 2016).



2.5 – Гидрологическое районирование Республики Башкортостан (Атлас Республики Башкортостан, 1992).

Месторождения питьевых подземных вод на территории Республики распределены неравномерно. На отдельных участках они полностью отсутствуют.

Невысокая водообильность пород и не всегда приемлемое для питьевых целей качество подземных вод наиболее характерны для юго-восточной части Республики и в ряде случаев для центральных и северных районов. Основную часть запасов составляют месторождения в речных долинах рек Белая и Уфа (Южное Предуралье: география, геология, тектоника и геоморфология, 2016).



Рисунок 2.6 – Карта лесов Республики Башкортостан (Атлас Республики Башкортостан, 2005).

Лесами покрыто более одной трети территории Республики. Общая площадь земель лесного фонда Башкортостана составляет 6,3 млн. га. Леса по территории Республики размещены неравномерно, лесистость колеблется от 6-10% в юго-западных районах до 60-90% в восточных и северо-восточных районах Республики.

Животный мир в пределах территории Республики Башкортостан является

государственной собственностью, неотъемлемым элементом природной среды и биологического разнообразия Земли, возобновляющимся природным ресурсом, важным регулирующим и стабилизирующим компонентом биосферы, всемерно охраняемым и рационально используемым для удовлетворения духовных и материальных потребностей граждан Республики Башкортостан (Атлас Республики Башкортостан, 2005).

Республика Башкортостан отличается значительным многообразием животного мира. На ее территории зарегистрировано 76 видов млекопитающих, 296 видов птиц, 47 видов рыб, 9 видов пресмыкающихся, 10 видов земноводных, 15 тыс. видов насекомых, 276 видов пауков, 70 видов клещей, 121 вид моллюсков, 140 видов ракообразных, около 700 видов червей (Атлас Республики Башкортостан, 2005).

Из редких и исчезающих животных, занесенных в Красную книгу Республики Башкортостан, обитают 18 видов млекопитающих, 49 видов птиц, 7 видов рыб, 3 вида земноводных, 6 видов рептилий и 29 видов беспозвоночных животных, в том числе 28 видов насекомых. (Атлас Республики Башкортостан, 2005).

2.2 Изменения природной среды Республики Башкортостан

По данным метеорологических наблюдений в Республике Башкортостан за последние 30 лет среднегодовая температура воздуха повысилась на 0,7 градуса. Увеличение температуры характерно для всей планеты. За сто последних лет среднегодовая температура воздуха в России повысилась на 1,29 градуса Цельсия, в мировом масштабе – на 0,74. Также в республике возросло годовое количество осадков. При среднем уровне для региона 499 миллиметров в год, за последнее десятилетие он составил 502 мм (Галимова, 2020).

С процессами глобального потепления непосредственно связано возникновение опасных природных явлений, число которых в последние годы стабильно растет. Если в период с 1998 по 2005 год их количество в Башкирии колебалось от 5 до 11, то в 2010 году было отмечено 37, а в 2016-м – 34. Из общей суммы ущерба, наносимого неблагоприятными условиями погоды, на долю аграриев приходится 60%, на транспорт – 21,5%, коммунальное хозяйство и энергетику – 8,5%, на строительство – 7%, лесное хозяйство – примерно 3% (Галимова, 2020).

2010 год запомнился жителям Российской Федерации, засушливой погодой, которая продолжалась почти 2 месяца. Установление антициклона привело к негативным последствиям для сельского хозяйства. В Башкортостане была объявлена чрезвычайная ситуация. Показатели высоких температур наблюдались и в 2012 году. (Галимова, 2020).

Засушливые годы, и связанные с высокими температурами последствия наблюдались и в другие годы. В 2007 и 2014 гг, на северо-западе Республики прошли смерчи. Смерч 2007 года привел к повреждению лесного покрова. Смерч 2014 года имел более серьезные последствия. В Краснокамском, Янаульском и Калтасинском районах было повреждено 478 жилых домов, нарушилось газо- и электроснабжение. Ущерб от стихии составил около 200 млн рублей. По информации, которые выдают работники гидрометслужбы, такие изменения характерны для стран, находящихся в экваториальных и тропических зонах. Подобные смерчи, для наших широт являются аномальными. Возникновение таких опасных явлений, во многом связано с глобальными изменениями климата (Галимова, 2020).

Огромную угрозу представляют из себя экстремальные повышения уровней водоемов. Это паводки и полодья. Такое явление произошло в Башкирии в 2013 году, когда из-за обильных дождей в Абзелиловском и Белорецком районах в зону подтопления попало 1094 жилых дома, 13,5 км дорог и 14 мостов, а общая сумма ущерба превысила 250 млн. рублей (Галимова, 2020).

Стоит отметить, что для природной среды Республики Башкортостан, характерны и другие процессы, явления, которые происходят во всей географической оболочке. Каждый год, процессы деградации, эрозии приводят к уменьшению плодородного слоя почвы. Если 50 лет назад в пахотном слое республики содержание гумуса составляло 11-12% то сейчас снизилось до 7-8%, а критическим для черноземов считается снижение содержания гумуса до 2-3%. По оценке экспертов, почвенный кризис может наступить на территории Республики уже в ближайшие десятилетия. Наиболее тревожная ситуация складывается в Северной лесостепной зоне, где почвенный кризис может начаться уже через 10 лет (Галимова, 2020).

Серьезную угрозу для аграрного сектора несут и насекомые-вредители, которые в последние годы не погибают из-за теплых зим и быстро размножаются в жаркий весенне - летний период. Насекомые-вредители, оказывают негативное влияние на сельскохозяйственные культуры. Это касается, прежде всего, саранчи: ее распространение теперь достигает Кармаскалинского и Уфимского районов РБ, а в 2016 году из-за нашествия насекомых в 6 районах была объявлена чрезвычайная ситуация (Галимова, 2020).

Засушливые года негативно влияют и на состояние лесного фонда, вызывая рост пожароопасности. В 2010 году на территории республики было зарегистрировано 635 лесных пожаров, уничтоживших более тысячи гектаров лесов, в 2012 году произошло 243 возгорания, в которых было потеряно около 900 га лесфонда. Несколько

засушливых лет подряд ослабляют деревья, ведут к болезням, поражению паразитами и гибели насаждений. В 2013-2014 годах в Башкирии погибло соответственно 1,6 и 1,58 тысяч гектаров леса, что в полтора раза превысило потери от пожаров в период засухи (Галимова, 2020).

3. СПУТНИКОВАЯ СЪЕМКА ПРИ ИЗУЧЕНИИ ОСОБЕННОСТЕЙ ИЗМЕНЕНИЙ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ.

3.1 Основы дистанционного зондирования Земли

Космическая деятельность играет важную роль в процессе глобализации и информатизации мирового сообщества, решении многих социально-экономических проблем и научно-исследовательских задач, а также в обеспечении национальной безопасности. Использование космической техники помогает решать ряд актуальных проблем, в том числе оценивать и прогнозировать изменения состояния окружающей среды под воздействием природных и антропогенных факторов (Сутырина, 2013).

Дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ) — наблюдение поверхности Земли наземными, авиационными и космическими средствами, оснащёнными различными видами съёмочной аппаратуры. Рабочий диапазон длин волн, принимаемых съёмочной аппаратурой, составляет от долей микрометра (видимое оптическое излучение) до метров (радиоволны) (Сутырина, 2013).

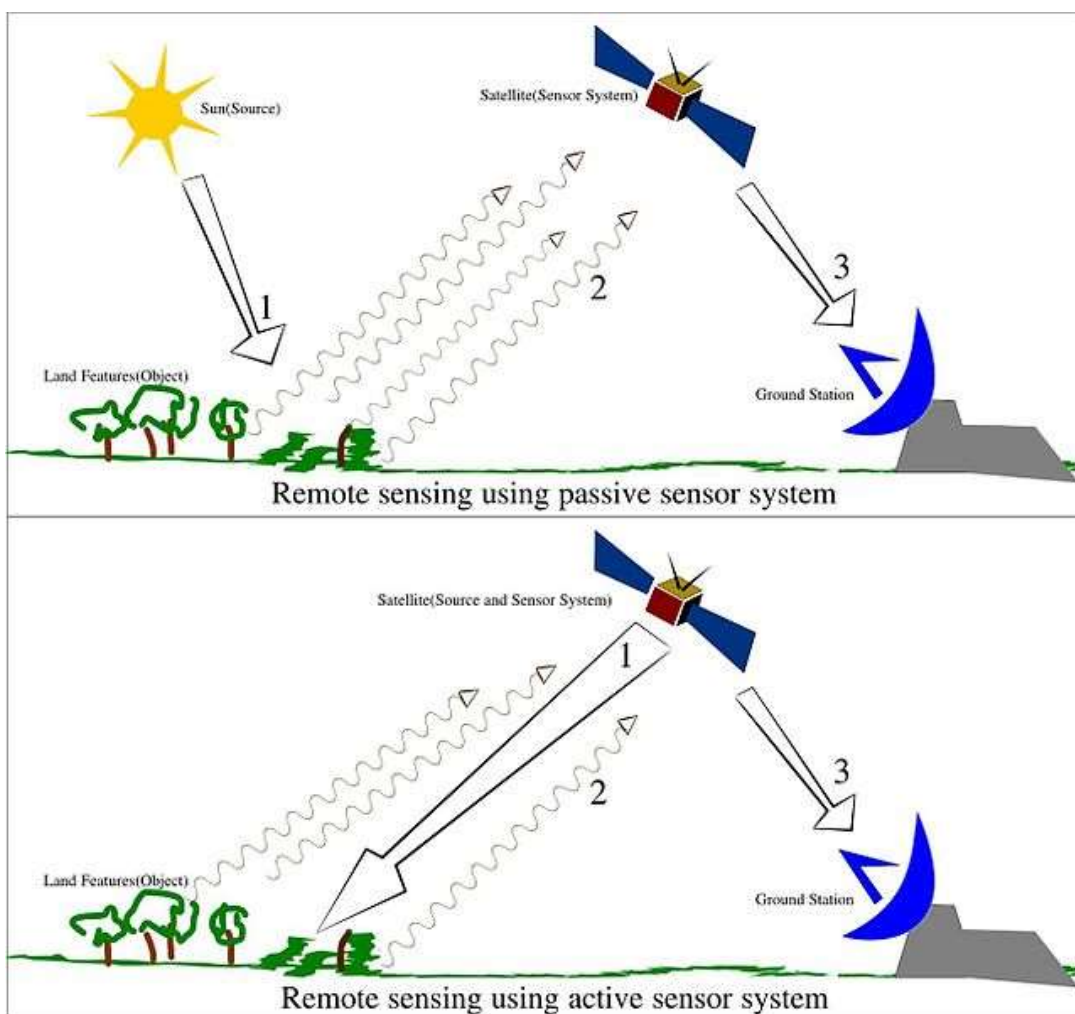


Рисунок 3.1 - Дистанционное зондирование Земли (NASA Earth data, 2020).

Методы зондирования могут быть пассивные, то есть использующие

естественное отраженное или вторичное тепловое излучение объектов на поверхности Земли, обусловленное солнечной активностью, и активные — использующие вынужденное излучение объектов, инициированное искусственным источником направленного действия. Данные ДЗЗ, полученные с космического аппарата (КА), характеризуются большой степенью зависимости от прозрачности атмосферы. Поэтому на КА используется многоканальное оборудование пассивного и активного типов, регистрирующее электромагнитное излучение в различных диапазонах (Сутырина, 2013).

Существует три основных типа орбит, на которых расположены спутники: полярные; неполярные, низкоорбитальные и геостационарные (Шовенгердт, 2010).

Спутники на полярной орбите расположены на орбите, наклоненной почти на 90 градусов к экваториальной плоскости. Этот наклон позволяет спутнику обнаруживать весь мир, включая полярные регионы, и обеспечивает наблюдение за местами, которые труднодоступны на Земле. Многие спутники на полярной орбите считаются солнечно-синхронными спутниками, что означает, что спутник проходит один и тот же цикл в одном и том же месте и в одно и то же солнечное время (Шовенгердт, 2010).

Полярные орбиты могут восходящими или нисходящими. На восходящей орбите спутники движутся с юга на север, когда их путь пересекает экватор. На нисходящей орбите спутники движутся с севера на Юг.

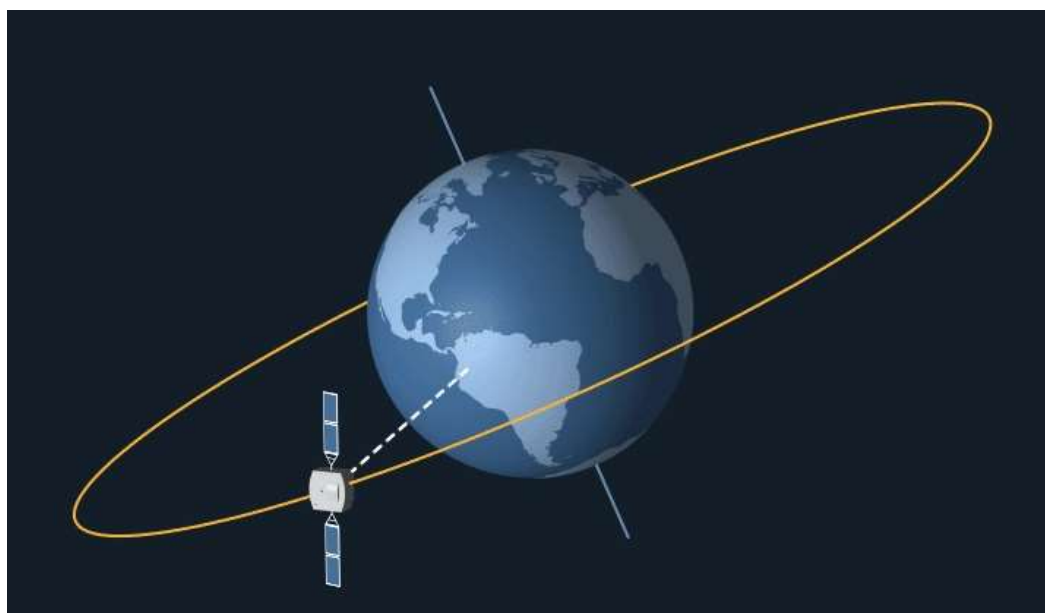


Рисунок 3.2 - Космический корабль на геостационарной орбите (NASA Earth data, 2020).

Неполярные, низкие околоземные орбиты, как правило, расположены на высоте менее 2000 миль над поверхностью Земли (для справки, международная космическая

станция вращается на высоте ~ 400 км.). Эти орбиты не обеспечивают глобального охвата, а охватывают только часть широт. Глобальная миссия по осадкам (GPM) является примером неполярного спутника на низкой околоземной орбите в диапазоне от 65 градусов северной широты до 65 градусов южной широты.

Геостационарные спутники наблюдают за вращением Земли и движутся с одинаковой скоростью; из-за этого спутники кажутся наблюдателю на Земле фиксированными в одном месте. Эти спутники захватывают один и тот же вид Земли каждый раз, когда они наблюдаются, что позволяет почти непрерывно охватывать область. Метеорологические спутники, такие как серия геостационарных спутников наблюдения за окружающей средой (GOES), являются примерами геостационарных спутников (Сутырина, 2013).

Электромагнитная энергия, генерируемая вибрацией заряженных частиц, распространяется по атмосфере и космический вакуум в виде волн. Эти волны имеют разные длины волн (расстояние от гребня до гребня) и частоты; более короткая длина волны означает более высокую частоту. Некоторые из них, такие как радио -, микроволновые и инфракрасные волны, имеют более длинную длину волны, в то время как другие, такие как ультрафиолетовые, рентгеновские и гамма-лучи, имеют гораздо более короткую длину волны. Видимый свет находится в центре этого диапазона, от длинноволнового до коротковолнового излучения. Эта небольшая часть энергии – все, что может распознать человеческий глаз. Приборы необходимы для обнаружения всех других форм электромагнитной энергии (Шовенгердт, 2010).

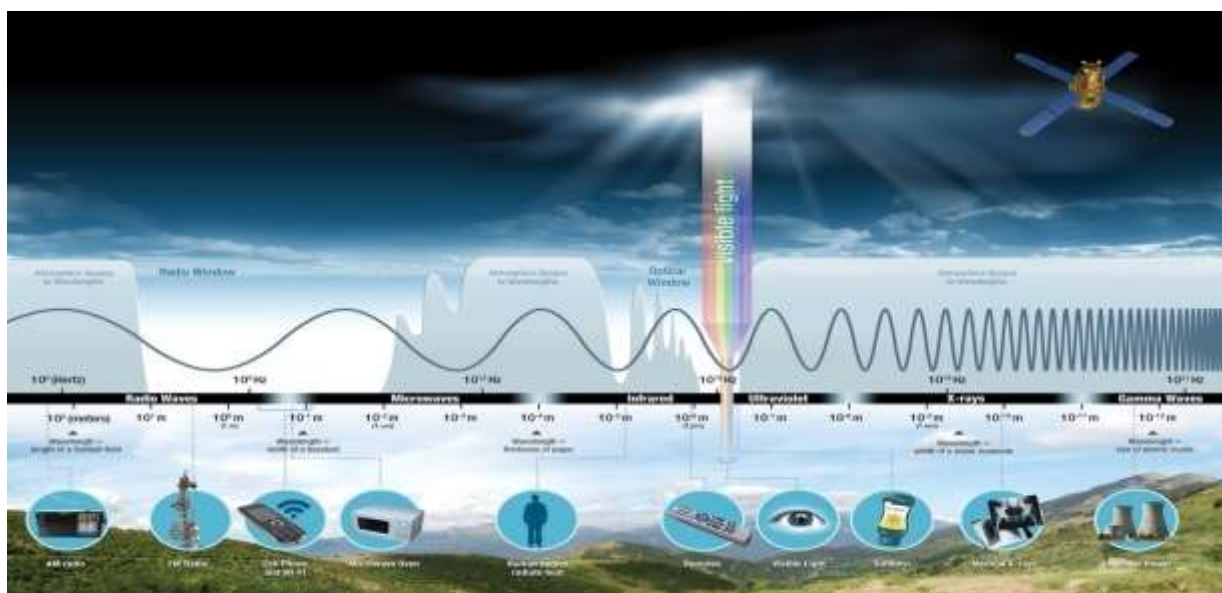


Рисунок 3.3 - Электромагнитный спектр (NASA Earth data, 2020).

Некоторые волны поглощаются или отражаются атмосферными элементами, такими как водяной пар и углекислый газ, а некоторые длины волн вызывают

беспрепятственное движение в атмосфере; видимый свет имеет длины волн, которые могут передаваться через атмосферу. Микроволновая энергия имеет длины волн, которые могут проходить через облака.

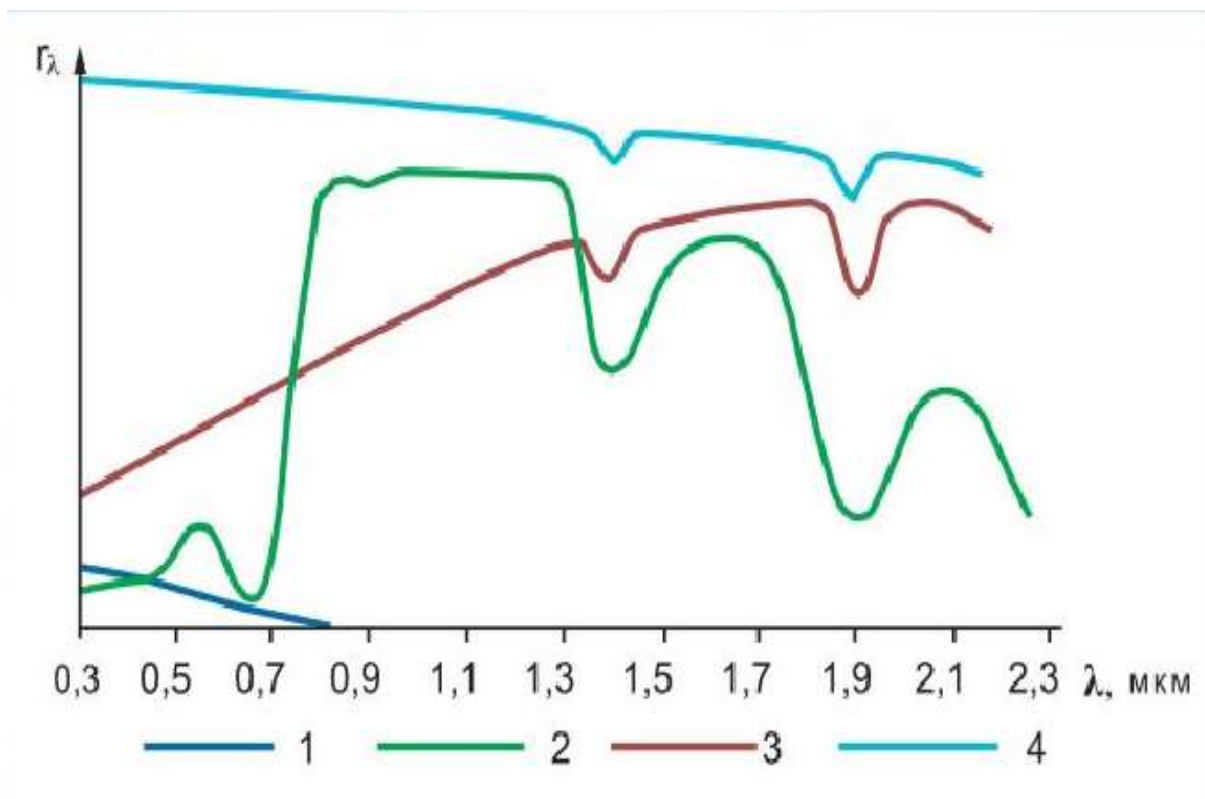


Рисунок 3.4 - Спектральные характеристики различных объектов Земли в видимом спектре света (1-водные объекты, 2-растительность, 3-почвы и горные породы, 4-снег, облака) (NASA Earth data, 2020).

Основным источником энергии, наблюдаемыми спутниками, является Солнце. Количество отраженной энергии Солнца зависит от неровностей поверхности и ее альбедо, то есть от того, насколько хорошо поверхность отражает свет, а не поглощает его. Снег, например, имеет очень высокое альбедо, отражает до 90% энергии, которую он получает от Солнца, в то время как океан отражает только около 6% и поглощает остальное. Когда энергия поглощается, она часто излучается снова, обычно на более длинных волнах. Например, энергия, поглощенная океаном, снова излучается в виде инфракрасного излучения (Сутырина, 2013).

Все вещи на Земле отражают, поглощают или передают энергию, количество которой зависит от длины волны. Все на Земле имеет уникальный спектральный «отпечаток пальца», так же, как ваш отпечаток пальца уникален для вас. Исследователи могут использовать эту информацию для идентификации различных свойств Земли.

Датчики или приборы на борту спутников и самолетов используют Солнце в качестве источника освещения или используют свой собственный источник освещения

для измерения отраженной энергии. Датчики, использующие естественную энергию от Солнца, называются пассивными датчиками, датчики, которые используют свой собственный источник энергии, называются активными датчиками.

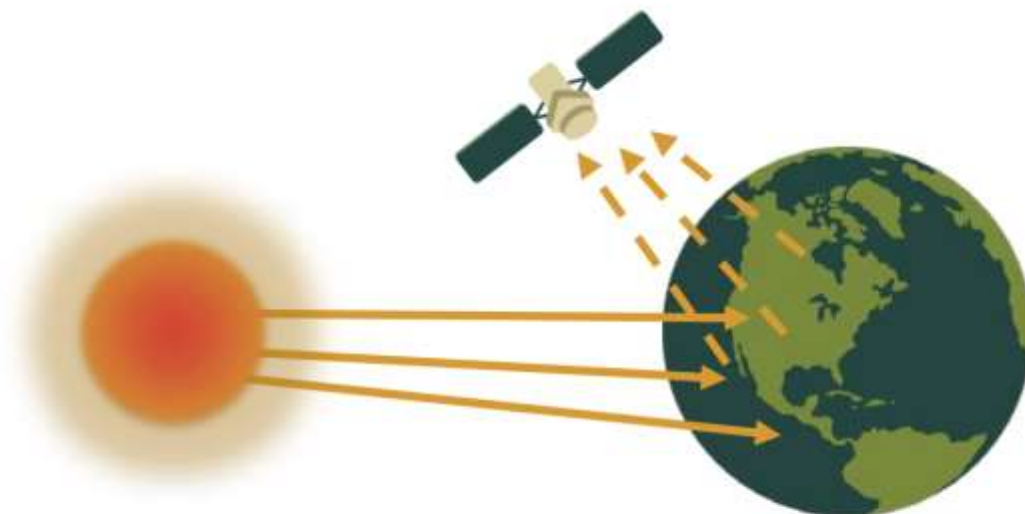


Рисунок 3.5 - Пассивное зондирование (NASA Earth data, 2020).

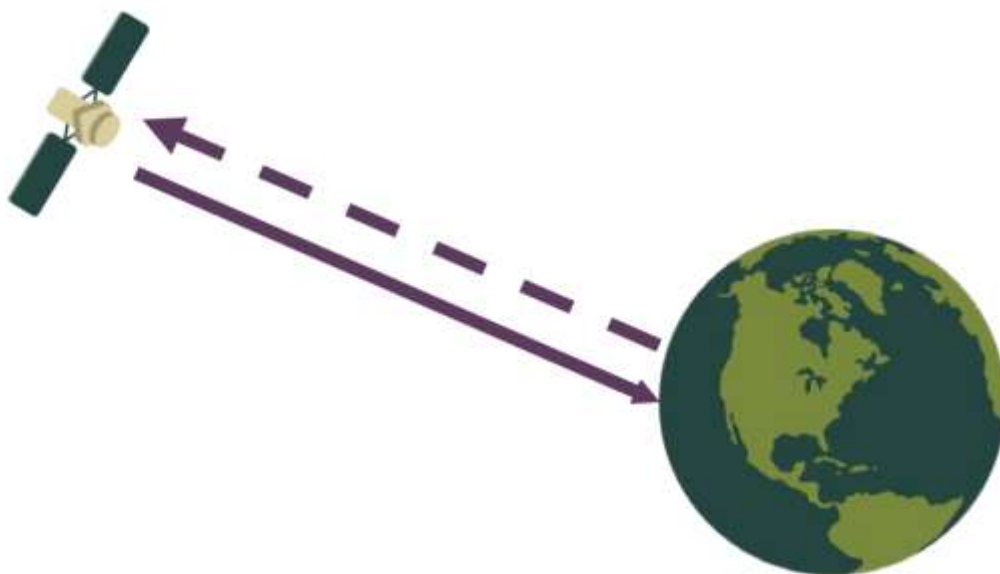


Рисунок 3.6 - Активное зондирование (NASA Earth data, 2020).

К пассивным датчикам относятся различные типы радиометров (приборы, количественно измеряющие интенсивность электромагнитного излучения в выбранных диапазонах) и спектрометров (приборы для обнаружения, измерения и анализа спектрального содержания отраженного электромагнитного излучения). Большинство пассивных систем, используемых приложениями дистанционного зондирования, работают в видимом, инфракрасном, тепловом и микроволновом диапазонах электромагнитного спектра. Эти датчики измеряют температуру поверхности суши и

моря, свойства растительности, свойства облаков и аэрозолей, а также другие физические свойства (Шовенгердт, 2010).

Обратите внимание, что большинство пассивных датчиков не могут проникать в плотные облака и, следовательно, могут наблюдать только ограниченные области, такие как тропики, где плотные облака распространены (Сутырина, 2013).

Активные датчики включают в себя различные типы радиодатчиков и датчиков дальности (радаров), высотомеры и рефлектометры. Большинство активных датчиков работают в микроволновом диапазоне электромагнитного спектра, что дает им возможность проникать в атмосферу в большинстве условий. Эти типы датчиков полезны для измерения вертикальных профилей аэрозолей, структуры леса, осадков и ветра, рельефа морской поверхности и льда и т. д. Разрешение датчика играет важную роль в том, как данные могут быть использованы. В зависимости от орбиты спутника и конструкции датчика разрешение может быть изменено. Существует четыре типа, которые должны учитывать любое разрешение радиометрии, пространство и спектр предварительных данных (Шовенгердт, 2010).

Разрешение играет роль в том, как данные могут использоваться датчиком. В зависимости от орбиты спутника и датчика разрешение может варьироваться. Существует четыре типа разрешения для каждого набора данных: радиометрический, пространственный, спектральный и временное (Сутырина, 2013).

Радиометрическое разрешение – это количество информации в каждом пикселе, то есть количество битов, представляющих записанную энергию. Каждый бит записывает показатель степени 2. Например, 8-битное разрешение равно 2^8 , которое указывает на то, что датчик имеет 256 потенциальных цифровых значений (0-255) для хранения информации. Чем выше радиометрическое разрешение, тем больше значений доступно для хранения информации, что позволяет лучше различать даже наименьшие различия в энергии. Например, при оценке качества воды требуется радиометрическое разрешение для различия между тонкими различиями в цвете водной поверхности (Шовенгердт, 2010).

Пространственное разрешение определяется размером каждого пикселя в цифровом изображении поверхности Земли, представленном пикселем. Например, большинство полос, наблюдаемых спектрорадиометром MODIS с пространственным разрешением 1 км; каждая представляет собой площадь 1 км. 1 км на Земле. MODIS также включает полосы с пространственным разрешением 250 м или 500 м. Чем выше разрешение (наименьшее число), тем больше деталей вы можете увидеть. На следующем рисунке показана разница в пикселях между изображением 30 м/пиксель,

изображением 100 м/пиксель и изображением 300 м/пиксель (Шовенгердт, 2010).

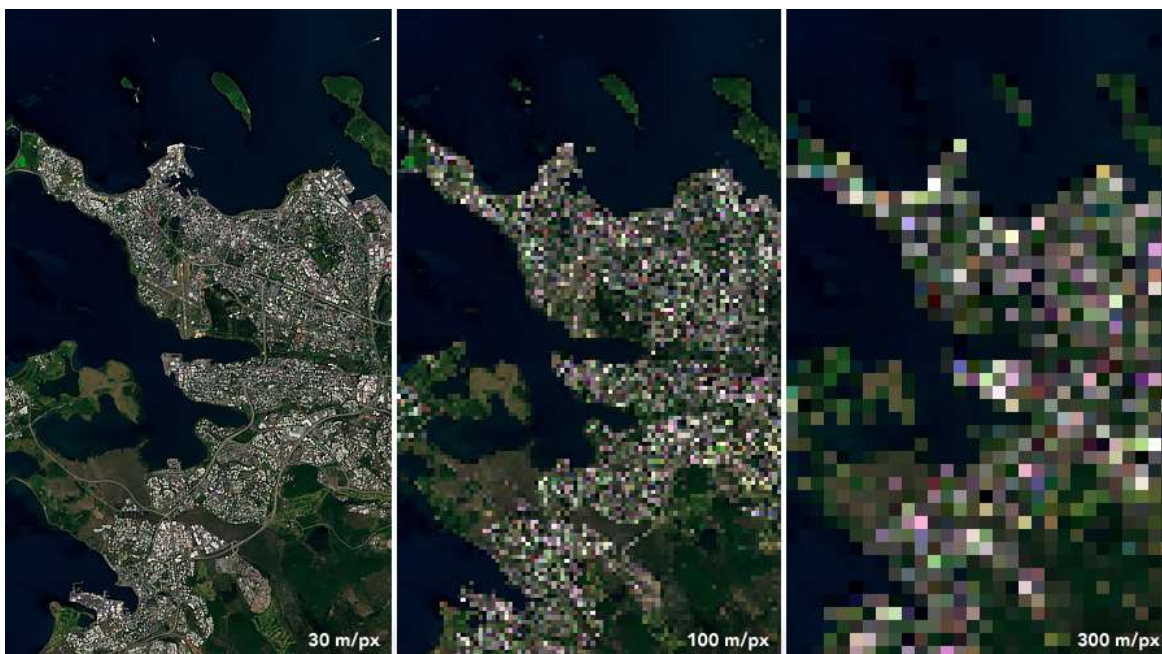


Рисунок 3.7 - Сравнение пространственного разрешения снимков (NASA Earth data, 2020).

Спектральное разрешение – это способность датчика различать более тонкие длины волн, то есть наличие большего и более узкого диапазона. Многие датчики считаются мультиспектральными, что означает, что они достигают от 3 до 10. Даже на сотнях тысяч диапазонов датчики считаются гиперспектральными. Например, бортовой видимый / инфракрасный спектрометр визуализации, устройство (полная емкость), содержит информацию о 224 каналах (Шовенгердт, 2010).

Временное разрешение – это время, необходимое спутнику, чтобы закончить полный оборот вокруг орбиты и снова посетить ту же область наблюдения. Это разрешение зависит от орбиты, свойств датчика и ширины полосы захвата. Поскольку геостационарные спутники совпадают со скоростью вращения Земли, временное разрешение лучше, около 30 с – 1 мин. Полярные спутники имеют разрешение, которое может варьироваться от 1 дня до 16 дней. Например, MODIS имеет разрешение 1-2 дня, что позволяет нам визуализировать Землю, как она меняется день ото дня. Landsat, с другой стороны, имеет более узкую полосу обзора и временное разрешение 16 дней; показывает не ежедневные изменения, а изменения раз в два месяца (Шовенгердт, 2010).

3.2 Обзор работ по исследованию природной среды с использованием материалов спутниковой съемки

Исследованиям природной среды с использованием данных ДЗЗ посвящено огромное количество работ. Рассмотрим примеры таких работ. Начнем с

отечественных исследователей. Будет рассмотрены работы, в которых исследования опираются на вегетационные индексы при изучении природной среды.

В научной статье «Анализ сезонной динамики NDVI естественной растительности Заволжья Волгоградской области» (авторы А.С. Рулев, С.Н. Канищев, С.С. Шинкаренко) изложены результаты исследований сезонной динамики нормализованного вегетационного индекса (NDVI) естественной травянистой растительности пастбищ Волгоградского Заволжья. Сезонные значения NDVI (март – ноябрь) получены на основе многозональных космических снимков Landsat 8 OLI. В 2013–2014 годах проведены полевые исследования, на основе которых определен ключевой участок, отражающий особенности растительного покрова района исследований с учетом сложившейся системы животноводства. Установлено два пика NDVI в течение вегетационного сезона: первый – в период развития эфемеров и эфемероидов (май), второй – в конце лета и начале осени, когда вегетирует галофитная растительность. (Рулев, Канищев, Шинкаренко, 2016).

В работе авторов Пасько О. А., Токаревой О. С., Алшаиби Ахмед Джамал Абдулрахман, Черниковой Т. Ю., Кабраль П. «Оценка состояния припоселковых кедровников томской области с использованием данных дистанционного зондирования земли», дана комплексная оценка состояния 13-ти припоселковых кедровников; проведен анализ динамики значений NDVI в период с 2002 по 2017 гг. и установлены основные причины (незаконные вырубki, ветровалы, пожары и распространение вредителей); проведена группировка кедровников по их состоянию; установлены максимальные значения NDVI для Богашовского и Белоусовского кедровников, минимальные – для Аксеновского, Плотниковского и Протопоповского кедровников; показаны положительные корреляции между значениями NDVI и состоянием деревьев: высокая корреляция – с индексом жизненного состояния, и средняя – со средневзвешенной категорией состояния деревьев в древостое (Пасько О.А. и др., 2019).

Рассмотрим работы зарубежных исследователей. В научной статье «Применение нормализованного разностного индекса растительности (NDVI) для обнаружения экстремальных изменений количества осадков» (авторы Пэй Фэнсонг, И Чжоу, Ян Ся) на примере среднего и нижнего течения реки Янцзы (MLR-YR) в Китае исследуется применение полученного со спутника нормализованного разностного индекса растительности (NDVI) для обнаружения изменений экстремальных осадков с 1982 по 2012 (Pei, Fengsong, Zhou Yi, Xia Yan, 2021). Характеристики трех индексов на основе NDVI, включая минимальный, средний и максимальный NDVI, были изучены, чтобы отразить чувствительность растительности к изменениям экстремальных

осадков. Результаты показывают не только общие улучшенные тенденции, но также очевидные пространственные несоответствия между интенсивностью и частотой экстремальных осадков в MLR-YR. Что касается его применения на наземной растительности, изменения в экстремальной интенсивности осадков совпадали с изменениями активности растительности, которая была представлена как максимальное и минимальное значение NDVI, особенно максимальное значение NDVI. Кроме того, аналогичные закономерности были обнаружены между стандартным отклонением максимального NDVI и трендом экстремальной интенсивности осадков. Кроме того, коэффициенты корреляции между максимальным NDVI и экстремальной интенсивностью осадков были относительно выше, чем у минимального NDVI. Результаты исследователей подтвердили гипотезу о том, что максимальное значение NDVI больше подходит для отражения реакции растительности на экстремальные осадки в регионе MLR-YR (Pei, Fengsong, Zhou Yi, Xia Yan, 2021).

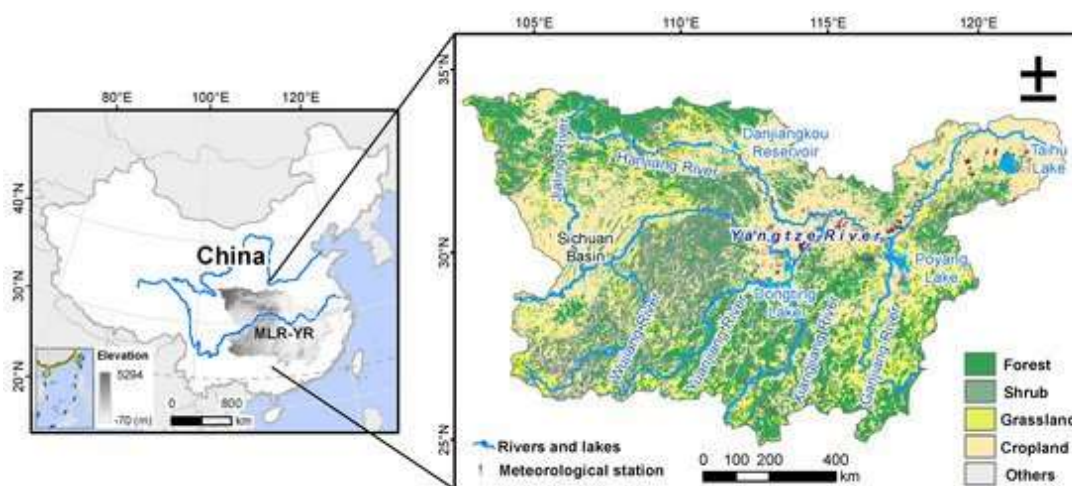


Рисунок 3.8 - Расположение среднего и нижнего течения реки Янцзы (MLR-YR) (Pei, Fengsong, Zhou Yi, Xia Yan, 2021).

MLR-YR расположен между $102\text{--}122^\circ$ в. Д. и $24\text{--}34^\circ$ с. Ш., общей площадью $1\,157\,057\text{ км}^2$. Среднегодовая температура составляет $14\text{--}18^\circ\text{ С}$, а общее количество осадков колеблется от 1000 мм год^{-1} и 1500 мм год^{-1} в этой области. Он подвергается частым наводнениям, например, в 1954, 1998 и 2010 годах. MLR-YR, расположенный в субтропической муссонной климатической зоне, характеризуется одновременным выпадением осадков и тепловой энергии в одни и те же сезоны. Экосистемы в этом регионе включают вечнозеленые широколиственные леса, вечнозеленые игольчатые леса, кустарники, луга, культурную растительность и так далее.

Наборы данных в этом исследовании включают набор метеорологических данных, данные NDVI и данные о землепользовании / покрове в MLR-YR. В частности, набор метеорологических данных, включая суточные данные об осадках и температуре,

был получен с 1982 по 2012 год из Китайского центра службы метеорологических данных (CMDC) (Pei, Fengsong, Zhou Yi, Xia Yan, 2021).

Что касается данных NDVI, то набор данных NDVI для усовершенствованного радиометра очень высокого разрешения (AVHRR) третьего поколения (т.е. NDVI3g), который был создан в рамках проекта Global Inventory Modeling and Mapping Studies (GIMMS), был получен за период 1982–2012 гг. (Pei, Fengsong, Zhou Yi, Xia Yan, 2021).

Были сделаны следующие выводы: обнаружены как схожие временные изменения, так и очевидное пространственное несоответствие между экстремальной интенсивностью осадков и экстремальной частотой осадков с 1982 по 2012 год в MLR-YR, что указывает на тенденцию к увеличению количества экстремальных осадков; была обнаружена согласованность между изменениями экстремальной интенсивности осадков и изменениями стандартного отклонения максимального NDVI; коэффициенты корреляции между максимальным NDVI и интенсивностью экстремальных осадков были больше, чем у минимального NDVI; и (4) по сравнению со средним и минимальным NDVI (Pei, Fengsong, Zhou Yi, Xia Yan, 2021).

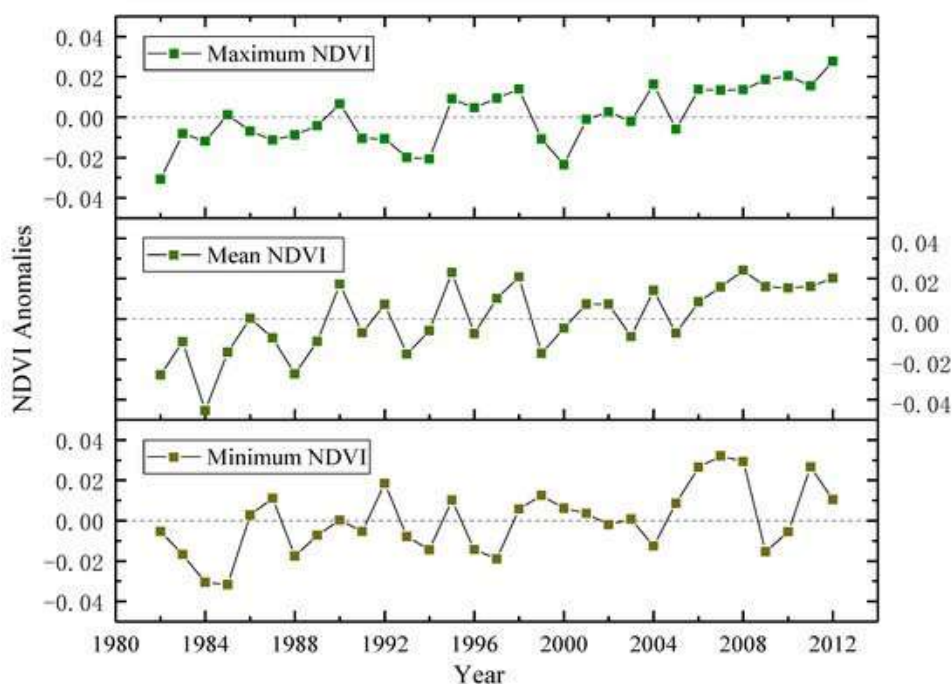


Рисунок 3.9 - Аномалии минимальных, средних и максимальных значений NDVI в MLR-YR с 1982 по 2012 гг (Pei, Fengsong, Zhou Yi, Xia Yan, 2021).

В статье «Данные Sentinel-2 в оценке воздействия нарушений на лесную растительность» (авторы Йозеф Ластовицка, Павел Свец, Даниэль Палуца, Наталья Коблюк, Ян Свобода, Радован Гладкий, Пршемисл Стих). В этой статье авторы исследовали обнаружение изменений лесной растительности в период с 2017 по 2019 год в Национальном парке Низкие Татры (Словакия) и Национальном парке Шумава

(Чехия) с использованием данных Sentinel-2 (Lastovicka J., Svec P., Paluba D....2020). Оценка была основана на анализе временных рядов с использованием выбранных индексов растительности. В тематических исследованиях представлены пять различных участков в зависимости от типа деградации лесной растительности (одна с бедствием короеда, два участка с режимом восстановления леса после бедствия короеда и два участка без значительных нарушений). Значения траекторий вегетационных индексов (нормализованный разностный вегетационный индекс (NDVI) и нормализованный разностный индекс влажности (NDMI)) и ортогональных индексов (зеленость шапки с кисточкой (TCG) и влажность шапки с кисточкой (TCW)) были проанализированы и подтверждены с помощью натурные данные и аэрофотоснимки. Результаты подтверждают способность NDVI, NDMI и TCW различать нарушенные и ненарушенные области. Индекс растительности NDMI был особенно полезен для обнаружения нарушенного леса и восстановления леса после вспышек короеда и предоставил соответствующую информацию о состоянии леса (отдельные стадии нарушений и режим восстановления). На участках, затронутых нарушениями, наблюдались более низкие значения индексов NDVI и NDMI (интервал квартиля NDVI Q2 –Q 3 : 0,63–0,71; NDMI Q 2 –Q 3 : 0.10–0.19) и индекс TCW имели отрицательные значения (Q 2 –Q 3: –0.06––0.05)). Анализ проводился с помощью облачного инструмента - Sentinel Hub. Авторы отмечают, что облачные технологии открыли новое измерение в обработке и анализе спутниковых данных и позволили довести спутниковые данные до конечных пользователей в лесном секторе. Также исследователи отмечают, что программа Copernicus и ее данные из миссий Sentinel открыли новые возможности в применении спутниковых данных (Lastovicka J., Svec P., Paluba D...., 2020).

Явления нарушений, такие как короеды и ветровые бедствия, являются одной из самых актуальных проблем в лесных экосистемах Центральной Европы. Их разрастание тесно связано с изменениями климата и распространением в Центральной Европе некоренных хвойных деревьев, например ели (*Picea abies*). В обоих наблюдаемых национальных парках (Национальный парк Шумава в Чехии и НАПАНТ в Словакии) ель является доминирующим деревом. Доминирование еловых монокультур было вызвано лесоводами из-за рыночно ориентированного ведения лесного хозяйства. В настоящее время в условиях новой экологической политики и под влиянием климатических изменений национальные парки внедряли более экологически ориентированные и устойчивые методы управления, часто без какого-либо вмешательства лесников. Основная задача этого управления - создание естественного и

экологически устойчивого леса. Монокультуры ели, более высокие температуры и абиотические бедствия могут создать подходящие условия для бедствий короеда. С другой стороны, устойчивое управление должно создать естественную экосистему, подходящую для более богатых сообществ видов по сравнению с монокультурой ели (Lastovicka J., Svec P., Paluba D...., 2020).

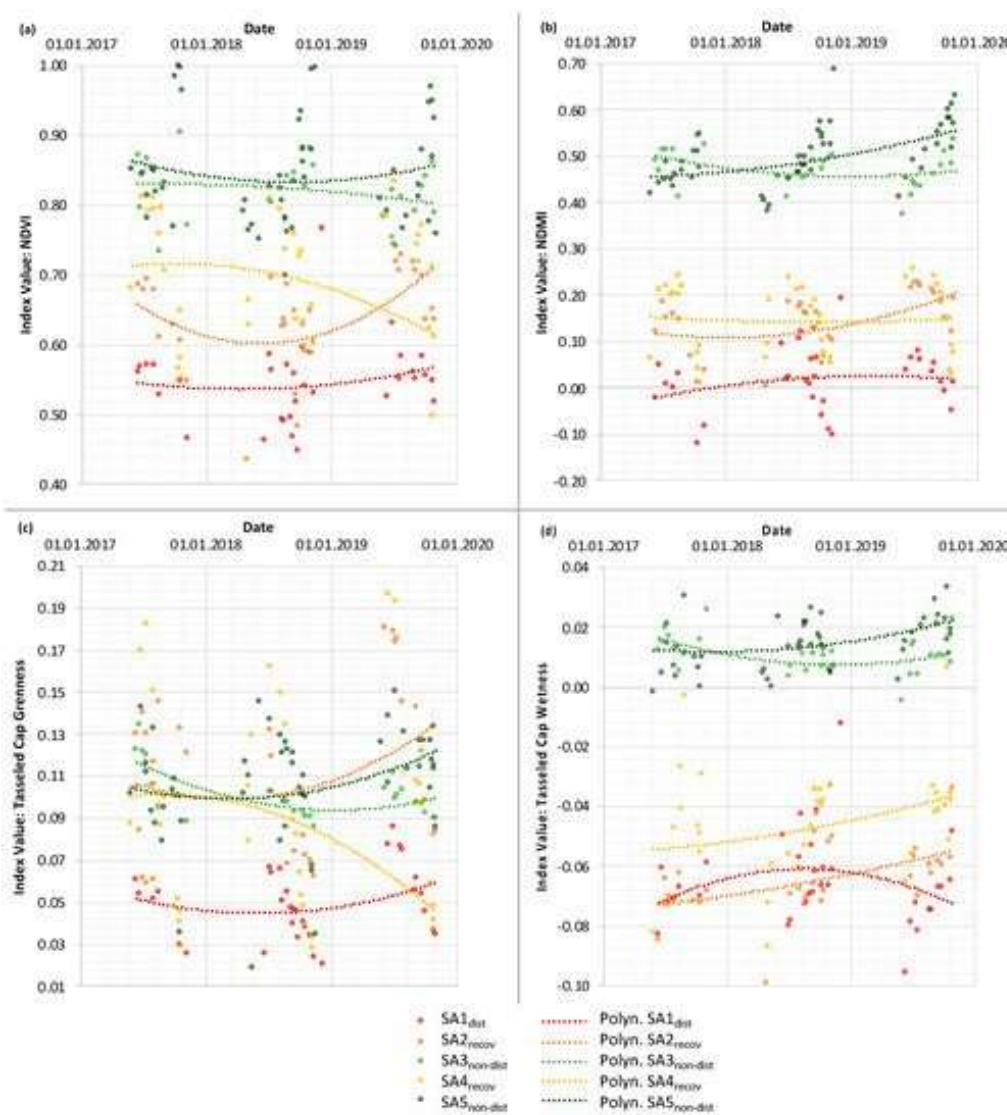


Рисунок 3.10 - Сравнение значений индексов по разным типам индексов растительности (Lastovicka J., Svec P., Paluba D....2020).

4. МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ДЛЯ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ И ВЫЯВЛЕНИЯ ИЗМЕНЕНИЙ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН НА ОСНОВЕ МАТЕРИАЛОВ СПУТНИКОВОЙ СЪЕМКИ.

4.1 Ключевые участки и их характеристика

Для наблюдения за состоянием природной среды, а именно изучением динамики (например лесных экосистем), были выбраны 7 ключевых участков, расположенные в разных природных зонах Башкортостана. Были выбраны лесостепная зона, лесная зона, горно- лесная область.



Рисунок 4.1 - Участки, выбранные для наблюдения динамики лесных экосистем (1-лесостепная зона, 2,3,4-лесная зона, 5,6,7- горно-лесная область Башкирского Урала) (Атлас Республики Башкортостан, 2005).

1 участок, находится на территории Белебеевского района, располагается в Усень-Ивановском заказнике. Климат здесь континентальный, неустойчивый и умеренно увлажнённый. Характерными особенностями являются повышенные местные температуры, возможные засухи и суховейные ветры, частые снежные метели, неустойчивость погоды по временам года, резкие колебания суточного и годового хода температуры. Участок расположен на дерново-карбонатных почвах и представлен широколиственно-темнохвойным лесом. Преобладают сосновые породы.

2 участок, находится в Янаульском районе, вблизи Кармановского водохранилища. Климат резко континентальный, характеризуется продолжительной и суровой зимой, коротким, сухим, иногда жарким летом. Расположен на дерново-подзолистых почвах. Преимущественно представлен берёзовым лесом.

3 участок, расположен на территории Аскинского района, в пределах Аскинского заказника. Климат территории континентальный умеренно-теплый, достаточно влажный. Характеризуется резкими колебаниями годового и суточного хода температуры воздуха, неравномерным распределением осадков, весенними заморозками, сухостью воздуха, недостаточным количеством солнечной энергии. Также находится на дерново-подзолистых почвах. Представлен хвойным лесом, преобладает ель.

4 участок, находится на территории Карлыхановского заказника Белокатайского района Республики Башкортостан. Климат резко континентальный, с холодной зимой и жарким летом. Участок расположен на серых лесных почвах. Распространены широколиственные породы, особенно липа.

5 участок располагается в Южно-Уральском заповеднике (Белорецкий район). Климат данной территории умеренно континентальный. Зима холодная, продолжительная. Здесь мы видим горно-луговые дерновые почвы, на которых произрастают темнохвойные елово-пихтовые леса.

6 участок находится на Башкирском государственном природном заповеднике. Заповедник находится в атлантико-континентальной климатической области умеренного пояса. Погода сильно отличается по годам. Расположен на горных, серо-лесных почвах. Преобладающей древесной породой здесь является сосна.

7 участок расположен на территории национального парка «Башкирия». Климат на данной территории парка континентальный, характеризующейся относительно резкой изменчивостью и непостоянством погоды по отдельным годам, что особенно характерно для горной местности Урала. Представлен горными, серыми лесными почвами, на которых растут широколиственные леса (преобладает клен).

Для оценки состояния растительного покрова был выбран промежуток времени в период с 1985 по 2020 гг. Также были использованы данные метеостанций, для сравнения тенденций изменения климатических показателей с показателями состояния растительного покрова.

4.2 Данные дистанционного зондирования Земли, использованные в исследовании

В данной работе были использованы данные спутника Landsat, а именно данные Landsat 5, Landsat 7, Landsat 8. Программа Landsat – наиболее продолжительный проект по приобретению спутниковых снимков Земли. Первый из спутников в рамках программы был запущен в 1972; последний, на настоящий момент, Landsat 8 – 11 февраля 2013. Оборудование, установленное на спутниках Landsat, сделало миллиарды снимков. Снимки, полученные в США и на станциях получения данных со спутников по всему миру, являются уникальным ресурсом для проведения множества научных исследований в области сельского хозяйства, картографии, геологии, лесоводства, разведки, образования и национальной безопасности.

Ниже представлены характеристики Landsat 5, Landsat 7 и Landsat 8.

Таблица 4.1 - Основные характеристики спутника Landsat 5 (Шовенгердт, 2010).

TM (Landsat 5) № канала	Индексы каналов	Спектральный диапазон (мкм)	Пространственное разрешение (м)	Полоса обзора (км)	Повторяемость съемки одной территории
1 (синий, Blue)	B1 или B10	0.45 – 0.515	30	185	16 суток
2 (зелёный, Green)	B2 или B20	0.525 – 0.605	30		
3 (красный, Red)	B3 или B30	0.63 – 0.690	30		
4 (NIR)	B4 или B40	0.75 – 0.90	30		
5 (SWIR)	B5 или B50	1.55 – 1.75	30		
6 (Thermal)	B6 или B60	10.40 – 12.5	120		
7 (SWIR)	B7 или B70	2.09 – 2.35	30		

Таблица 4.2 - Основные характеристики спутника Landsat 7 (Шовенгердт, 2010).

ETM+(Landsat 7) № канала	Индексы каналов	Спектральный диапазон (мкм)	Пространственное разрешение (м)	Полоса обзора (км)	Повторяемость съемки одной территории
1 (синий, Blue)	B1 или B10	0.45 – 0.515	30	185	16 суток
2 (зелёный, Green)	B2 или B20	0.525 – 0.605	30		
3 (красный, Red)	B3 или B30	0.63 – 0.690	30		
4 (NIR)	B4 или B40	0.75 – 0.90	30		
5 (SWIR)	B5 или B50	1.55 – 1.75	30		
6 (Thermal)	B61 и B62	10.40 – 12.5	60		
7 (SWIR)	B7 или B70	2.09 – 2.35	30		
8 (PAN)	B8 или B80	0.52 – 0.90	15		

Таблица 4.3 - Основные характеристики спутника Landsat 8 (Шовенгердт, 2010).

OLI/TIRS (Landsat 8) № канала	Индексы каналов	Спектральный диапазон (мкм)	Пространственное разрешение (м)	Размер сцены, (длина) км x (ширина) км	Повторяемость съемки одной территории
1(голубой,(фиолетовый), (New Deep Blue))	B1	0,43 – 0,45	30	170x185	16 суток
2 (синий, Blue)	B2	0,450 – 0,51			
3 (зелёный, Green)	B3	0,53 – 0,59			

4 (красный, Red)	B4	0,64 – 0,67			
5 (NIR)	B5	0,85 – 0,88			
6 (SWIR)	B6	1,57 – 1,65			
7 (SWIR)	B7	2,11 – 2,29			
8 (PAN)	B8	0,50 – 0,68	15		
9 (CIRRUS)	B9	1,36 – 1,38	30		
10 (TIR или TIRS)	B10	10,6 – 11,19	100		
11 (TIR или TIRS)	B11	11,5 – 12,51			

Значения аббревиатур и сокращений:

-BAND (англ.) – канал

-NIR – Near Infrared (Ближний инфракрасный канал)

-SWIR – Short- Wavelength Infrared (Коротковолновый (ближний) инфракрасный канал)

-Thermal – Thermal Infrared (тепловой) или Long Wavelength Infrared (дальний инфракрасный).

-Каналы B61 и B62 предусматривают деления спектрального интервала 10.4-12.5

-PAN – Panchromatic (Панхроматический канал)

-TIR(S) – Thermal –Thermal Infrared (тепловой).

4.3 Метеорологические данные для исследования

В качестве наземных данных были использованы данные метеорологических станций. Брались данные метеостанций, которые находятся в непосредственной близости к ключевым участкам, а именно:

-Аксаково (1 участок)

-Янаул (2 участок)

-Аскино (3 участок)

-Емаши (4 участок)

-Белорецк (5 участок)

-Башгосзаповедник (6 участок)

-Мраково (7 участок).

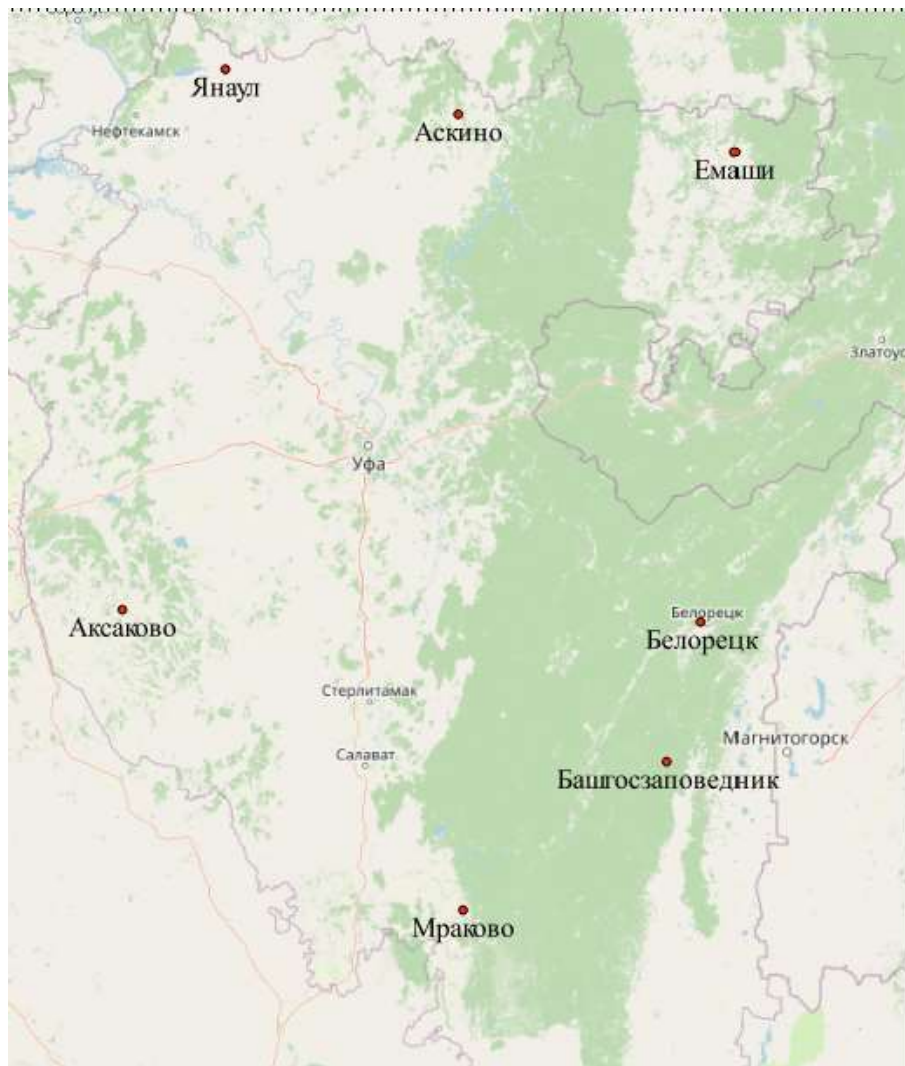


Рисунок 4.2 - Расположение метеостанций на карте.

Были взяты данные по температуре воздуха и относительной влажности воздуха за теплый период, с 1985 по 2020 гг.. Эти два показателя играют важнейшую роль в функционировании природной среды в целом, лесных экосистем в частности. Метеорологические данные необходимы для сопоставления, сравнения с временными рядами данных NDVI и NDWI, чтобы сделать выводы о роли климатического фактора на функционирование, состояние лесных экосистем. Температура воздуха оказывает значительное влияние на значения NDVI и NDWI, так же как и значения относительной влажности воздуха. Стоит отметить, что показатели относительной влажности воздуха играют огромную роль на наличие воды в растительном покрове, в листьях деревьев, соответственно при анализе NDWI это необходимый показатель.

Источником метеоданных стал сайт Национального управления океаническими и атмосферными исследованиями (NOAA). Вспомогательным источником, ввиду неполноты некоторых данных стал информационный ресурс NASA POWER Data Access Viewer.

В самом начале задавались необходимые параметры для данных, указывалась метеостанция. Метеостанцию можно также выбрать непосредственно на карте, не делая запрос в поисковой строке. После получения данных была проведена работа по заполнению таблицы в Microsoft Excel.

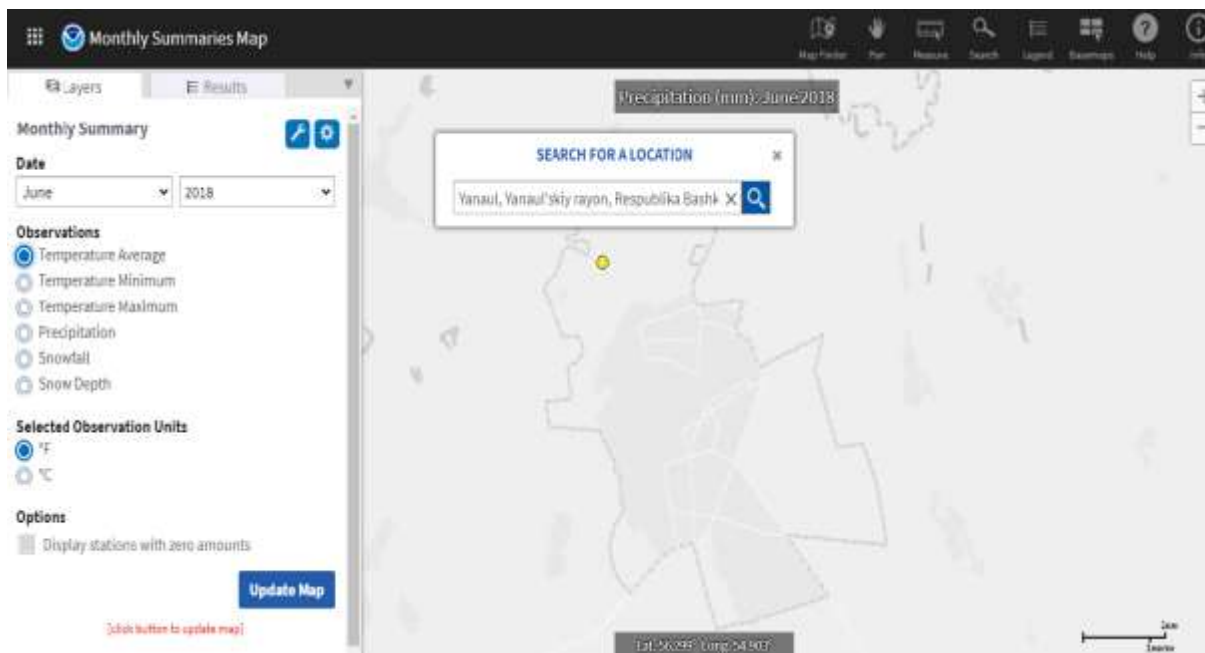


Рисунок 4.3 - Интерфейс ресурса Национального управления океаническими и атмосферными исследованиями (NOAA), для запроса метеоданных (NOAA, 2021).



Рисунок 4.4 - Интерфейс ресурса NASA POWER Data Access Viewer по получению метеорологических данных (NASA POWER Data Access Viewer, 2021).

4.4 Характеристика программных средств, использованных в работе

Для обработки данных дистанционного зондирования Земли, был использован сервис Google Earth Engine (Google Earth Engine, 2020). Google Earth Engine - это платформа облачных вычислений для обработки спутниковых изображений и других геопространственных данных и данных наблюдений. Он обеспечивает доступ к большой базе данных спутниковых изображений и вычислительной мощности, необходимой для анализа этих изображений. Google Earth Engine позволяет наблюдать за динамическими изменениями в сельском хозяйстве, природных ресурсах и климате с использованием геопространственных данных спутниковой программы Landsat, которые проходят над одними и теми же местами на Земле каждые шестнадцать дней. Платформа использует программные интерфейсы приложений Python и JavaScript для выполнения запросов к серверам. Каталог Earth Engine содержит множество общедоступных наборов геопространственных данных:

- Космо- и аэрофотоснимки, сделанные в различных диапазонах электромагнитного спектра;
- Модели прогноза погоды и параметры климата;
- Карты земного покрова;
- Топографические и социально-экономические наборы данных;
- Различные параметры окружающей среды (например, влажность почвы или исходящее тепловое излучение Земли).

Все эти данные предварительно приводятся во внутренний формат системы. Он сохраняет тип исходных данных и метаданные, обеспечивая при этом эффективный доступ к информации, и устраняет технические барьеры, связанных с параллельной обработкой больших объёмов данных. (Google Earth Engine, 2020).

Редактор кода Earth Engine на code.earthengine.google.com – это веб-среда IDE для API JavaScript Earth Engine. Для этого требуется войти в систему с учетной записью Google, для которой разрешен доступ к Earth Engine. Функции редактора кода призваны упростить процесс работы по геопространственному анализу.

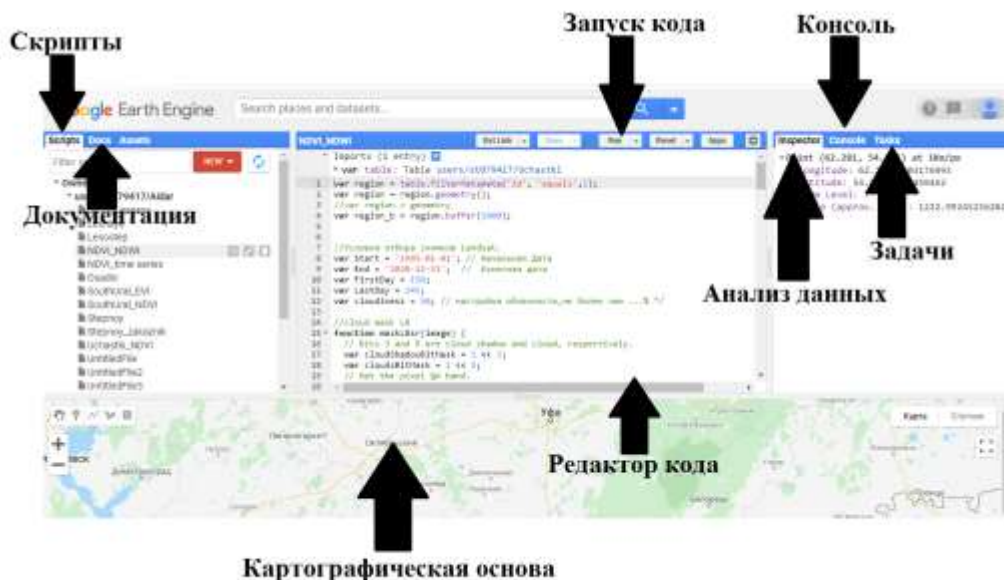


Рисунок 4.5 - Интерфейс редактора кода Google Earth Engine (Google Earth Engine, 2020).

Упрощённая схема архитектуры Google Earth Engine



Рисунок 4.6 - Упрощённая архитектура Google Earth Engine (Google Earth Engine, 2020).

В данной работе также были использованы возможности геоинформационной системы QGIS. Здесь была проведена работа по созданию полигонов – ключевых участков, в формате shape-file, которые затем загружались в облачную платформу Google Earth Engine.

QGIS, первоначально известная как Quantum GIS – свободная кроссплатформенная геоинформационная система, которая состоит из настольной и серверной части (QGIS, 2020):

-QGIS Desktop – настольная ГИС для создания, редактирования, визуализации, анализа и публикации геопространственной информации. Под «QGIS» часто имеют в виду именно QGIS Desktop.

-QGIS Server и QGIS Web Client – серверные приложения для публикации в сети проектов, созданных в QGIS Desktop, через сервисы, совместимые с OGC-стандартами (например, WMS и WFS).

QGIS позволяет создавать и редактировать векторные данные, а также экспортировать их в разные форматы. Возможности QGIS представлены на рисунке 4.7.

- создание и редактирование shape-файлов и векторных слоёв GRASS;
 - геокодирование изображений с помощью модуля пространственной привязки;
 - инструменты GPS для импорта и экспорта данных в формате GPX, преобразования прочих форматов GPS в формат GPX;
 - визуализация и редактирование данных OpenStreetMap;
 - создание слоёв PostGIS из shape-файлов с помощью плагина SPIT;
 - обработка слоёв PostGIS;
 - управление атрибутами векторных данных;
 - сохранение снимков экрана как изображений с пространственной привязкой;
- С помощью удобного графического интерфейса можно создавать карты и исследовать пространственные данные. Графический интерфейс включает в себя множество полезных инструментов, например:
- перепроецирование «на лету»;
 - компоновщик карт;
 - панель обзора;
 - пространственные закладки;
 - определение/выборка объектов;
 - редактирование/просмотр/поиск атрибутов;
 - подписывание объектов;
 - изменение символики векторных и растровых слоёв;
 - добавление слоя координатной сетки – добавление к макету карты стрелки на север, линейки масштаба и знака авторского права;
 - сохранение и загрузка проектов.

Рисунок 4.7 – Возможности программы QGIS (QGIS, 2020).

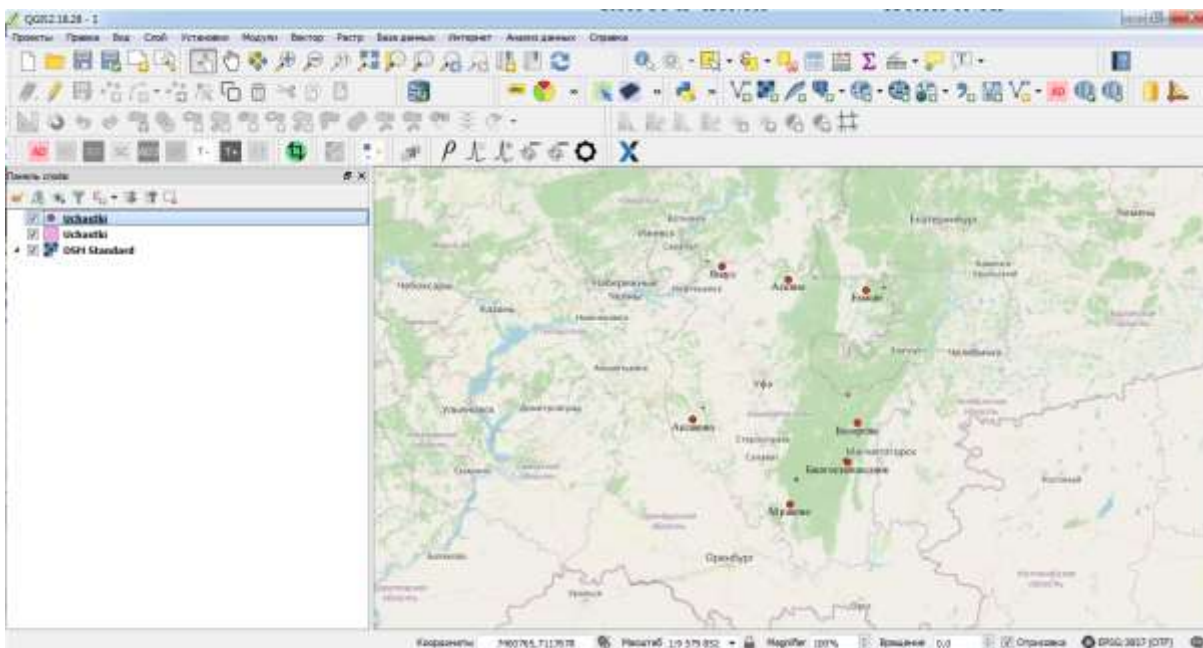


Рисунок 4.8 - Интерфейс программы QGIS.

Для обработки метеорологических данных был применен программный продукт Microsoft Excel. Microsoft Excel – приложение, разработанная Microsoft для Windows , macOS , Android и iOS . Он включает в себя вычисления, инструменты построения графиков, сводные таблицы и язык программирования макросов, называемый Visual Basic для приложений (VBA). Это очень широко применяемая электронная таблица для этих платформ, особенно после версии 5 в 1993 году, и она заменила Lotus 1-2-3 в качестве отраслевого стандарта для электронных таблиц. Excel является частью пакета программного обеспечения Microsoft Office . Основные возможности Microsoft Excel:

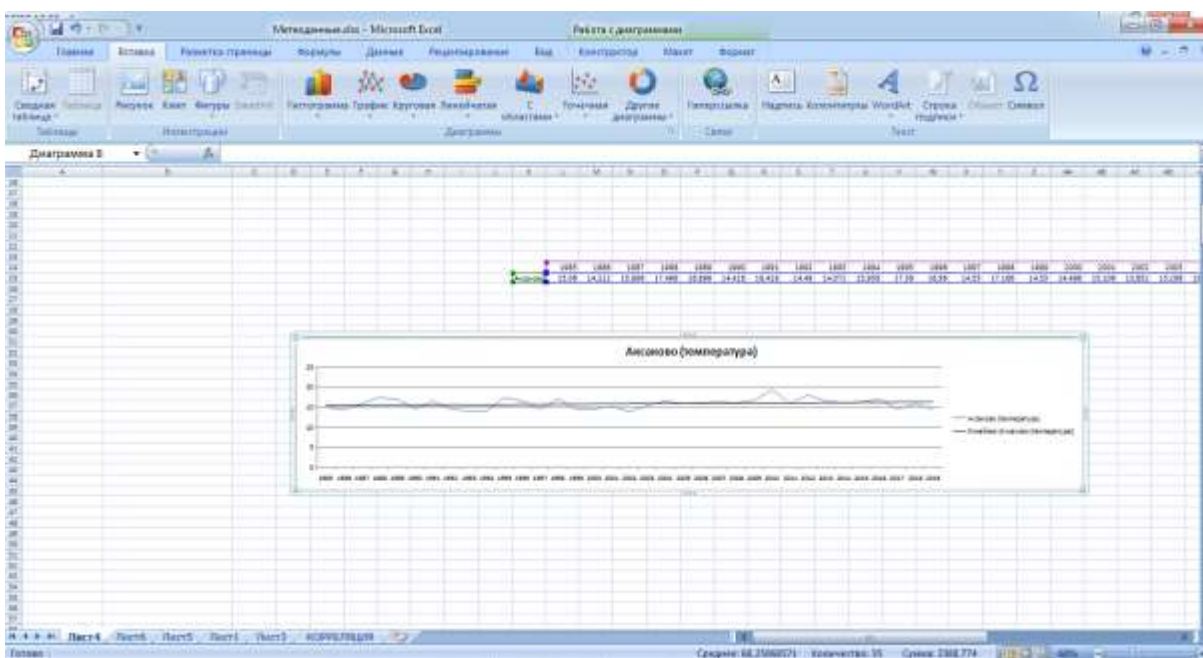


Рисунок 4.9 - Интерфейс Microsoft Excel.

Возможности Microsoft Excel, представлены на рисунке 4.10.

- Детальная настройка внешнего вида таблиц;
- Встроенная проверка орфографии;
- Распознавание закономерностей и заполнение в автоматическом режиме;
- Возможность отправки материалов по электронной почте из программы;
- Хранение данных как локально, так и в облаке;
- Автоматическая настройка сетки для таблиц;
- Возможность запаролить любой документ;
- Интеграция с остальными приложениями офисного пакета Microsoft Office
- Возможность поиска слов, предложений и изображений в поисковых системах, не выходя из интерфейса программы;
- Статический анализ данных;
- Итоговое вычисление в автоматическом режиме;
- Выстраивание графиков и диаграмм по введенным ранее данным;
- Функция автосохранения сохраняет все открытые файлы в заданный промежуток времени, а также при экстренном закрытии.

Рисунок 4.10 - Возможности Microsoft Excel.

5. МОНИТОРИНГ И ВЫЯВЛЕНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН НА ОСНОВЕ МАТЕРИАЛОВ СПУТНИКОВОЙ СЪЕМКИ.

Данная работа состояла из следующих этапов:

- Выделение ключевых участков, создание полигонов в программе QGIS;
- Подбор, обработка данных ДЗЗ в облачной платформе для геопространственного анализа Google Earth Engine, получение данных NDVI и NDWI с 1985 г. по 2020 г. по каждому ключевому участку;
- На основе полученных данных создание графиков в Microsoft Excel;
- Получение данных с метеостанций, создание на основе этих данных графиков;
- Анализ, сравнение полученных данных ДЗЗ и данных метеостанций, выявление изменений, трендов.

5.1 Создание полигонов в QGIS

Создание полигонов ключевых участков необходимо для дальнейшей загрузки в платформу Google Earth Engine, так как сервису нужно указать, на какие территории нужно подобрать космические снимки и получить необходимые данные. Поэтому эта часть работы является одной из первоочередных.

В самом начале запускаем программу QGIS, создаем новый проект и создаем новый слой. Для этого заходим в раздел «Слой»-«Создать shape-файл» (рисунок 5.1).

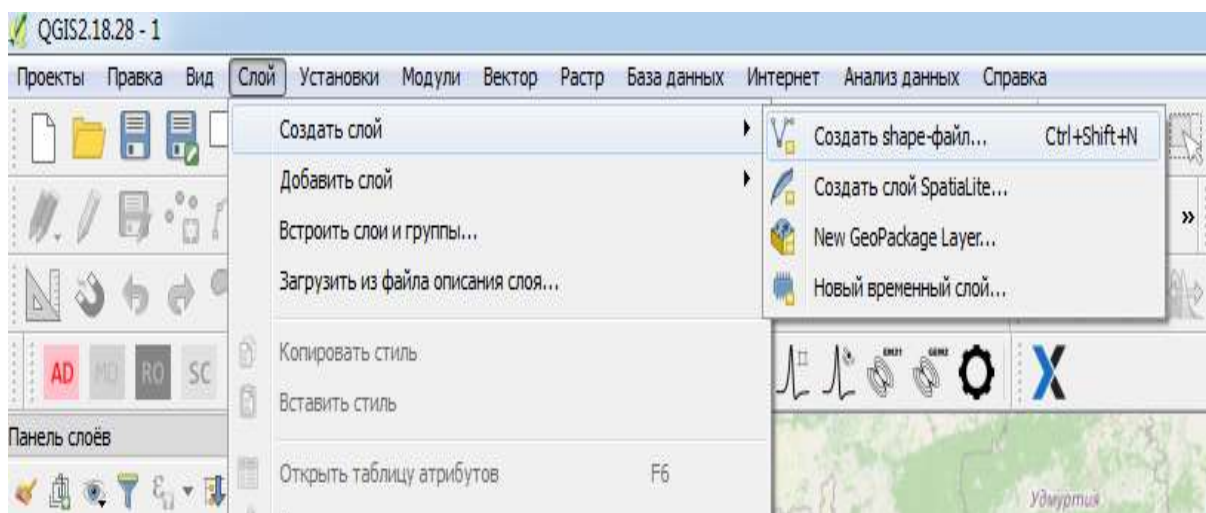


Рисунок 5.1 - Создание shape-файла в QGIS.

Далее задаем необходимые параметры (рисунок 5.2) такие как:

- тип геометрии;
- система координат;
- имя поля.

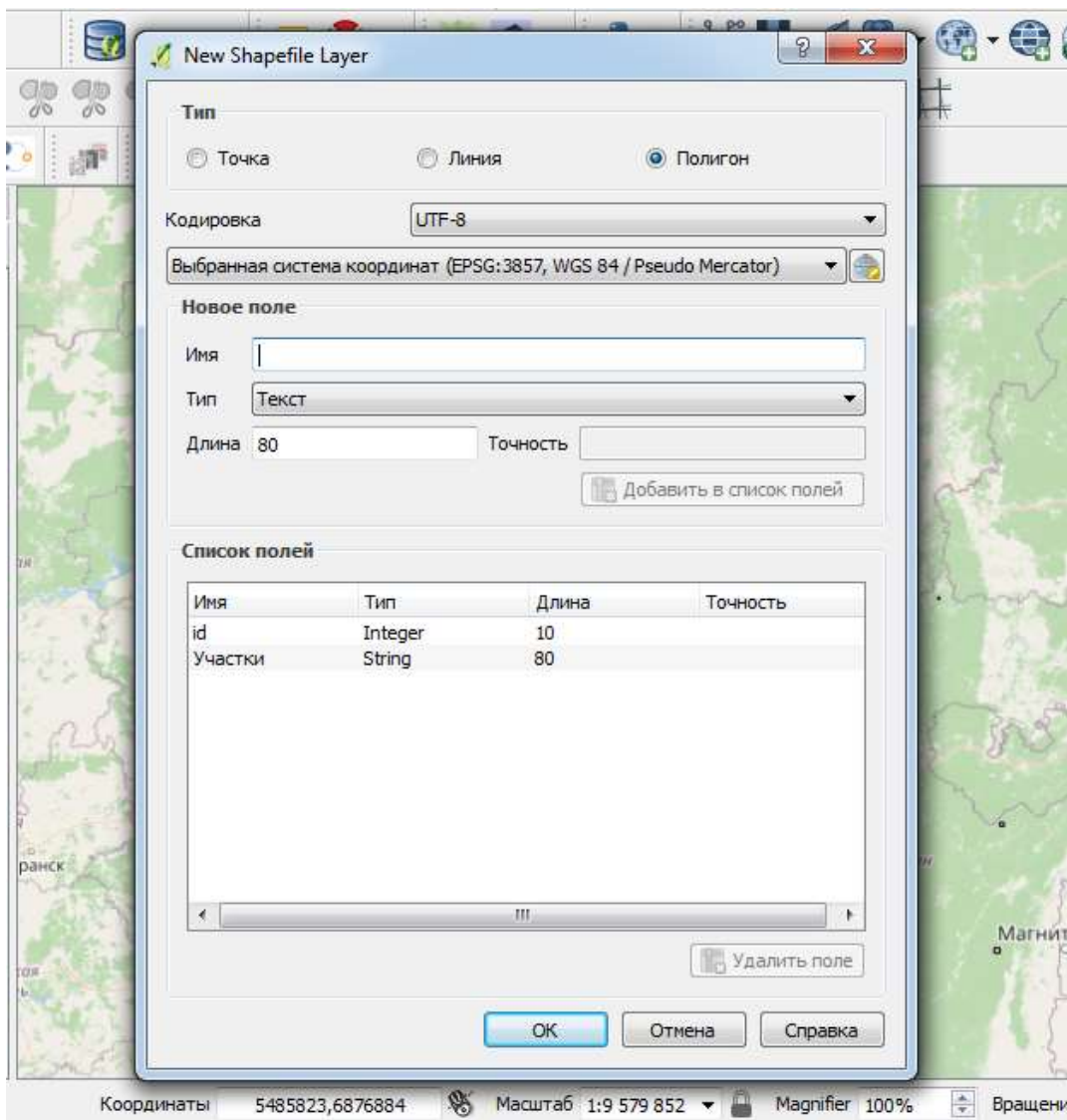


Рисунок 5.2 - Указание необходимых параметров shape-файла.

Далее сохраняем все данные в папке. Появляется слой, включаем режим редактирования и начинаем создавать полигоны (рисунок 5.3).

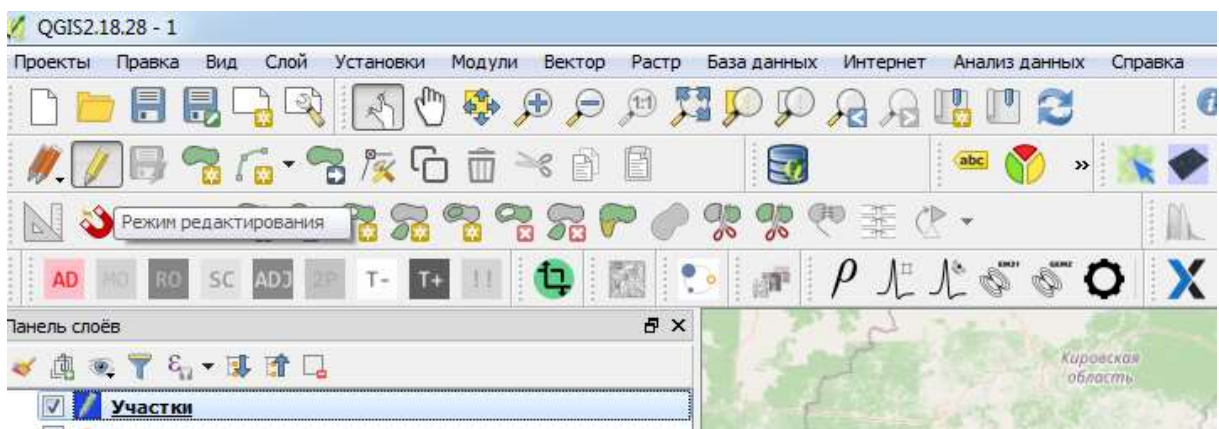


Рисунок 5.3 - Включение режима редактирования.

После создания полтигона обязательным условием является указание номера ID. Это нужно, чтобы Google Earth Engine смог понять, на какую территорию необходимо

подобрать данные. Также следует указать название участка, во избежание путаницы при работе.

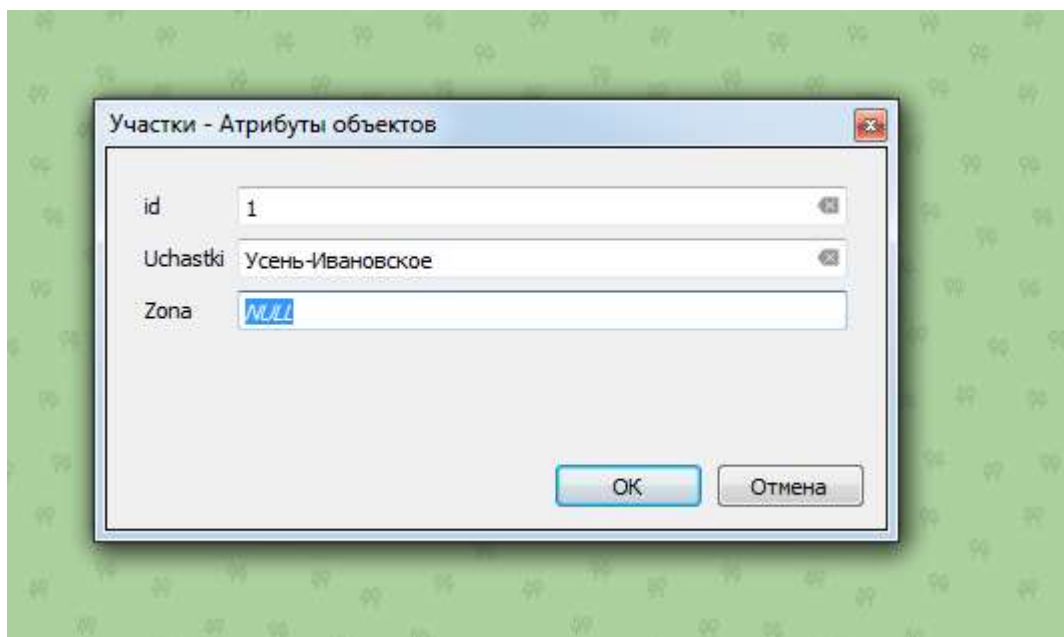


Рисунок 5.4 - Указание номера ID и названия участка.

Название файлов следует написать и сохранить на латинице, так как QGIS не всегда может распознать надписи на кириллице. Также это может привести к ошибке при работе Google Earth Engine.

Имя	Дата изменения	Тип	Размер
Uchastki.cpg	11.04.2021 12:20	Файл "CPG"	1 КБ
Uchastki.dbf	12.04.2021 20:18	Файл "DBF"	2 КБ
Uchastki.prj	11.04.2021 12:20	Текстовый докум...	1 КБ
Uchastki.qpj	11.04.2021 12:20	Файл "QPJ"	1 КБ
Uchastki.shp	12.04.2021 20:18	Файл "SHP"	2 КБ
Uchastki.shx	12.04.2021 20:18	Файл "SHX"	1 КБ

Рисунок. Перечень файлов.

После создания полигонов в QGIS приступаем к работе в Google Earth Engine.

5.2 Разработка методики отбора данных ДЗЗ. Написание кода и обработка данных ДЗЗ в Google Earth Engine

Для того чтобы провести обработку, анализ данных ДЗЗ в Google Earth Engine (GEE) необходимо написать скрипт в редакторе кода. Здесь задаются необходимые параметры для данных, после чего облачная платформа сама обрабатывает

информацию. Таким образом, мы автоматизируем процесс работы.

В начале мы должны импортировать векторные данные, участки, которые были созданы в QGIS. Тем самым указываем границы, где должна быть проделана работа. Выбираем файлы форматов cpg., dbf., prj., shp., shx. Наличие каждого из этих файлов обязательно.

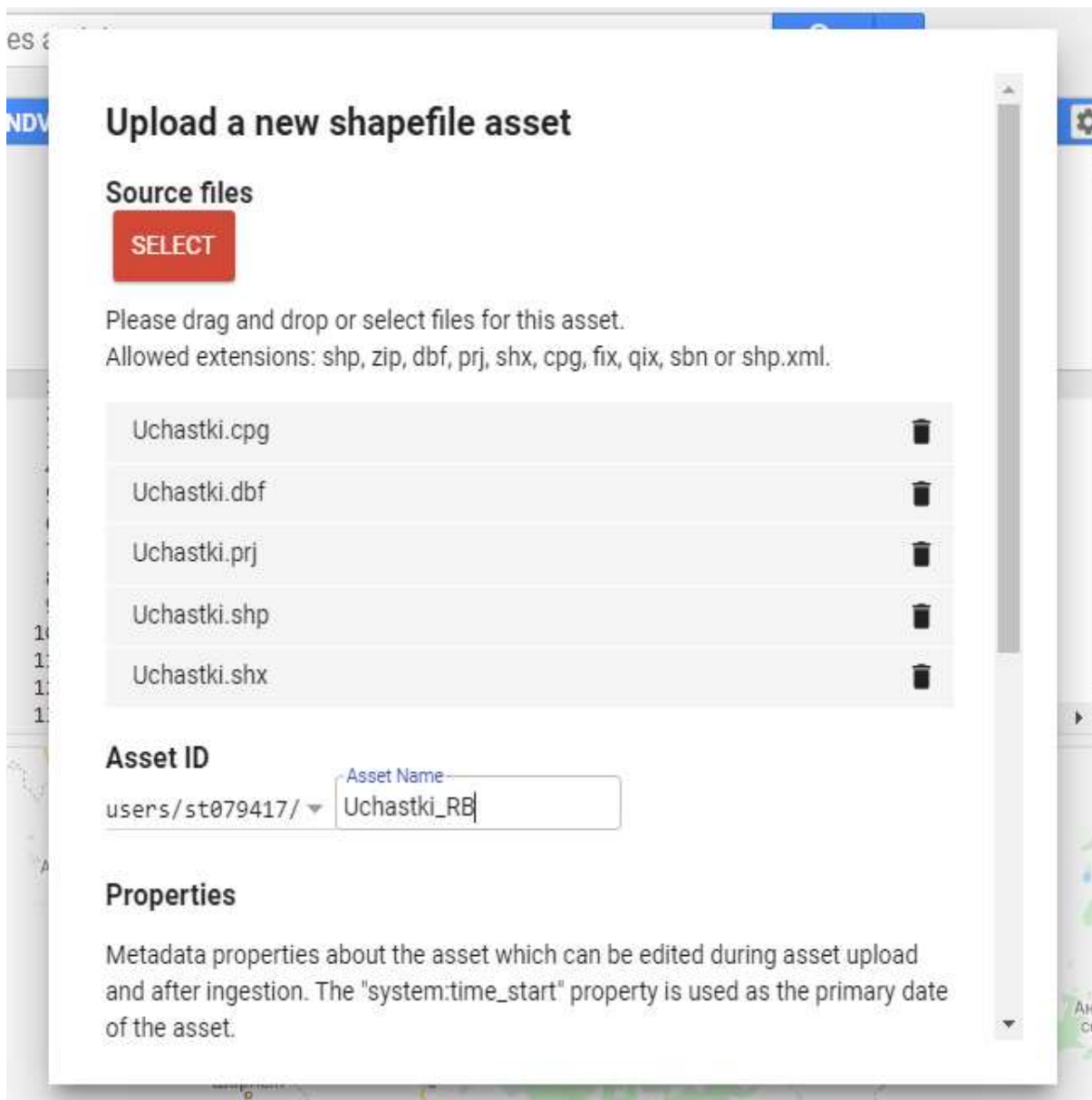


Рисунок 5.5 - Импорт векторных данных в Google Earth Engine.

Опишем структуру кода. В начале, мы указываем, в каких границах мы будем работать (рисунок 5.6). Для этого выбираем share-файл, загруженный в платформу, отмечаем в коде наличие ID в файле, выбираем номер ID (№1 соответствует первому участку, №2 номер второму участку и т.д.). Share-файл был загружен под переменной table. соответственно в скрипте также указываем эту переменную.

```
Imports (1 entry)
var table: Table users/st079417/Uchastki7
  type: FeatureCollection
  id: users/st079417/Uchastki7
  version: 1618248781548507
  columns: Object (4 properties)
  properties: Object (1 property)

1 var region = table.filterMetadata('id', 'equals',1);
2 var region = region.geometry();
3 //var region = geometry
4 var region_b = region.buffer(1000);
5
```

Рисунок 5.6 - Выбор shape-файла и номера ID объекта.

Строка `var region_b = region.buffer(1000)`, нужна для построения буфера от объекта изучения в 1000 метров. Это необходимо для выявления в указанных пределах облачности, чтобы убрать некачественные космические снимки.

Далее нам необходимо указать условия отбора спутниковых снимков. Как было указано в главе 4, нами используется снимки Landsat. Здесь нужно указать начальную дату исследования (у нас 01.01.1985 г.) и конечную дату исследования (у нас 31.12.2020 г.). Для используются переменные Start и End. Также необходимо указать дни для каждого года, в промежутке которых будет проведен отбор снимков. Также нужно указать первый день (переменная FirstDay) и последний день (переменная LastDay). Мы выбрали теплый период года, а именно летние месяцы, с небольшим сдвижением дат.

Также с помощью переменной cloudiness указываем процент облачности, порог, не более которого мы отбираем снимки. В нашем случае процент облачности 50%, если облачность выше, эти снимки не идут в нашу выборку.

```
7 //Условия отбора снимков Landsat.
8 var Start = '1985-01-01'; // Начальная Дата
9 var End = '2020-12-31'; // Конечная дата
10 var FirstDay = 150;
11 var LastDay = 245;
12 var cloudiness = 50; // настройка облачности,не более чем ...% */
```

Рисунок 5.7 - Условия отбора космических снимков.

В данном исследовании мы использовали космические снимки Landsat 5, Landsat 7 и Landsat 8. Космические снимки доступны непосредственно в Google Earth Engine. Для каждого снимка строится маска облачности (рисунок 5.8).

```

14 //cloud mask L8
15 function maskL8sr(image) {
16     // Bits 3 and 5 are cloud shadow and cloud, respectively.
17     var cloudShadowBitMask = 1 << 3;
18     var cloudsBitMask = 1 << 5;
19     // Get the pixel QA band.
20     var qa = image.select('pixel_qa');
21     // Both flags should be set to zero, indicating clear conditions.
22     var mask = qa.bitwiseAnd(cloudShadowBitMask).eq(0)
23     |   .and(qa.bitwiseAnd(cloudsBitMask).eq(0));
24     // Return the masked image, scaled to TOA reflectance, without the QA bands.
25     return image.addBands(mask.rename('clouds'));
26 }

```

Рисунок 5.8 - Скрипт, для построения маски облачности (на примере данных Landsat 8).

```

60 //коллекция из снимков Landsat 8
61 var collection_LC8 = ee.ImageCollection('LANDSAT/LC08/C01/T1_SR')
62   .filterBounds(region_b)
63   .filterDate(Start, End)
64   .filter(ee.Filter.dayOfYear(FirstDay, LastDay))
65   .filterMetadata('CLOUD_COVER', 'less_than', cloudiness)
66   .sort('DATE_ACQUIRED', true)
67   .map(maskL8sr);

```

Рисунок 5.9 - Коллекция из космических снимков (на примере данных Landsat 8).

Далее приступаем к подсчету индексов. В данной работе Для анализа данных Landsat были использованы значения NDVI и NDWI. Нормализованный вегетационный индекс NDVI - это стандартизированный индекс, показывающий наличие и состояние растительности (относительную биомассу) (NDVI, 2020) . Этот индекс использует контраст характеристик двух каналов из набора мультиспектральных растровых данных – поглощения пигментом хлорофилла в красном канале и высокой отражательной способности растительного покрова в инфракрасном канале (NIR). Вычисляется NDVI по следующей формуле:

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED),$$

где NIR - инфракрасный канал, RED - красный канал.

Нормализованный разностный водный индекс (NDWI) – определяет количество влагозапаса в растительном покрове, которое взаимодействует с поступающим солнечным излучением (NDWI, 2020). Этот индекс является относительным. Алгоритм позволяет выявить качественный признак увлажненности растительного покрова. NDWI вычисляется по формуле:

$$NDWI = (NIR - SWIR) / (NIR + SWIR),$$

где NIR и SWIR - значения спектральной яркости в ближней и средней инфракрасной областях спектра соответственно.

Указанные выше формулы, необходимо написать в скрипте, чтобы Google Earth Engine смог подсчитать индексы.

```
var collection_ndvi_3 = collection_sort_3.map((function(image) {
var ndvi = image.expression('(nir-red)/(nir+red)', {
'nir':image.select('B5'),
'red':image.select('B4'),})
.rename('NDVI');
var ndwi = image.expression('(nir-swir)/(nir+swir)', {
'nir':image.select('B5'),
'swir':image.select('B6'),}).
rename('NDWI');
return image.addBands(ndvi).addBands(ndwi);
}));
```

Рисунок 5.10 - Код для подсчета NDVI и NDWI (на примере данных Landsat 8).

После того, как окончательно написан скрипт, нажимаем на кнопку Run, тем самым запуская код. В результате получаем график и набор файлов в форматах csv., svg. и png. В нашей работе были скачаны данные в формате csv., данный формат позволяет импортировать данные в Microsoft Excel, для последующей обработки.

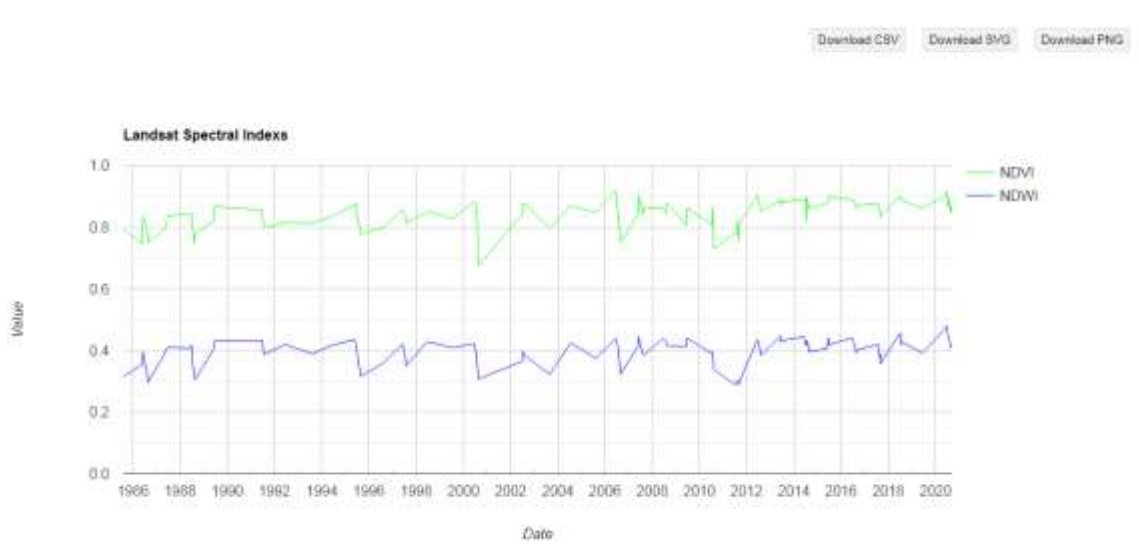


Рисунок 5.11 - Результат обработки данных ДЗЗ в Google Earth, набор файлов в форматах csv., svg. и png.

Полностью код представлен в приложении А.

5.3 Анализ полученных данных и выявление изменений

Данные NDVI и NDWI, полученные в результате обработки данных ДЗЗ в Google Earth Engine, были импортированы в Microsoft Excel, для построения графиков временных рядов. Также самое было сделано и с данными метеостанций. Наряду с построением графиков, также строились линии тренда, чтобы определить тенденцию роста или понижения значений. Источником метеорологической информации стали ресурсы Национального управления океаническими и атмосферными исследованиями (NOAA) и NASA POWER Data Access Viewer. Данные были получены по 7 метеостанциям, за 1985-2020 гг., за теплый период года:

- Аксаково (1 участок, лесостепная зона, Белебеевский район);
- Янаул (2 участок, лесная зона, Янаульский район);
- Аскино (3 участок, лесная зона, Аскинский район);
- Емаши (4 участок, лесная зона, Белокатайский район);
- Белорецк (5 участок, горно-лесная область, Южно-Уральский заповедник);
- Башгосзаповедник (6 участок, горно-лесная область, Башкирский заповедник);
- Мраково (7 участок, горно-лесная область, национальный парк «Башкирия»).

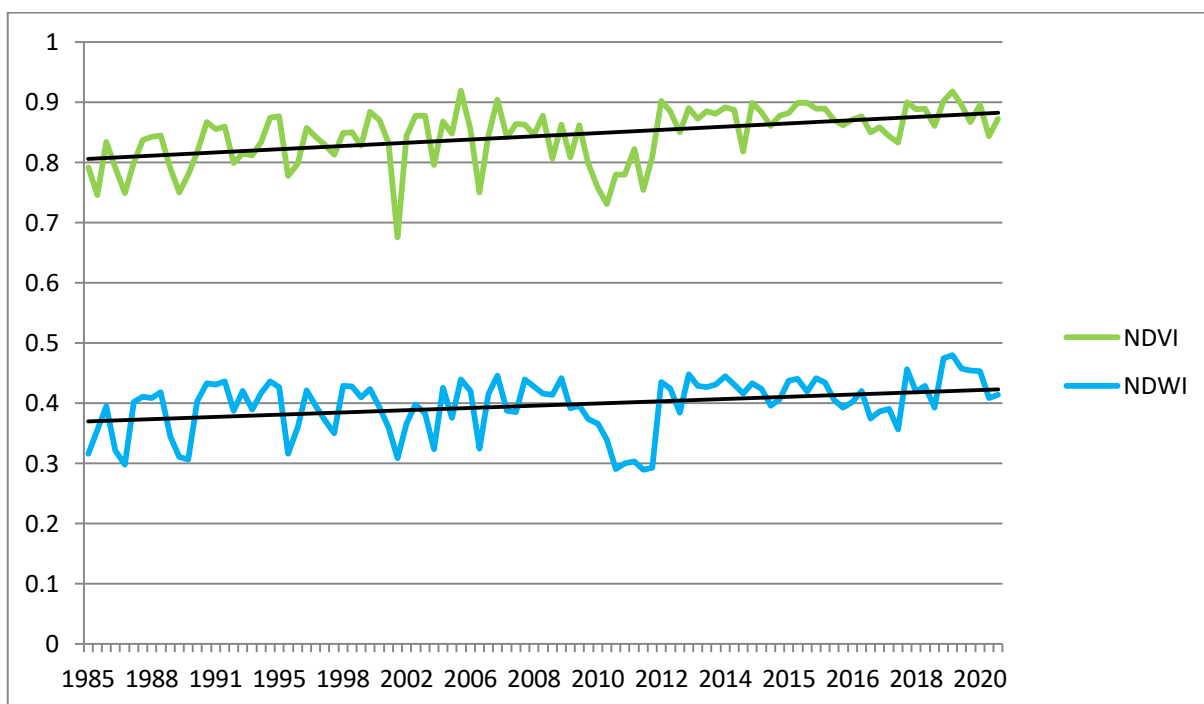


Рисунок 5.12 - Показатели NDVI и NDWI в лесостепной зоне (участок в Белебеевском районе).

Проанализируем данные. При анализе рисунка 5.12, мы видим, что оба показателя NDVI и NDWI имеют тенденцию роста, это показывает и линия тренда. Значительное понижение наблюдается в промежуток с 2010 по 2012 гг. До этого времени значительного повышения индексов не наблюдается, но после 2012 года идет

значительный рост.



Рисунок 5.13 - Температура воздуха в метеостанции Аксаково (1985-2020 гг.).



Рисунок 5.14 - Относительная влажность воздуха в метеостанции Аксаково (1985-2020 гг.).

При анализе метеорологических данных (рисунки 5.13 и 5.14) мы наблюдаем также рост показателей. Для температуры воздуха характерен стабильный рост с 2001-2002 гг.. Пик наблюдается в 2010 году, а относительная влажность в этот год наоборот падает. Относительная влажность в целом показывает рост, но не значительный,

особенно в последние годы.

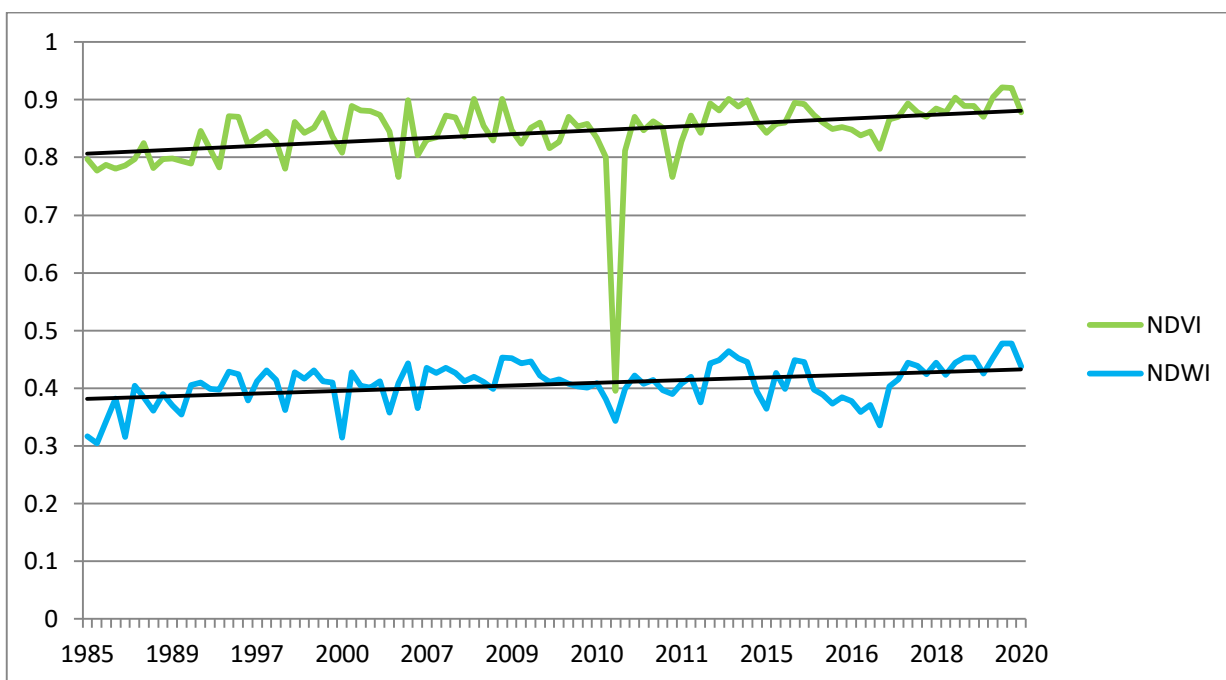


Рисунок 5.15 - Показатели NDVI и NDWI в лесной зоне (участок в Янаульском районе).

На рисунке 5.15 линия тренда показывает тенденцию роста показателей индексов. Особенно выделяется период в 1990-1992 гг., где наблюдается резкий скачок NDVI и NDWI. Далее рост продолжается до 2010 года, где, как и в случае с 1 участком (Белебеевский район), наблюдается значительное понижение показателей. После дальнейшего роста ещё одно понижение происходит в 2016 году и далее продолжается рост.

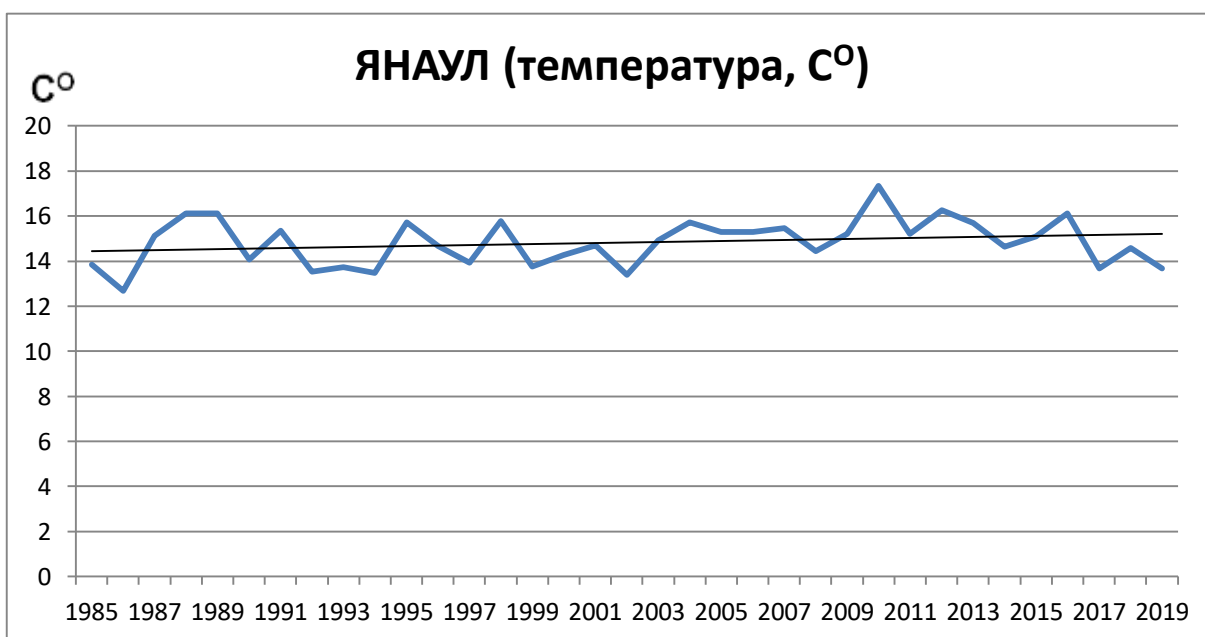


Рисунок 5.16 - Температура воздуха в метеостанции Янаул (1985-2020 гг.).

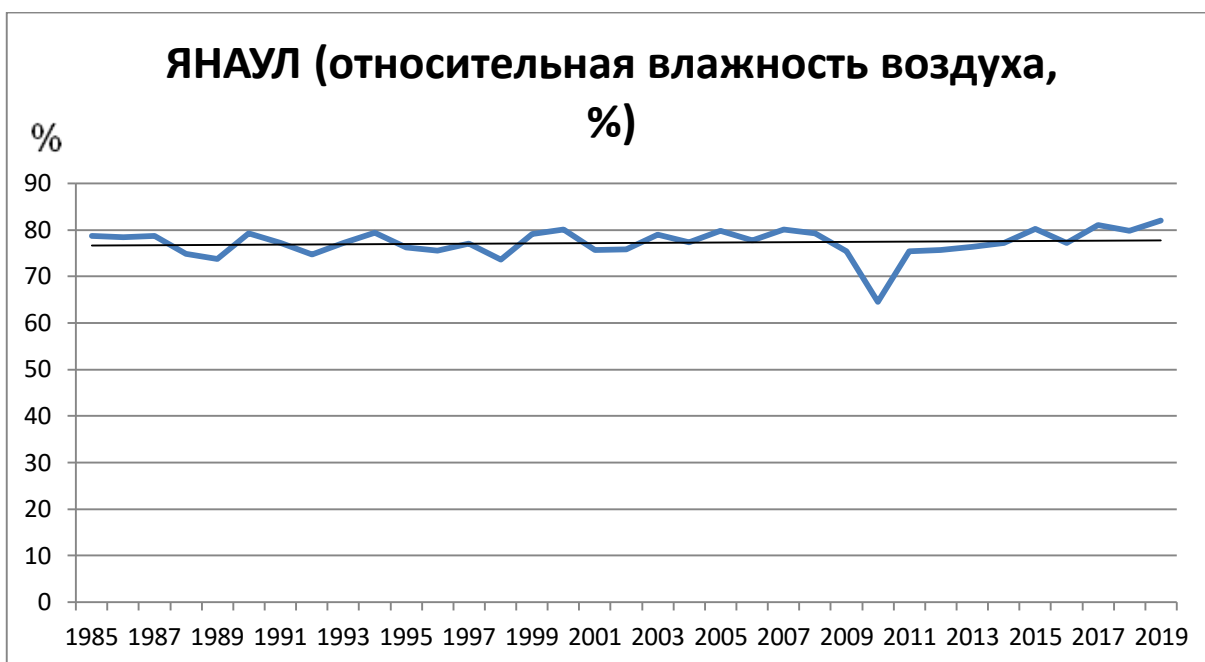


Рисунок 5.17 - Относительная влажность воздуха в метеостанции Янаул (1985-2020 гг.).

При анализе временных рядов метеоданных по метеостанции Янаул (рисунки 5.16 и 5.17), наблюдается тренд увеличения температуры, особенно подъем мы в начале 2000-х. Относительная влажность воздуха также имеет тренд роста, но этот рост очень незначителен.

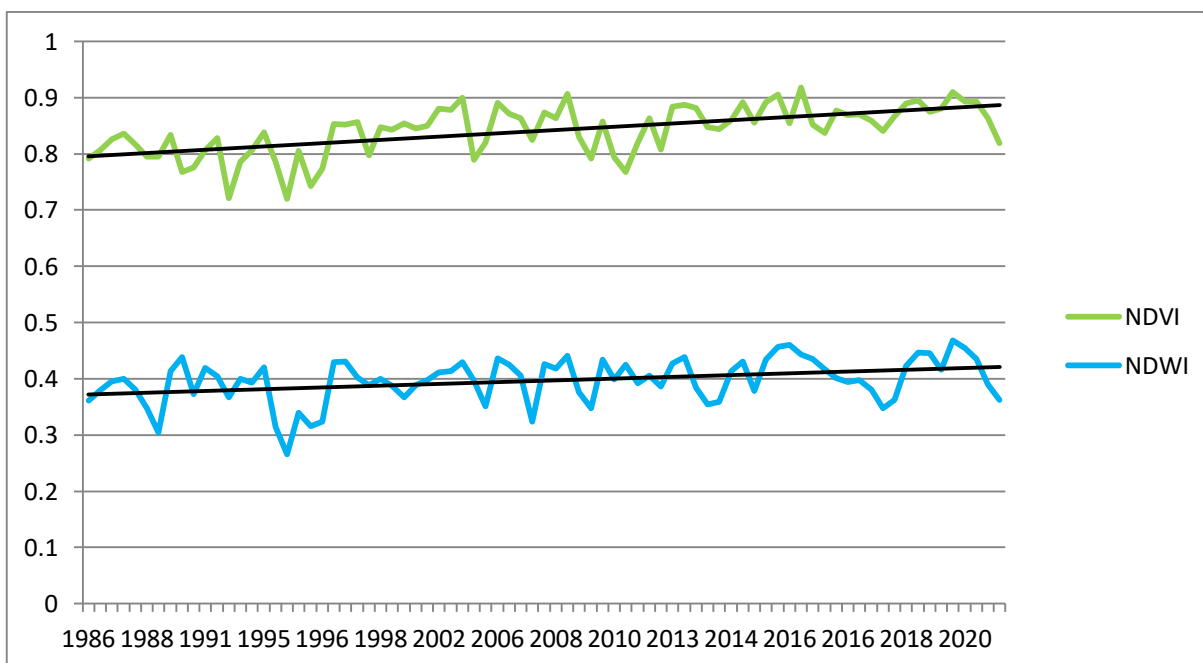


Рисунок 5.18 - Показатели NDVI и NDWI в лесной зоне (участок в Аскинском районе).

На рисунке 5.18 наблюдаем стремительный рост показателей. Особенно это

ярко выражено в промежутке начиная примерно с 1998-1999 гг.. Далее идет незначительное снижение в 2010 г., но общая тенденция роста сохраняется.

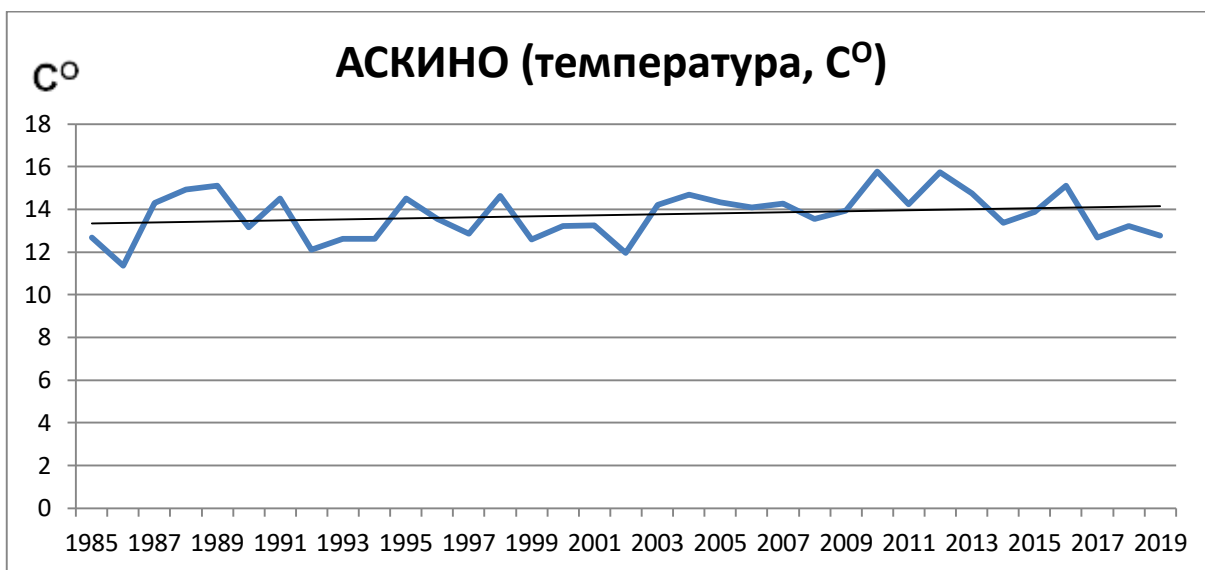


Рисунок 5.19 - Температура воздуха в метеостанции Аскино (1985-2020 гг.).



Рисунок 5.20 - Относительная влажность воздуха в метеостанции Аскино (1985-2020 гг.).

Климатические показатели (рисунки 5.19 и 5.20) показывают следующую картину: наблюдается незначительный рост температуры воздуха, а относительная влажность воздуха показывает стабильно одинаковые значения (не наблюдается тренд роста или понижения), за исключением понижения в 2010-2011 гг.

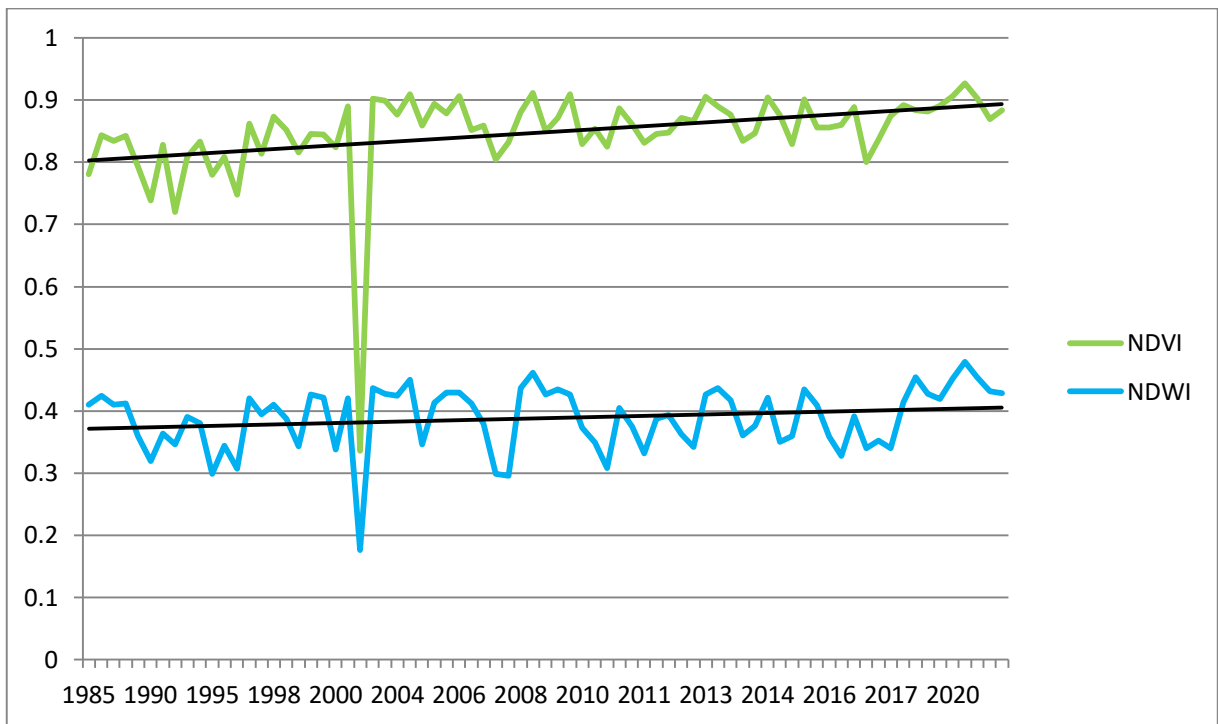


Рисунок 5.21 - Показатели NDVI и NDWI в лесной зоне (участок в Белокатайском районе).

На рисунке 5.21, также видим тенденцию увеличения значений NDVI и NDWI. Стабильный рост показывает NDVI. С 1985 по 1998 гг., увеличение не имеет такого выделяющегося характера, а начиная с конца 1990-х гг. тренд к росту ярко выражен, особенно показатели NDVI.

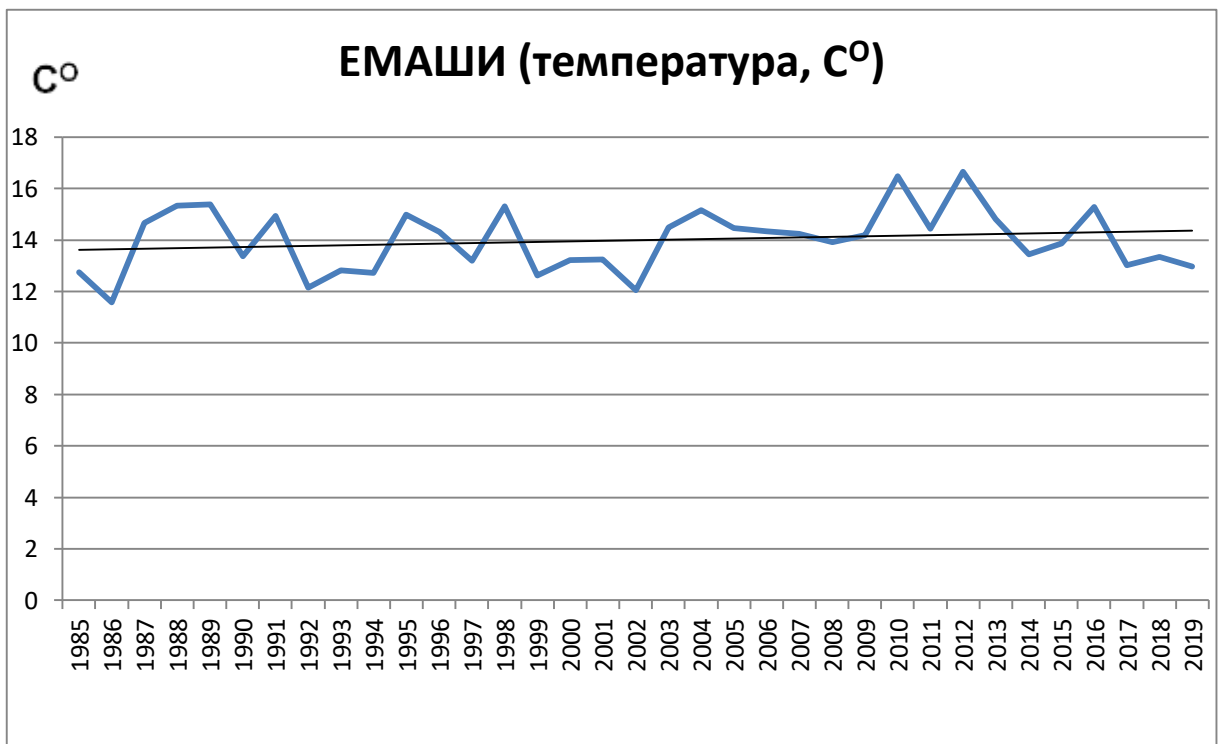


Рисунок 5.22 - Температура воздуха в метеостанции Емаши (1985-2020 гг.).

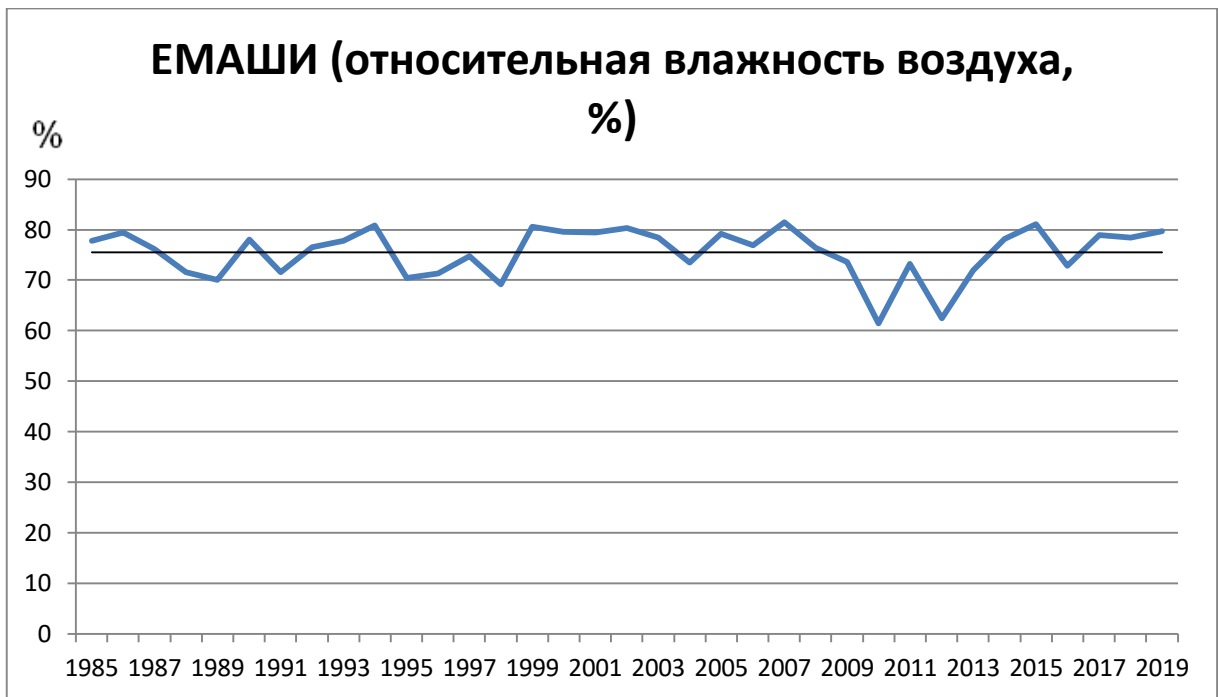


Рисунок 5.23 - Относительная влажность воздуха в метеостанции Емаши (1985-2020 гг.).

Для сопоставления данных NDVI и NDWI с метеоданными, были выбраны данные по станции Емаши (рисунки 5.22 и 5.23). Здесь, как и в большинстве участков линия тренда показывает рост температуры, а показатель относительной влажности воздуха не растет, наблюдаются одинаковые значения, за исключением падения в 2010-2012 гг.

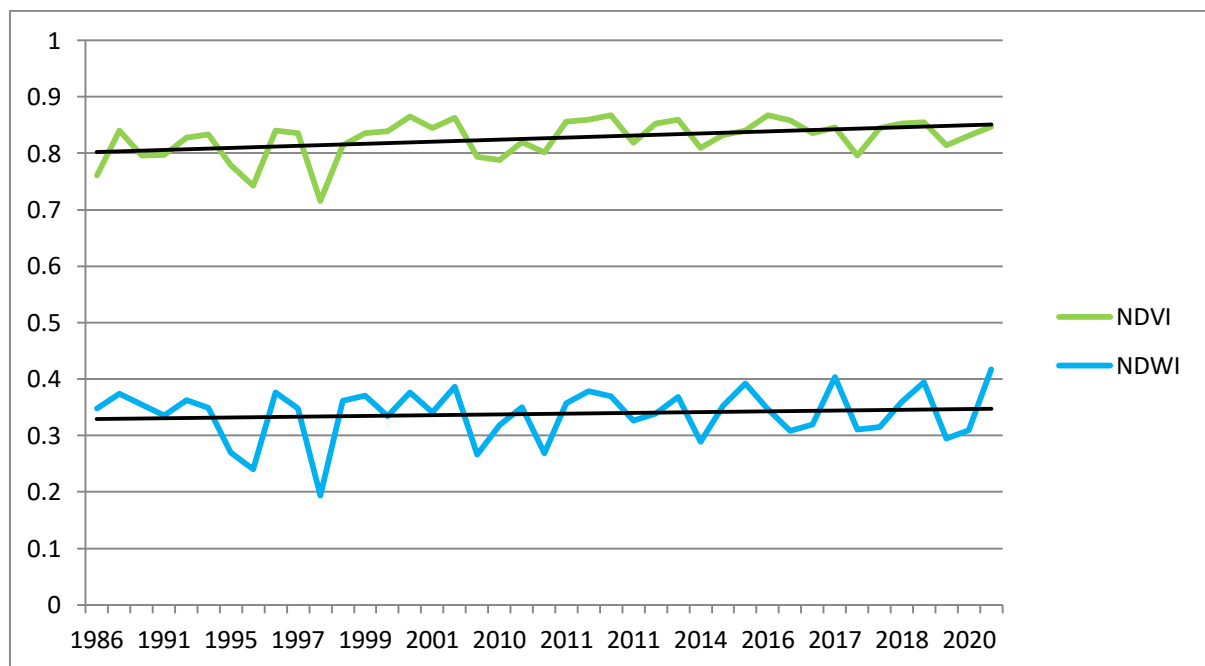


Рисунок 5.24 - Показатели NDVI и NDWI в горно-лесной области (участок в Южно-Уральском заповеднике).

На рисунке 5.24 мы видим также рост значений индексов. Начиная с 1985 года вплоть до 2004 года наблюдается тенденция к росту. Далее до 2010 года наблюдается снижение показателей, а затем начинается снова рост.

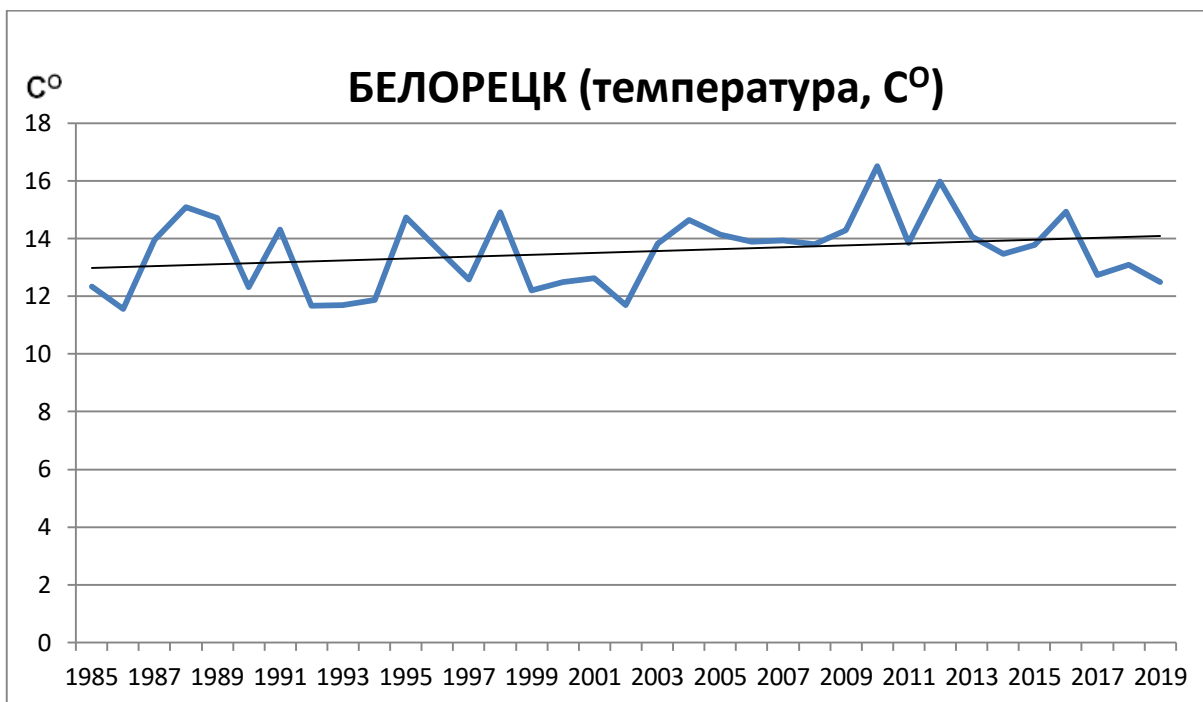


Рисунок 5.25 - Температура воздуха в метеостанции Белорецк (1985-2020 гг.).



Рисунок 5.26 - Относительная влажность воздуха в метеостанции Белорецк (1985-2020 гг.).

В метеостанции Белорецк (рисунки 5.25 и 5.26), значения температуры воздуха имеют тенденцию роста, причем средняя температура ниже 12 C°, не опускается с начала 2000-х годов. Процент относительной влажности воздуха не имеет тренда ни к

росту, ни к понижению.

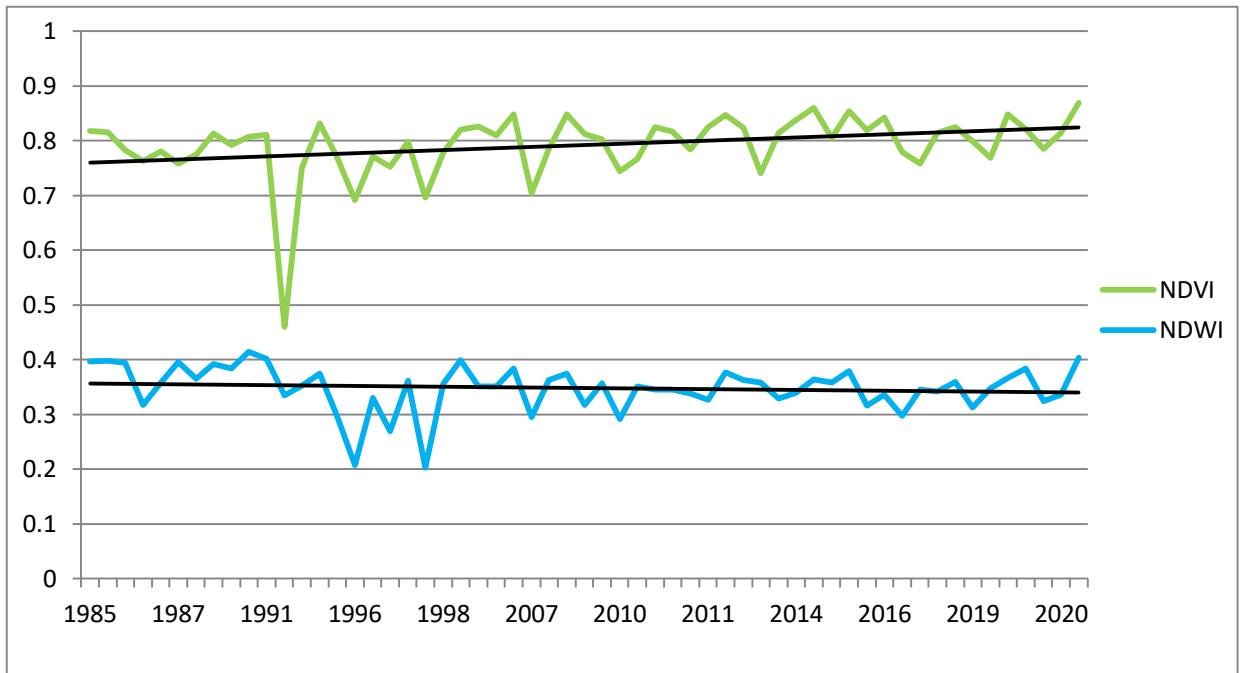


Рисунок 5.27 - Показатели NDVI и NDWI в горно-лесной области (участок в Башкирском заповеднике).

На рисунке 5.27, мы видим, что показатели NDVI растут, а вот линия тренда значений NDWI показывает, что данный индекс имеет тенденцию незначительного снижения. Особенно выделяется промежуток с 1991 по 1998 гг., где наблюдается падение средних значений, после чего индексы возвращаются с характерным для этой территории показателям.



Рисунок 5.28 - Температура воздуха в метеостанции Башгосзаповедник (1985-

2020 гг.).



Рисунок 5.29 - Относительная влажность воздуха в метеостанции Башгосзаповедник (1985-2020 гг.).

Метеорологические данные по метеостанции Башгосзаповедник показывают рост температуры воздуха. Линия тренда на графике показателей относительной влажности воздуха остается ровной на всем протяжении периода исследования.

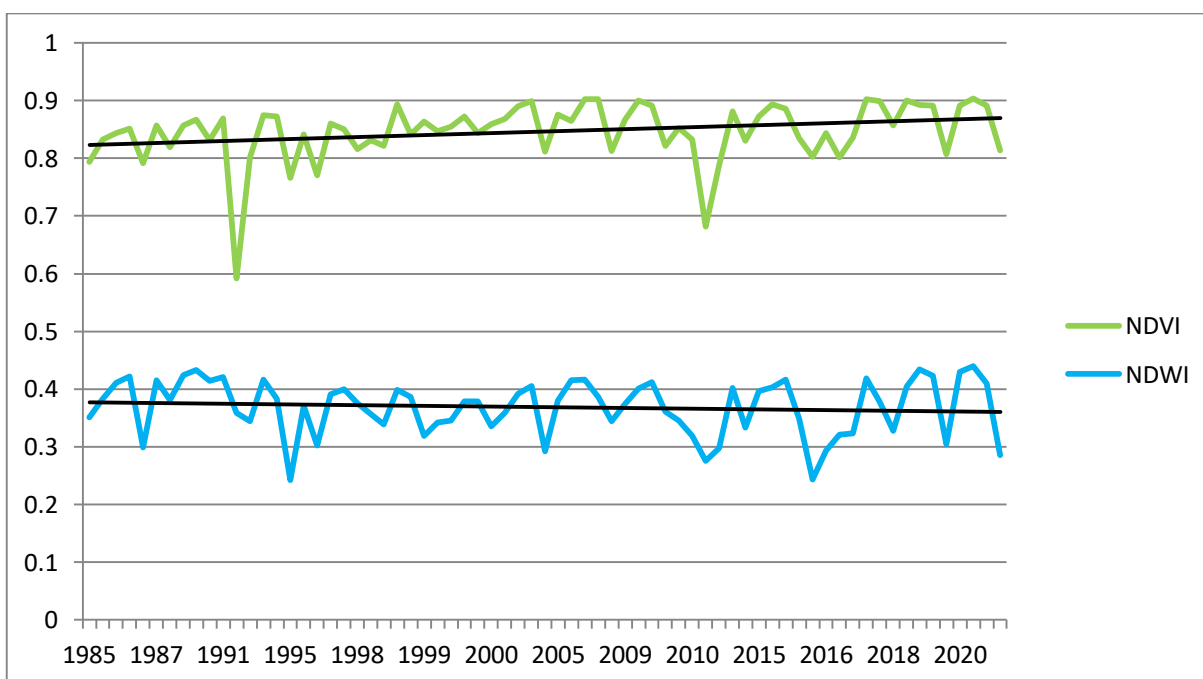


Рисунок 5.30 - Показатели NDVI и NDWI в горно-лесной области (участок в

национальном парке «Башкирия»).

В участке, который находится на территории национального парка «Башкирия», значения NDVI имеет тренд роста, в то же время показатели NDWI показывают тенденцию снижения (рисунок 5.30), хотя в последние годы, пиковые значения совпадают со значениями конца 1980-х годов.

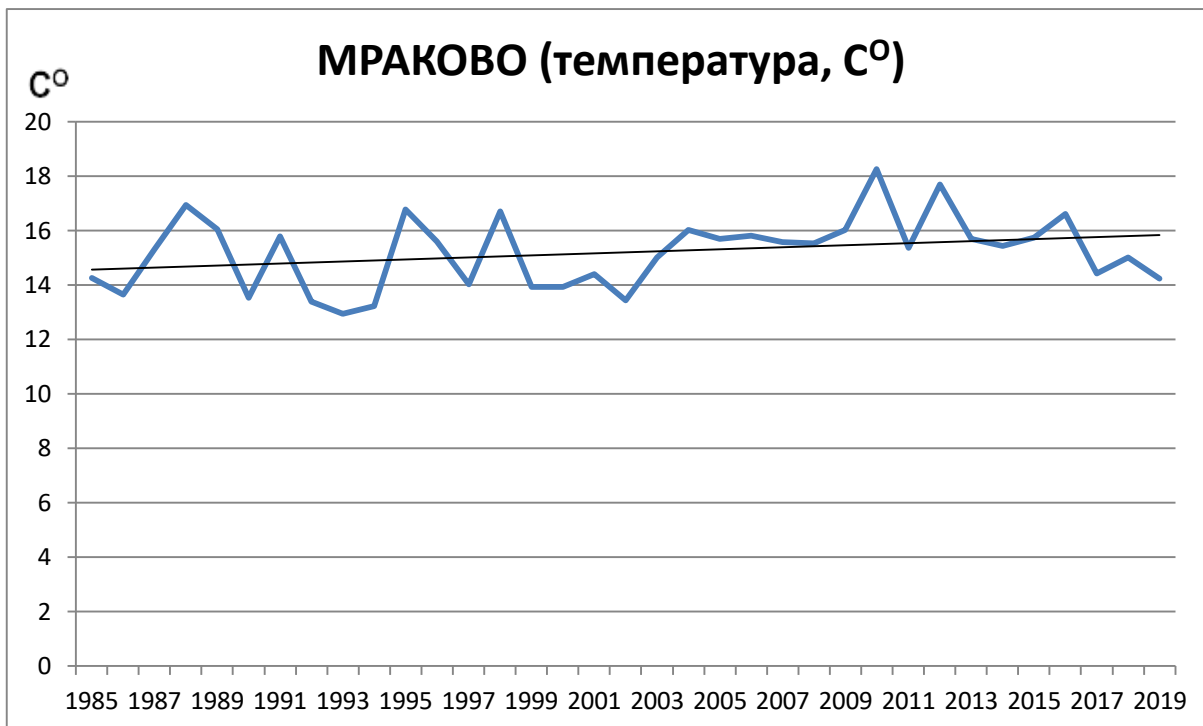


Рисунок 5.31 - Температура воздуха в метеостанции Мраково (1985-2020 гг.).



Рисунок 5.32 - Относительная влажность воздуха в метеостанции Мраково. (1985-2020 гг.).

В ближайшей к национальному парку «Башкирия» метеостанции Мраково,

наблюдается тренд роста температуры воздуха окружающей среды (рисунок 5.31). При рассмотрении графика относительной влажности (рисунок 5.32) мы видим ровную, не имеющей тенденции к росту или понижению, линию тренда. Как и для многих участков, описанных выше выделяется период 2010-2011 гг., где высокие показатели температуры и низкие значения относительной влажности.

Проанализировав значения NDVI и NDWI, полученных на основе данных ДЗЗ, и метеорологические показатели, составив, сравнив данные спутниковой съемки с наземными данными, выявив изменения показателей, можно сделать следующие выводы:

-во всех ключевых участках наблюдается тенденция роста средних значений NDVI. Вместе с тем наблюдается и рост температуры воздуха, в ближайших к этим участкам метеостанциях;

-практически во всех исследуемых участках мы видим тенденцию роста значений NDWI, за исключением участков в Башкирском заповеднике и в национальном парке «Башкирия» (эти участки находятся в горно-лесной области);

-значения относительной влажности воздуха, на всем протяжении периода исследований (1985-1990 гг.) практически не меняются, линии тренда во всех участках (за исключением 1-участка в Белебеевском районе, где есть тенденция роста) остаются ровными, с незначительными повышениями или понижениями значений;

-во всех графиках, и показателей NDVI, NDWI, и метеоданных, выделяются два отличительных периода времени: это конец 1990-х начало 2000-х, где после практически стабильно одинаковых показателей в предыдущие годы, наблюдается начало значительного роста показателей, как полученных дистанционно из космоса, так и наземных данных; 2010 год, в этом году наблюдается пик значений температуры воздуха, в этом году действительно наблюдалась засушливая погода летом (Галимова, 2020). В том же году, показатели NDVI, NDWI и относительной влажности воздуха значительно снижаются.

Исходя из вышеуказанных выводов можно констатировать, что рост температуры воздуха играет огромную роль, в динамике, функционировании лесных экосистем. Из анализа данных видно, что такие индексы как NDVI и NDWI, показывающие состояние лесной растительности, также меняются под влиянием температуры. Относительная влажность воздуха, также оказывает значительное влияние на леса, особенно на содержание влаги в растениях. Дефицит влаги в воздухе, с показателями температуры воздуха выше нормы, могут негативно отразиться на состоянии лесной растительности. В свою очередь, оптимальные значения температуры

и относительной влажности воздуха, будут благоприятно влияют на функционировании, динамику лесных ландшафтов.

Заключение

Данная выпускная квалификационная работа, посвящена изучению региональных особенностей изменений природной среды, с использованием материалов спутниковой съемки. Рассматриваются лесные экосистемы Республики Башкортостан в различных природных зонах, в 7 ключевых участках: в лесостепной зоне, в лесной зоне и в горно-лесной области. В работе представлена методика отбора космических снимков, с параметрами, которые задаются пользователем, учитывая свои научные интересы (временной промежуток, процент допустимой облачности, территория и много других показателей), проведен статистический анализ полученных данных ДЗЗ и наземных данных с метеостанций.

В выпускной квалификационной работе были реализованы следующие задачи:

1. Проведен обзор литературы, рассмотрена изученность, актуальность данной темы;
2. Изучены вопросы глобальных изменений природной среды, влияние глобальных изменений на природную среду Республики Башкортостан;
3. Дана географическая характеристика территории Республики Башкортостан, описаны природные особенности исследуемых ключевых участков;
4. Проведен подбор космических снимков, сбор метеорологических данных;
5. Разработана методика автоматизированного отбора и обработки космических снимков, которая реализуется в сервисе Google Earth Engine;
6. Проведен статистический анализ средних значений NDVI и NDWI, полученных путем обработки данных ДЗЗ в Google Earth Engine;
7. Проведен статистический анализ метеорологических данных;
8. Сделан сравнительный анализ данных NDVI и NDWI, с данными метеостанций, оценена роль климатического фактора на функционировании лесной растительности;
9. Выявлены изменения в значениях при анализе временных рядов NDVI, NDWI и метеоданных;
10. Сделан сравнительный анализ данных NDVI и NDWI, с данными метеостанций, оценена роль климатического фактора на динамику, функционировании лесной растительности.

В результате, были выяснено, на территории Республики Башкортостан, в различных природных зонах, наблюдается изменения, такие как рост показателей NDVI (во всех ключевых участках); рост NDWI в 1,2,3,4,5 участках, в 6 и 7 ключевых участках наблюдается снижение данного показателей данного индекса. Рассматривая

ход данных температуры воздуха и относительной влажности воздуха, видим, что на всех близлежащих к ключевым участкам метеостанциях, наблюдается рост значений температуры воздуха. Рост относительной влажности воздуха наблюдается только в метеостанции Аксаково, расположенный рядом 1 участком. В остальных же ключевых участках, тренд к увеличению или, наоборот, к снижению показателя отсутствуют, линия тренда значений остается ровной на всем протяжении времени исследования.

Исследование функционирования ландшафтов, экосистем является важной задачей, особенно в контексте глобальных изменений природной среды, так как позволяет оценить дальнейшую динамику, а это необходимо как для научных, так и для практических целей.

Литература

1. Атлас Республики Башкортостан. / -М.: Ком. по геодезии и картографии РФ, 1992, 40 с.
2. Атлас Республики Башкортостан. Под ред. Япарова И.М. Уфа: Китап, 2005, 419 с.
3. Второй оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Под ред. В.М. Катцова, С.М. Семенова. 2014. М., Росгидромет, 1018 с.
4. Галимова Р.Г. Оценка влияния современных климатических изменений в природных зонах Республики Башкортостан // Региональные геосистемы, 2020. Том 44, № 2: С.125–137.
5. Гарбук С. В., Гершензон В. Е. Космические системы дистанционного зондирования Земли. М., 1997, 296 с.
6. Глобальные климатические изменения: региональные эффекты, модели, прогнозы : Материалы международной научно-практической конференции (г. Воронеж, 3- 5 октября 2019 г.) / Под общ. редакцией С.А. Куролапа, Л.М. Акимова, В.А. Дмитриевой. –Воронеж: Издательство «Цифровая полиграфия», 2019. Том 2.444 с.
7. Голятина М.А., Вахнина И.Л., Носкова Е.В. Оценка динамики площадей, пройденных пожарами, на территории Забайкальского края в условиях изменения климата по данным ДЗЗ // Географический вестник, 2018. №3(46). С. 126–135.
8. Дашкевич Л.В., Немцева Л.Д., Бердников С.В.. Оценка ледовитости Азовского моря в XXI веке по спутниковым снимкам Terra/Aqua MODIS и результатам математического моделирования // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2016. Т. 13. № 5. С. 91–100.
9. Доклад о климатических рисках на территории Российской Федерации. СПб., ГГО им. А.И. Воейкова, 2017. 106 с.
10. Елсаков В. В., Щанов В. М.. Современные изменения растительного покрова пастбищ северного оленя Тиманской тундры по результатам анализа данных спутниковой съёмки // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2019. Т. 16. №2. С. 128–142.
11. Замолодчиков Д.Г., Краев Г.Н. 2016. Влияние изменений климата на леса России: зафиксированные воздействия и прогнозные оценки. Устойчивое лесопользование, 4 (48): 23–31.
12. Кашкин В.Б., Сухинин А.И. Дистанционное зондирование Земли из космоса. Цифровая обработка изображений: Учебное пособие. - М.: Логос, 2001, 264 с.

13. Книжников Ю. Ф., Кравцова В. И. Аэрокосмические исследования динамики географических явлений. М.: Изд-во МГУ, 1991, 206 с.
14. Книжников Ю. Ф., Кравцова В. И., Тутубалта О. В. Аэрокосмические методы географических исследований. М.: Издательский центр «Академия», 2004, 336 с.
15. Кравцова В. И. Космические методы картографирования. М.: Изд-во МГУ, 1995, 240 с.
16. Курганович К.А., Макаров В.П. Использование вегетационных индексов NDVI для оценки влияния пожаров на динамику растительности Цасучейского бора // Вестник Забайкал. гос. ун-та., 2014. №2(117). С. 27–36.
17. Кугузов А.В.. Оперативный спутниковый мониторинг скоплений планктонных водорослей и количественная оценка их плотности // Географический вестник. 2016. №3. С.160-168.
18. Лабутина И. А. Дешифрирование аэрокосмических снимков: учеб. пособие. М.: Аспект Пресс, 2004, 184 с.
19. Лаврова О. Ю., Костяной А. Г., Лебедев С. А., Митягина М. И., Гинзбург А. И., Шеремет Н. А. Комплексный спутниковый мониторинг морей России. М., ИКИ РАН, 2011, 480 с.
20. Лаврова О.Ю., Митягина М.И., Костяной А.Г. Спутниковые методы выявления и мониторинга зон экологического риска морских акваторий. М., ИКИ РАН, 2016, 315 с.
21. Лебедев Л.И, Ясаков Ю.В., Утешева Т.Ш., Громов В.П., Борусяк А.В., Турлапов В.Е.. Комплексный анализ и мониторинг состояния окружающей среды на основе данных ДЗЗ // Компьютерная оптика, 2019. Т.43. №2. С.282-295.
22. Лебедева К.О., Дячук Т.А., Дубина В.А.. Поверхностная циркуляция вод Татарского пролива по данным спутников серии LANDSAT // Научные труды Дальрыбвтуза, Т.39. С. 29-33.
23. Матушко А.К., Якубайлик О.Э. Мониторинг температуры земной поверхности территории Красноярска и окрестностей на основе спутниковых данных LANDSAT -8 // Успехи современного естествознания, 2018. №7. С. 177-182.
24. Нерушев А. Ф., Ивангородский Р. В.. Определение зон турбулентности в верхней тропосфере на основе спутниковых измерений // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2019. Т. 16. №1. С. 205–215.
25. Онаев М.К., Туктаров Р.Б., Тарбаев В.А., Гафуров Р.Р. Использование спутниковых методов исследований в изучении режима затопления и современного состояния растительного покрова лиманов // Успехи современного естествознания, 2018. №7. С.183-188.

26. Пасько О.А. и др. Оценка состояния припоселковых кедровников Томской области с использованием данных // Оценка состояния припоселковых кедровников Томской области с использованием данных, Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2019. Т. 330. № 1. С. 98–109.
27. Рулев А.С., Канищев С.Н., Шинкаренко С.С.. Анализ сезонной динамики NDVI естественной растительности Заволжья Волгоградской области // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016 Т. 13 № 4 С. 113–123.
28. Савиных В. П., Малинников В. А., Сладкопечев С. А., Цыпина Э. М. География из космоса. М.: Моск. гос. ун-т геодезии и картографии, 1995, 223 с.
29. Современные глобальные изменения природной среды: монография. Т. 3: Факторы глобальных изменений / отв. ред. Н. С. Касимов, Р. К. Клиге; РАЕН, МГУ. - М.: Научный мир, 2012 - 444 с.
30. Сутырина Е. Н. Дистанционное зондирование земли : учеб. пособие / – Иркутск : Изд-во ИГУ, 2013, 165 с.
31. Терехин Э. А., Постернак Т.С.. Процессы лесовозобновления на залежных землях юга Западной Сибири и их анализ с применением данных дистанционного зондирования // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2019. Т. 16. №4. С. 161–172.
32. Шовенгердт Р.А.; пер. с англ. Кирюшина А.В., А. И. Демьяникова А.И. Дистанционное зондирование. Модели и методы обработки изображений. М.: Техносфера, 2010, 556 с.
33. Эколого-географические последствия глобального потепления климата XXI века на Восточно-Европейской равнине и в Западной Сибири. Под ред. Н.С. Касимова, А.В. Кислова. М.: МАКС Пресс, 2011, 496 с.
34. Южное Предуралье: география, геология, тектоника и геоморфология: монография / Г.Т.-Г. Турикешев, Г.А. Данукалова, Ш.-И.Б. Кутушев. — М. : ИНФРА-М, 2016 — 260 с.
35. Agapiou A. Remote sensing heritage in a petabyte-scale - Satellite data and heritage Earth Engine applications // International Journal of Digital Earth, 2017. Vol 10, P. 85-102.
36. An Operational Before-After-Control-Impact (BACI) Designed Platform for Vegetation Monitoring at Planetary Scale [Электронный ресурс] - <https://www.mdpi.com/2072-4292/10/5/760/htm>.
37. Chen, B.; Xiao, X.; Li, X.; Pan, L.; Doughty, R.; Ma, J.; Dong, J.; Qin, Y.; Zhao, B.; Wu, Z. A mangrove forest map of China in 2015: Analysis of time series Landsat 7/8 and

Sentinel-1A imagery in Google Earth Engine cloud computing platform // ISPRS J. Photogramm. Remote Sens, 2017. 131. P. 104–120.

38. Corbane, C., S. Lang, K. Pipkins, S. Alleaume, M. Deshayes, V. E. García Millán, T. Strasser, J. Vanden Borre, S. Toon, and F. Michael. 2015. Remote sensing for mapping natural habitats and their conservation status – New opportunities and challenges // International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2015. P. 7–16.

39. Estel S., Kuemmerle T., Levers C., Hostert P., Alcántara C., Prishchepov A. Mapping farmland abandonment and recultivation across Europe using MODIS NDVI time series // Remote Sensing of Environment, 2015. V. 163. P. 312–325.

40. Fensholt R., Proud S. R. Evaluation of Earth Observation based global long term vegetation trends - Comparing GIMMS and MODIS global NDVI time series // Remote Sensing of Environment, 2012. Vol. 119. P. 131–147.

41. Geospatial Ecology and Remote Sensing [Электронный ресурс] - <https://www.geospatialecology.com>.

42. Gorelick, N.; Hancher, M.; Dixon, M.; Ilyushchenko, S.; Thau, D.; Moore, R. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. Remote Sens. Environ. 2017, 202, P. 18–27.

43. Gorelick, N.; Hancher, M.; Dixon, M.; Ilyushchenko, S.; Thau, D.; Moore, R. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone // Remote Sens. Environ, 2017. 202. P. 18–27.

44. Hansen, M. C., P. V Potapov, R. Moore, M. Hancher, S. A. Turubanova, A. Tyukavina, D. Thau, S. V Stehman, S. J. Goetz, T. R. Loveland, A. Kommareddy, A. Egorov, L. Chini, C. O. Justice, and J. R. G. Townshend. High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change // Science, 2013. 342. P. 850-853.

45. Keenan, R.J.; Reams, G.A.; Achard, F.; de Freitas, J.V.; Grainger, A.; Lindquist, E. Dynamics of global forest area: Results from the FAO Global Forest Resources Assessment // For. Ecol. Manag. 2015. 352. P. 9–20.

46. Kilpatrick K.A., Podestá G., Walsh S., Williams E., Halliwell V., Szczodrak M., Brown O.B., Minnett P.J., Evans R. A decade of sea surface temperature from MODIS // Remote Sensing of Environment. 2015. Vol. 165. P. 27–4

47. Kim D.-H., Sexton J.O., Noojipady P., Huang C., Anand A., Channan S., Feng M., Townshend J.R.. Global, Landsat-based forest-cover change from 1990 to 2000 // Remote Sensing of Environment, 2014. Vol. 155. P. 178-193.

48. Klein, T.; Nilsson, M.; Persson, A.; Håkansson, B. From Open Data to Open Analyses // New Opportunities for Environmental Applications Environments, 2017. 4. P. 32.

49.Lastovicka J., Svec P., Paluba D., Kobliuk N., Svoboda J., Hladky R., Stych P. Sentinel-2 Data in an Evaluation of the Impact of the Disturbances on Forest Vegetation. *Remote Sensing*. 2020. 12(12):1914.

50.Lawley, V., M. Lewis, K. Clarke, and B. Ostendorf. 2016. Site-based and remote sensing methods for monitoring indicators of vegetation condition: An Australian review // *Ecological Indicators*, 2016. 60. P. 1273–1283.

51.Lingkui M., Jiyuan L. A System for Automatic Processing of MODIS L1B Data // *Proceedings of the 8th International Symposium on Spatial Accuracy Assessment in Natural Resources and Environmental Sciences, China*, 2008. P. 335–343.

52.Merlin O., Duchemin B., Hagolle O., Jacob F., Coudert B., Chehbouni G., Dedieu G., Garatuza J., Kerr Y. Disaggregation of MODIS surface temperature over an agricultural area using a time series of Formosat-2 images // *Remote Sens. Environ*, 2010. 114. P. 2500–2512.

53.Mingwei Z., Qingbo Z., Zhongxin C., Jia L., Yong Z., Chongfa C. Crop discrimination in Northern China with double cropping systems using Fourier analysis of time-series MODIS data // *Intern. J. Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2008. Vol. 10. P. 476–485.

54.Newton, A. C., R. A. Hill, C. Echeverría, D. Golicher, J. M. Rey Benayas, L. Cayuela, and S. A. Hinsley. Remote sensing and the future of landscape ecology // *Progress in Physical Geography*, 2009. 33. P. 528–546.

55.Niclos R., Valiente J.A., Barbera M.J., Caselles V. Land Surface Air Temperature Retrieval from EOS-MODIS Images // *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 2014. Vol. 11, No. 8. P. 1380–1384.

56.Patel N.N., Angiuli E., Gamba P., Gaughan A., Lisini G., Stevens F.R., Tatem A.J., Trianni G. Multitemporal settlement and population mapping from Landsat using Google Earth Engine // *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2015. Vol. 35, pp. 199-208.

57.Pei, Fengsong, Zhou Yi, Xia Yan. Application of Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) for the Detection of Extreme Precipitation Change // *Forests*, 2021. 12. no. 5: P. 125-141.

58.Roy D.P., Kovalskyy V., Zhang H.K., Vermote E.F., Yan L., Kumar S.S., Egorov A. Characterization of Landsat-7 to Landsat-8 reflective wavelength and normalized difference vegetation index continuity // *Remote Sensing of Environment*, 2016. Vol. 185. P. 57-70.

59.Sekhon N.S., Hassan Q.K., Sleep R.W. A Remote Sensing Based System to Predict Early Spring Phenology Over Boreal Forest // *The International Archives of the*

Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 2010. Vol. XXXVIII. Part 1. № 5. P.14.

60. Willis, K. S.. Remote sensing change detection for ecological monitoring in United States protected areas // *Biological Conservation*, 2015. 182. P. 233–242.

61. Xiong J., Thenkabail P.S., Gummab M.K., Teluguntla P., Poehnelt J., Congalton R.G., Yadav K., Thau D. Automated cropland mapping of continental Africa using Google Earth Engine cloud computing // *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2017. Vol 126. P. 225-244.

62. Zhu Z., Wang S., Woodcock C.E. Improvement and expansion of the Fmask algorithm: cloud, cloud shadow, and snow detection for Landsats 4–7, 8, and Sentinel 2 images // *Remote Sensing of Environment*, 2015. Vol 159. P. 269-277.

63. Вегетационные индексы [Электронный ресурс]. URL: https://www.earthobservatory.nasa.gov/features/MeasuringVegetation/measuring_vegetation_4.php (дата обращения 15.12.2020).

64. Google Earth Engine [Электронный ресурс]. URL: <https://earthengine.google.com> (дата обращения 03.10.2020).

65. NASA Earth data [Электронный ресурс]. URL: <https://earthdata.nasa.gov/learn/backgrounders/remote-sensing> (дата обращения 17.11.2020).

66. NASA POWER Data Access Viewer [Электронный ресурс]. URL: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/> (дата обращения 27.02.2021).

67. NDVI [Электронный ресурс]. URL: <http://agro.geoanalitika.com> (дата обращения 15.12.2020).

68. NDWI [Электронный ресурс]. URL: <http://agro.geoanalitika.com> (дата обращения 15.12.2020)

69. NOAA [Электронный ресурс]. URL: <https://gis.ncdc.noaa.gov/maps/ncei/summaries/monthly> (дата обращения 25.02.2021).

70. QGIS [Электронный ресурс]. URL: <https://qgis.org/ru/site/> (дата обращения 28.09.2020).

71. Using Google Earth Engine for Landsat NDVI time series analysis to indicate the present status of forest stands [Электронный ресурс]. URL: https://www.researchgate.net/publication/320708352_Using_Google_Earth_Engine_for_Landsat_NDVI_time_series_analysis_to_indicate_the_present_status_of_forest_stands (дата обращения 21.10.2020).

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ А. Код для отбора и обработки данных дистанционного зондирования Земли.

```
var region = table.filterMetadata('id', 'equals',7);
var region = region.geometry();
//var region = geometry
var region_b = region.buffer(1000);
//Условия отбора снимков Landsat.
var Start = '1985-01-01'; // Начальная Дата
var End = '2020-12-31'; // Конечная дата
var FirstDay = 150;
var LastDay = 245;
var cloudiness = 50; // настройка облачности,не более чем ...% */
//cloud mask L8
function maskL8sr(image) {
  // Bits 3 and 5 are cloud shadow and cloud, respectively.
  var cloudShadowBitMask = 1 << 3;
  var cloudsBitMask = 1 << 5;
  // Get the pixel QA band.
  var qa = image.select('pixel_qa');
  // Both flags should be set to zero, indicating clear conditions.
  var mask = qa.bitwiseAnd(cloudShadowBitMask).eq(0)
    .and(qa.bitwiseAnd(cloudsBitMask).eq(0));
  // Return the masked image, scaled to TOA reflectance, without the QA bands.
  return image.addBands(mask.rename('clouds'));
}
//cloud mask L457
var cloudMaskL457 = function(image) {
  var qa = image.select('pixel_qa');
  // If the cloud bit (5) is set and the cloud confidence (7) is high
  // or the cloud shadow bit is set (3), then it's a bad pixel.
  var cloud = qa.bitwiseAnd(1 << 5)
    .and(qa.bitwiseAnd(1 << 7))
    .or(qa.bitwiseAnd(1 << 3))
  // Remove edge pixels that don't occur in all bands
  var mask = cloud.not();
```



```

return image.addBands(mask.rename('clouds'));
};
//коллекция из снимков Landsat 5
var collection_LT5 = ee.ImageCollection('LANDSAT/LT05/C01/T1_SR')
  .filterBounds(region_b)
  .filterDate(Start, End)
  .filter(ee.Filter.dayOfYear(FirstDay, LastDay))
  .filterMetadata('CLOUD_COVER', 'less_than', cloudiness)
  .sort('DATE_ACQUIRED',true)
  .map(cloudMaskL457)
//коллекция из снимков Landsat 7
var collection_LE7 = ee.ImageCollection('LANDSAT/LE07/C01/T1_SR')
  .filterBounds(region_b)
  .filterDate(Start, End)
  .filter(ee.Filter.dayOfYear(FirstDay, LastDay))
  .filterMetadata('CLOUD_COVER', 'less_than', cloudiness)
  .sort('DATE_ACQUIRED',true)
  .map(cloudMaskL457);
//коллекция из снимков Landsat 8
var collection_LC8 = ee.ImageCollection('LANDSAT/LC08/C01/T1_SR')
  .filterBounds(region_b)
  .filterDate(Start, End)
  .filter(ee.Filter.dayOfYear(FirstDay, LastDay))
  .filterMetadata('CLOUD_COVER', 'less_than', cloudiness)
  .sort('DATE_ACQUIRED',true)
  .map(maskL8sr);
var collection_1 = collection_LT5.map((function(image) {
  //рассчитываем процент облачности
  var meanDictionary = image.select('clouds').reduceRegion({
    reducer: ee.Reducer.mean(),
    geometry: region_b,
    scale: 30,
    maxPixels: 1e9
  });
  var a = ee.Number(meanDictionary.get('clouds')).toFloat()

```

```

    return image.set('cloudiness',a);
  }));
var collection_sort_1 = collection_1.filterMetadata('cloudiness', 'equals', 1);
var collection_ndvi_1 = collection_sort_1.map((function(image) {
var ndvi = image.expression('(nir-red)/(nir+red)' ,{
'nir':image.select('B4'),
'red':image.select('B3'),})
.rename('NDVI');
var ndwi = image.expression('(nir-swir)/(nir+swir)' ,{
'nir':image.select('B4'),
'swir':image.select('B5'),}).
rename('NDWI');
return image.addBands(ndvi).addBands(ndwi);
}));
var collection_2 = collection_LE7.map((function(image) {
//рассчитываем процент облачности
var meanDictionary = image.select('clouds').reduceRegion({
reducer: ee.Reducer.mean(),
geometry: region_b,
scale: 30,
maxPixels: 1e9
});
var a = ee.Number(meanDictionary.get('clouds')).toFloat()
return image.set('cloudiness',a);
}));
var collection_sort_2 = collection_2.filterMetadata('cloudiness', 'equals', 1);
var collection_ndvi_2 = collection_sort_2.map((function(image) {
var ndvi = image.expression('(nir-red)/(nir+red)' ,{
'nir':image.select('B4'),
'red':image.select('B3'),})
.rename('NDVI');
var ndwi = image.expression('(nir-swir)/(nir+swir)' ,{
'nir':image.select('B4'),
'swir':image.select('B5'),}).
rename('NDWI');

```

```

    return image.addBands(ndvi).addBands(ndwi);
  }));
var collection_3 = collection_LC8.map((function(image) {
  var meanDictionary = image.select('clouds').reduceRegion({
    reducer: ee.Reducer.mean(),
    geometry: region_b,
    scale: 30,
    maxPixels: 1e9
  });
  var a = ee.Number(meanDictionary.get('clouds')).toFloat();
  return image.set('cloudiness', a);
}));
var collection_sort_3 = collection_3.filterMetadata('cloudiness', 'equals', 1);
var collection_ndvi_3 = collection_sort_3.map((function(image) {
  var ndvi = image.expression('(nir-red)/(nir+red)', {
    'nir':image.select('B5'),
    'red':image.select('B4'),})
  .rename('NDVI');
  var ndwi = image.expression('(nir-swir)/(nir+swir)', {
    'nir':image.select('B5'),
    'swir':image.select('B6'),}).
  rename('NDWI');
  return image.addBands(ndvi).addBands(ndwi);
}));
var collection_ndvi_3 = collection_ndvi_3;
var collection_ndvi_2 = collection_ndvi_1.merge(
collection_ndvi_1.merge(collection_ndvi_2).merge(collection_ndvi_3).select('NDVI','NDWI'
)
var options = {
  title: 'Landsat Spectral Indexs',
  hAxis: {title: 'Date'},
  vAxis: {title: 'Value'},
  lineWidth: 1,
  series: {
    0: {color: '00FF00'}, // NDVI

```

```
    1: {color: '0000FF'}, // NDWI
  });
  print(Chart.image.series(collection_ndvi, region, ee.Reducer.mean(),
30).setOptions(options));
  Map.addLayer(region, {}, 'граница');
```