

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

ИНСТИТУТ НАУК О ЗЕМЛЕ  
Кафедра социально-экономической географии и природопользования

РЕКОМЕНДОВАНО К ЗАЩИТЕ  
В ГЭК И ПРОВЕРЕНО НА ОБЪЕМ  
ЗАИМСТВОВАНИЯ  
и.о.заведующей кафедрой

к.г.н., доцент  
 И.Д. Ахмедова  
 2019 г.

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**  
(магистерская диссертация)

ПОСТПИРОГЕННЫЕ СУКЦЕССИИ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА В ЗОНЕ  
СПЛОШНОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ПОРОД  
(НА ПРИМЕРЕ ТАЗОВСКОГО РАЙОНА ЯМАЛО-НЕНЕЦКОГО  
АВТНОМНОГО ОКРУГА)

05.04.06 Экология и природопользование  
Магистерская программа «Геоэкология нефтегазодобывающих регионов»

Выполнила работу  
Студентка 2 курса  
очной формы обучения



Бродт  
Лея  
Витальевна

Научный руководитель  
д.б.н., профессор



Соромотин  
Андрей  
Владимирович

Рецензент  
Начальник отдела мониторинга,  
охраны и защиты лесов  
Департамента лесного комплекса  
Тюменской области



Турнаев  
Олег  
Юрьевич

г. Тюмень, 2019

## ОГЛАВЛЕНИЕ

АННОТАЦИЯ .....	4
ВВЕДЕНИЕ .....	5
ГЛАВА 1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР .....	8
1.1 Вегетационные индексы .....	8
1.2 Возможности использования вегетационных индексов.....	10
1.3 Пирогенные сукцессии и динамика растительных сообществ.....	11
Выводы.....	13
ГЛАВА 2. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МЕСТНОСТИ ..	15
2.1 Географическое положение района.....	15
2.2 Геология и рельеф территории .....	15
2.3 Климат.....	16
2.4 Подземные и поверхностные воды .....	17
2.5 Почвенный покров и растительный мир .....	18
2.7 Техногенная нагрузка .....	20
Выводы.....	20
ГЛАВА 3 МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	22
3.1 Характеристики спутниковой системы LandSat .....	22
3.2 Методы исследования.....	25
3.2.1 Полевые методы .....	25
3.2.2 Дистанционные методы.....	26
Выводы .....	27
ГЛАВА 4 ХАРАКТЕРИСТИКА ПОСТПИРОГЕННЫХ СУКЦЕССИИ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА ТАЗОВСКОВСКОГО РАЙОНА ЯНАО.....	28
4.1 Описание территории исследования .....	28
4.2 Обработка данных, полученных при расчете вегетационного индекса .....	29
4.2 Обработка и анализ полевых данных.....	32
Выводы.....	38
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	40

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....	41
-------------------------	----

## АННОТАЦИЯ

Исследована долгосрочная динамика растительности посредством данных ДЗЗ и вегетационного нормализованного индекса (NDVI). Выявлено, что количество биомассы на гари субарктической зоны Тазовского района Ямало-Ненецкого автономного округа (ЯНАО) восстановилось через 8 лет после пожара. В 2017-2018 году индекс показывает стабильное значение 0,67. На горевших участках, по сравнению с фоновыми, произошла кардинальная смена флористического состава растительных сообществ: с лишайникового на кустарниковый. На участках негоревшей лишайниковой тундры преобладает *Cladonia stellaris*, *Cladonia rangiferina*, а на гарях – *Betula nana*, *Vaccinium vitis-idea*, *Vaccinium uliginosum*, *Salix phylicifolia*, *Empetrum nigrum*, *Ledum palustre*. Измерены глубина залегания многолетнемерзлых пород (ММП), температуры почв на 3 и 12 см. Анализ показал, что на гарях мощность сезонно-талого слоя выше, чем на фоне. Разница температур почв на глубине 3 см больше, чем на 12 см.

**Ключевые слова:** NDVI, многолетняя мерзлота, тундра, растительный покров, ЯНАО.

The long-term dynamics of growing activity were studied on the basis of remote sensing data and the vegetative normalized index (NDVI). It was revealed that the amount of biomass in the garit tundra zone of the Tazovsky region of the Yamalo-Nenets Autonomous District was restored 8 years after the fire. In 2017-2018, the index shows a stable value of 0.67. Last week, compared to the background, there was a cardinal change in the floristic composition of plant communities: from a lichen shrub to a shrub. The sites are dominated by lichen tundras *Cladonia stellaris*, *Cladonia rangiferina*, and on the burns - *Betula nana*, *Vaccinium vitis-idea*, *Vaccinium uliginosum*, *Salix phylicifolia*, *Empetrum nigrum*, *Ledum palustre*. The depth of the permafrost-frozen rocks (MMP) was measured, the temperature of the soil was 3 and 12 cm. The power showed that the level was higher than the background. The difference in soil temperature at a depth of 3 cm is more than 12 cm.

**Key words:** NDVI, permafrost, tundra, vegetation cover, Yamal.

## ВВЕДЕНИЕ

### **Актуальность работы**

Около 14% (10 тыс. км<sup>2</sup>) территории Тазовского полуострова к 2001 году было трансформировано в результате пожаров (Корниенко, Якубсон, 2011). Большую роль в увеличении количества пожаров играет повышение среднегодовых температур в Ямальском регионе. При высыхании мохово-лишайникового покрова повышается вероятность его возгорания (Перлова и др., 2017). Уменьшение альбедо поверхности (Charin et al 2005), в результате сведения гибели лишайникового покрова, приводит к повышенному прогреву поверхности и увеличению мощности сезонно-талого слоя.

При пожарах в тундровой и лесотундровой зонах в основном страдает напочвенный растительный покров. Несмотря на значительные масштабы гарей, изучению пирогенных сукцессий растительного мохово-лишайникового покрова за долгосрочный период (25-30 лет) посвящены единичные исследования. Объектом этих работ чаще является древесный ярус, который в субарктической зоне представлен редколесьями.

Для изучения сукцессий растительного покрова необходимы многолетние долгосрочные наблюдения в полевых условиях, что требует большого количества временных, трудовых и материальных ресурсов. Поэтому для отдаленных районов использование натуральных методов наблюдений в течение длительного периода не всегда возможно. Оценка состояния растительного покрова на таких территориях может быть проведена с использованием данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) с расчетом различных вегетационных индексов по разновременным космическим снимкам Landsat, Sentinel и других спутников.

### **Цель исследования**

Оценка постпирогенной динамики растительности субарктических тундр Тазовского района по динамике вегетационного индекса NDVI с использованием данных ДЗЗ.

### **Задачи:**

1. Изучить возможность использования вегетационных индексов на основе ДЗЗ для оценки состояния растительного покрова и выбрать наиболее информативный для исследуемой территории;
2. По литературным источникам установить характерные особенности постпирогенных сукцессии в различных зонах Арктики;

3. Выявить изменения в растительном покрове изучаемого участка в постпирогенный период по сравнению с естественными растительными сообществами негоревших лишайниковых тундр;
4. Установить многолетнюю динамику вегетационного индекса NDVI на изучаемом участке.

**Объектом** нашего исследования являлся растительный покров, формирующийся на выгоревших участках лишайниковых тундр.

**Предмет исследования** – динамика состояния растительного покрова постпирогенной сукцессии на основе полевых и дистанционных методов.

**Защищаемые положения:**

- выгорание растительного покрова лишайниковых тундр в зоне сплошного распространения многолетнемерзлых пород (ММП) приводит к формированию нового типа растительных ассоциаций – лишайниковый покров замещается кустарниками (карликовая береза, арктические виды ивы);
- в следствие смены растительных ассоциаций в постпирогенный период с лишайниковых на кустарниковые запасы биомассы на старых гарях возросли по сравнению с негоревшими участками, что отразилось в увеличении значений вегетационного индекса NDVI в 1,5 раза.

**Методы исследования**

В работе использовались следующие методы:

- анализ;
- сравнительный;
- литературный;
- картографический;
- статистический;
- аэрокосмический;
- сравнительно-географический;
- экспедиционный;
- полевой геоботаники;
- географические информационные системы.

**Теоретической основой** послужили работы:

И.С. Ильина, Е.И. Лапшина, Н.Н. Лавренко и др. в части описания растительного покрова района исследования;

С.Г. Корниенко, К.И. Якубсон по дистанционным методам обработки космоснимков и расчета NDVI;

А.П. Шенников, А.А. Корчагин, Е.М. Лавренко по методикам геоботанических исследований;

Т.А. Замарева, М.А. Магомедова, А.М. Морозова, С.Н. Эктова, Н.Ю. Рябинцева в части теоретической базы о восстановлении растительного покрова на гарях.

### **Научная новизна и практическая значимость**

Методика исследования была впервые применена для оценки постпирогенных сукцессий растительного покрова на территории Тазовского района Ямало-Ненецкого автономного округа. Выявлены сукцессионные особенности растительных сообществ субарктических тундр. Данные исследования можно использовать для прогнозирования трансформации растительного покрова в субарктической зоне ЯНАО, а также, с помощью применяемой методики, возможно изучение аналогичных участков гарей без выезда на местность.

### **Достоверность результатов**

Результаты коррелируются с данными многих исследований, при этом доказана достоверность информации, получаемой с помощью данных ДЗЗ.

### **Сведения о публикациях**

По результатам исследования были опубликованы тезисы в двух сборниках конференций (Бродт, 2019а, 2019б).

### **Структура работы**

Выпускная квалификационная работа состоит из аннотации, введения, четырех глав, заключения, списка литературы. Текст работы изложен на 45 страницах печатного текста, включая список литературы, содержит 13 рисунков, 1 таблицу. Список использованной литературы включает в себя 48 источников.

В первой главе анализируются литературные источники на темы: вегетационные индексы, возможность использования вегетационных индексов и пирогенные сукцессии субарктической зоны. Во второй главе дается физико-географическая характеристика района, особое внимание уделено растительному покрову ввиду тематики работы. В третьей главе описаны методы и материалы исследования. В четвертой – выявлена характеристика постпирогенной сукцессии на гари, расположенной в Тазовском районе ЯНАО с использованием вегетационного индекса NDVI.

# ГЛАВА 1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

## 1.1 Вегетационные индексы

Состояние растительности можно проследить по ее отражательной способности, которая характеризуется весомыми различиями в отражении излучения волн разных длин. Это свойство дает возможность использование космических снимков для определения типов растительности и ее вегетационные способности. Эмпирическими методами сейчас разработано около 160 вегетационных индексов, базирующиеся на расчете по данным в широких и узких спектральных зонах. Обычно, большинство индексов рассчитывается по двум самым стабильным участкам кривой спектральной отражательной способности растений. На красную зону спектра (0,62–0,75 мкм) приходится максимум поглощения солнечной радиации хлорофиллом, а на ближнюю ИК зону (0,75–1,3 мкм) – максимальное отражение энергии клеточной структурой листа (Черепанов, 2011). Отношение коэффициентов отражения в красной и ИК зонах позволяет явно отделить растительность от других объектов.

Все вегетационные индексы были разделены на группы по характеризующим свойствам растительного покрова:

- Broadband Greenness (5 индексов): индексы «зелености», рассчитываемые по данным в широких спектральных зонах;
- Narrowband Greenness (7 индексов): индексы «зелености», рассчитываемые по данным в узких спектральных зонах;
- Light Use Efficiency (3 индекса): индексы эффективности использования света;
- Canopy Nitrogen (1 индекс): индекс содержания азота в растительном покрове;
- Dry or Senescent Carbon (3 индекса): индексы содержания углерода в виде лигнина и целлюлозы;
- Leaf Pigments (4 индекса): индексы содержания пигментов – каротиноиды и антоцианины;
- Canopy Water Content (4 индекса): индексы для оценки содержания влаги в растительном покрове (Черепанов, Дружинина, 2009).

Для достижения поставленной цели исследования будут использованы вегетационные индексы из группы Broadband Greenness, которые отражают общую биомассу растительности. Также, при соответствующей обработке, можно получить

информацию о содержании хлорофилла, площади листовой поверхности, сомкнутости и структуры растительного покрова (Черепанов, 2011).

Вегетационные индексы этой группы хорошо коррелируют с индексом фотосинтетически активной радиации (fAPAR) и индексом листовой поверхности (LAI). Их можно использовать при работе с любыми мультиспектральными аэрокосмическими снимками высокого, среднего или низкого разрешения, у которых есть спектральные каналы в красной (0,60-0,75 мкм) и ближней ИК (0,75-1,3 мкм) зонах.

Основными задачами являются:

- картирование растительного покрова;
- выявление площадей, покрытых и непокрытых растительностью;
- оценка и мониторинг состояния растительного покрова;
- оценка продуктивности и урожайности (Черепанов, 2011).

Для нашей территории самым репрезентативным и одновременно простым является нормализованный относительный вегетационный индекс (NDVI). Но не смотря на простоту его расчета, он дает качественные данные. Это обусловлено его высокой чувствительностью к изменениям биомассы растений. Впервые описан – J.W. Rouse (Rouse at all, 1974), концепция впервые представлена – F.J. Krigler (Kriegler at all 1969).

Рассчитывается NDVI по формуле:

$$NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED}, \quad (1)$$

где NIR - коэффициент отражения в ближней ИК области спектра, RED - коэффициент отражения в красной области спектра.

NDVI для растительности принимает значения больше 0, при чем согласно классификации А.С. Черепанова, растительный покров начинает картироваться от 0,2 (Черепанов, 2011). На индекс влияют видовой состав, сомкнутость растительного покрова, состояние, экспозиция и угол наклона поверхности, цвет почвы под разреженной растительностью. Индекс умеренно чувствителен к изменениям почвенного фона, кроме случаев, когда густота растительного покрова ниже 30% (Черепанов, Дружинина, 2009).

NDVI может быть рассчитан на основе любых снимков высокого, среднего или низкого разрешения, имеющим спектральные каналы в красном (0,55-0,75 мкм) и ИК диапазоне (0,75-1,0 мкм). В нашей работе расчет проводился по космическим снимкам LandSat в ПО ENVI, ArcMap.

Репрезентативность NDVI для оценки продуктивности многих экосистем, в том числе арктических и субарктических была доказана во многих исследованиях (Raynolds et al., 2012), а также была обоснована возможность эффективного использования этого

показателя для мониторинга динамики растительного покрова (Beck, Goetz, 2011; Walker et al., 2012).

Была выявлена тесная корреляционная зависимость между вегетирующей фитомассой надземных растений и значениями NDVI. Она составила  $R^2 = 0,94$ ,  $p < 0,001$ . Исследования проводились на «транс-арктических» территориях Северной Америки и Евразии. На репрезентативных участках отбиралась вегетирующая биомасса растений и сравнивалась с полученными данными после расчета NDVI (Raynolds et al., 2012).

## **1.2 Возможности использования вегетационных индексов**

Вегетационные индексы широко применяются в нефтегазовой, добывающей, лесопромышленной, сельскохозяйственной и др. областях.

Наиболее распространены оценка урожайности сельскохозяйственных культур, восстановления гарей, анализ воздействия карьерных разработок полезных ископаемых на прилегающую растительность и выделение зон по интенсивности влияния.

В настоящее время уже накоплен достаточный экологический след при разработке месторождений нефти и газа. Ввиду удаленности месторождений, при анализе эффективности рекультивации часто применяются вегетационные индексы, показывающие результаты проведенных мероприятий. Ранее была отмечена эффективность применения данных ДЗЗ, а именно космоснимков LandSat 5TM, для двух площадок на старой геологоразведке. Имея данные полевых наблюдений, стала возможным объективная оценка достоверности получаемых данных при расчете NDVI (Кононов, Попов, 2017).

При выявлении трансформированных ландшафтов на нефтяных месторождениях по космическим снимкам была проведена автоматическая классификация в ПО ENVI. В качестве материалов использовались космические снимки LandSat. Классификации выделяли инфраструктуру нефтяного месторождения в Оренбургской области. Наиболее точной оказалась классификация на основе рассчитанного индекса Bare Soil Index (BSI). При исследовании была выявлена проблема выделения трансформации растительного покрова, так как вблизи месторождения располагаются сельскохозяйственные поля, на которых идет смена аборигенной растительности на монокультуры (Мячина, 2014).

Была отмечена зависимость между климатом, рельефом (высота над уровнем моря) и значениями NDVI. При этом максимальная корреляция обнаружена между температурами июля и вегетационными показателями. В результате были построены пространственно-временных модели, на основе которых получены карты изменения состояния широколиственных лесов к 2050 году в бассейне р. Кубань (Шарая, 2013).

Были проведены масштабные исследования трансформации растительного покрова на крупных месторождениях ЯНАО. При выявлении изменений состояния растительного покрова были выделены четыре наиболее характерных участка. В исследовании выделили разные типы растительного покрова: ягельный, зеленомошный, лесной и заболоченный. В качестве контроля выбрана территория Надымского заказника. Эти площадки позволили автоматизировано выделить растительность на все полуострове с точностью 90%. По результатам обработки космоснимков Landsat и NOAA, после расчета индексов NDVI и SWVI были построены карты изменения состояния растительного покрова до 1988г, с 1988 по 2001 г. На месте ягельника (Graphis) сначала начинают произрастать кустарниковые сообщества, злаковые травы и зеленые мхи (Корниенко, Якубсон, 2005).

Часто, вегетационные индексы используются в комплексе с натурными методами наблюдения. В исследовании Д.В. Московченко с соавт (Московченко и др., 2017) был получен большой массив собранного материала при натурных наблюдениях (геоботанические описания, керны древесных пород), а также были проанализированы метеоданные (температура, количество осадкой, высота снежного покрова) и данные дистанционного зондирования Земли совместно с расчётом вегетационного индекса NDVI по космическим снимкам Landsat. Одним из результатов работы является таблица, в которой обобщены характеристики выделенных фитоценозов, соответствующие им геоэкологические условия, наблюдаемые экзогенные процессы и восстанавливающая способность растительности. Авторы вывели зависимость между растительными сообществами и мощностью СТС. Была показана трансформация площади водных объектов - в следствие изменений геоэкологических условий происходит дренирование озер. Не остались без внимания и антропогенные (механические) нарушения ландшафта, следы которых сохраняются до 20 лет. Но при этом отмечена положительная сукцессионная способность растительности, а также связь годового прироста древесины с температурным режимом, зависимость вегетационного индекса NDVI не от климатических факторов, а от структуры флористического состава фитоценоза (Московченко и др., 2017).

### **1.3 Пирогенные сукцессии и динамика растительных сообществ**

По данным многих исследований значения NDVI имеют тесную связь с составом растительных сообществ, при этом отмечая их смену на горячих. Но в разных исследованиях качественные характеристики различны.

На 17-летних горячих арктической зоны Аляски отмечают преобладание злаковых (*E. Vaginatum*) и кустарниковых сообществ (*Salix spp*), в то время как на фоновом участке

преобладают *Betula nana*, *Vaccinium vitis-idaea*, мхи. На участке пожара совсем отсутствует *Betula nana*, но на всех трех участках присутствует большое количество неразложившейся органики. Общее проективное покрытие участков на гари составляет 86% и 91%, а на фоне 100%. При этом смена качественных и количественных характеристик растительного покрова зависит от силы и интенсивности пожара. При анализе данных, полученных при расчете NDVI, показано высокое значение индекса на гаях, что связано с лучшей отражательной способностью в ближнем инфракрасном спектре (Barrett et al., 2012).

Изучение старой гари на Аляске показало, что спустя 5-10 лет после пожара восстановление мохово-лишайникового покрова так и не наблюдалось, при этом увеличилось проективное покрытие злаковых (*Eriophorum vaginatum*) и кустарничков (*Vaccinium uliginosum*). Мощность СТС уменьшается с возрастом гари, так на северо-западном склоне в 2007 году глубина протаивания составляла 80 см, а в 2012 около 70 см, а на фоновом участке эти изменения были незначительными. Уменьшение мощности СТС авторы объясняют с «затенением» *Vaccinium uliginosum*, что препятствует проникновению тепла вглубь почвенного профиля. Отсутствие кустарничков также связывают с доминированием голубики обыкновенной (Narita K. et al., 2015).

Были исследованы стадии восстановления лишайникового покрова на гаях в предтундровых лесах ЯНАО. Процессы восстановления начинают лишайники гаревой свиты из рода *Cladonia*, завершают восстановительный ряд лишайники рода *Cladina*, являющиеся лучшим кормом для оленей. Но смена эта требует не менее 30-40 лет (Магомедова, 2006). Завершающей же стадии восстановление достигает не ранее, чем через 50 лет. На гаях возраста около 30 лет преобладают лишайники рода *Cladina*, *C. arbuscula*, *C. rangiferina* и *C. stellaris*. (Магомедова, 2006).

При исследовании 5-ти летней гари в тундровой зоне, вблизи г. Харп и г. Лабытнанги отмечено увеличение видового разнообразия сосудистых значения по сравнению с первичным составом растительных сообществ. (Морозова и др., 2007).

Восстановление растительного покрова на гаях от 4 до 40-50 лет происходит с активным участием карликовой березы (*Betula nana*). Присутствует подрост лиственницы (*Larix sibirica*). На гаях с возрастом от 40 до 100 лет наблюдается выход лиственницы в первый ярус, восстановление мохово-лишайникового покрова, кустарничкового и кустарничкового ярусов. При этом возможно сохранение стволов, переживших пожар. Полное восстановление лиственничного леса происходит после 150 лет. (Магомедова, 2006, Замараева, 2011).

Был обнаружен тренд в увеличении частоты пожаров и уменьшении межпожарного интервала (МПИ) со 100 лет в XX-ом веке до 65 лет в XI-ом. Но несмотря на это, увеличение

частоты пожаров может способствовать сохранению доминирования лиственничных лесов, при возрастании температуры воздуха ожидается еще меньший МПИ (Двинская и др., 2005)

Имеются сведения, что в настоящее время на юге тундры и предтундровых лиственничных лесах Сибири происходит постепенное увеличение биомассы из-за преобладания кустарников и кустарничков, а также расширения ивняков и ольховников (Жильцова и др., 2015).

По данным О.А. Анисимова и А.Б. Шерстюкова в типичной и южной тундре наблюдается экспансия кустарников, что влияет на мощность и температуру СТС. Интенсивное развитие кустарников оказывает оттеняющий эффект летом, что приводит к снижению температур почв. Но при этом, зимой, они хорошо удерживают снег, способствуя его накоплению, в результате чего в холодное время года температура грунтов увеличивается. Поэтому результат зависит от соотношения этих двух составляющих (Анисимов, Шерстюков, 2016).

### **Выводы**

Вегетационные индексы нашли широкое применение во многих сферах хозяйственной деятельности человечества. Не смотря на их простоту и достоверность получаемых данных в России эти методы еще не часто используются. Многие авторы доказали репрезентативность результатов, получаемых при использовании вегетационных индексов в своих исследованиях.

При изучении литературных источников, мы пришли к выводу, что для нашей территории самым подходящим и одновременно простым является нормализованный относительный вегетационный индекс (NDVI). Качественные данные, получаемые при использовании этого индекса, обусловлены его высокой чувствительностью к изменениям биомассы растений. Также он дает точные значения при высоком проективном покрытии. А в субарктической зоне как раз-таки лишайниковые покровы составляют практически 100% общее проективное покрытие.

Изучив литературные источники по тематике пирогенных сукцессий, были выявлены различия восстановления растительного покрова в разных зонах субарктики. При этом основное внимание часто уделяется именно древесному ярусу, а также кормовым базам оленей. Но, по нашему мнению, смена состава растительного покрова в тундровой зоне приводит к не меньшим последствиям. Увеличивается мощность СТС, под кустарниками образуются талики. В настоящее время многие исследователи озабочены

вероятностью освобождения связанного углерода в атмосферу, что может иметь большое влияние на потепление климата.

Уже сейчас отмечается продвижение более южных растительных сообществ на север, экспансия кустарников, зарастание ими болот. Большую роль в этом играют пожары, интервал которых, согласно исследованиям, сократился. Гари в лиственных лесах являются стартовыми площадками для продвижения кедра, ели, пихты, поскольку в результате отепляющего действия огня условия произрастания становятся более благоприятными. Был обнаружен временной тренд сокращения межпожарных интервалов до 65 лет в XX веке. Сообщества не успевают восстановиться до климаксового состояния и происходит самовозгорание.

## **ГЛАВА 2. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МЕСТНОСТИ**

Согласно физико-географическому районированию Тюменской области район исследования расположен в тундровой широтно-зональной зоне, в Тазовской провинции, Ямбургской подпровинции (Гвоздецкий и др., 1973)

### **2.1 Географическое положение района**

Территория исследования расположена в 50 км к юго-востоку от пос. Тазовский на юге Тазовского административного района Ямало-Ненецкого автономного округа (ЯНАО). Исследуемый участок гари расположен севернее Полярного круга.

### **2.2 Геология и рельеф территории**

Тазовский район располагается в пределах Евразийской литосферной плиты, входящей в состав протяженного Урало-Монгольского складчатого пояса. Сформированная здесь молодая платформа образовалась на месте докембрийско-палеозойских складчатых сооружений. В пределах соответствующей той равнине плиты древние складчатые скальные комплексы погружены на глубину 10 – 15 км и перекрыты мощным чехлом рыхлых отложений мезозойско-кайнозойского возраста (Бакулин и др., 1996).

В основании изучаемой территории лежит эпипалеозойская Западносибирская плита, имеющая трёхъярусное строение. Фундамент сложен магматическими и метаморфическими породами докембрия, нижнего и среднего палеозоя – в основании, их перекрывают эффузивно-осадочные породы верхнего палеозоя и триаса. Его поверхность располагается на глубине 4,5-5 км. Осадочный чехол образован юрскими, меловыми и четвертичными отложениями. За свою геологическую историю территория подвергалась неоднократным морским трансгрессиям. Осадконакопление в этих условиях продолжалось до олигоцена, после этого оно сменилось озерно-аллювиальным.

Территория исследования расположена в пределах Таз-Пурской возвышенности (Городецкая, Мещеряков, 1968).

Многолетнемерзлые породы имеют трёхъярусное строение. Слои реликтовой и современной мерзлоты с мощностью 10-100м и 150-400 м соответственно (Бакулин, Козин 1996).

## 2.3 Климат

Район исследования находится в умеренном климатическом поясе. Климат здесь – субарктический континентальный с продолжительной холодной зимой, сильными ветрами и метелями, коротким, сравнительно теплым летом, поздними весенними и ранними осенними заморозками. Переходные сезоны, особенно весна, очень короткие, с резкими колебаниями температур. Суммарная солнечная радиация в тундре Гыданского п-ова составляет в среднем 60-70 ккал/см<sup>2</sup> в год. На остальной части Тазовского района 70-80 ккал/см<sup>2</sup>. Продолжительность солнечного сияния 1550 – 1600 часов в год. Значительная повторяемость пасмурной погоды снижает солнечное сияние по отношению к возможному в летние месяцы на 40-60% (Атлас ЯНАО, 2004).

Среднегодовая температура воздуха составляет –6,9°С. Средняя температура января –27°С. Самый холодный месяц в году февраль, со средними температурами –35,2°С. Абсолютный минимум -57.7 °С. Средняя температура июля, самого теплого месяца, составляет 12-15°С. В отдельные дни летом почти ежегодно температура может повышаться до 24-37°С (Атлас ЯНАО, 2004).

Продолжительность периода со среднесуточной температурой воздуха ниже 0°С – 110 дней. Средняя продолжительность безморозного периода 80-110 дней, продолжительность устойчивых морозов от 180 до 200 дней. Наступление устойчивых морозов приходится на конец октября, а их прекращение – на начало-конец апреля (Атлас ЯНАО, 2004).

Самым сухим месяцем в Тазовском является июнь, влажность в среднем составляет 69 %, а самый влажный - октябрь (86 %). За год в среднем выпадает от 350 до 400 мм, коэффициент увлажнения больше 1, поэтому здесь много озер и болот. Основная масса осадков выпадает в летний период, только 20-25% выпадает в зимнее время. Но при этом почти половина выпадает в виде твердой фазы (Атлас ЯНАО, 2004).

Снежный покров появляется в первой декаде октября. В отдельные годы снег может выпадать уже в сентябре. Устойчивый снежный покров образуется в среднем во 2-й декаде октября. Наиболее интенсивный рост высоты снежного покрова наблюдается в период с 1-й половины ноября до середины января. В январе-феврале рост высоты снега ослабевает. Максимальной высоты (в среднем 80-85 см) снежный покров достигает в третьей декаде марта – к периоду снеготаяния. Снежный покров держится в среднем 220-240 дней – до середины мая (Атлас ЯНАО, 2004).

## 2.4 Подземные и поверхностные воды

Гидрографическая сеть представлена водотоками, озерами и болотами, что обусловлено, прежде всего, избыточным увлажнением территории и равнинным характером рельефа.

Самой большой рекой, расположенной в непосредственной близости к району исследования, является река Таз. Таз берёт начало с Сибирских Увалов Ханты-Мансийском АО. Впадает в Тазовскую губу Карского моря несколькими рукавами. Течёт среди болот по северо-восточной части Западно-Сибирской равнины. Долина широкая, русло сильно меандрирует и разветвляется на многочисленные рукава, в устье — мелководный бар. Питание преимущественно снеговое (54 %) с большой долей грунтового (27 %). Половодье в верхнем течении с конца апреля по сентябрь, в низовьях — с конца мая по сентябрь. Размах колебаний уровня в верхнем и среднем течении — около 6 м, в нижнем — около 3 м. В устьевом участке (до 200 км) сгонно-нагонные колебания уровней с подъёмом до 2 м. Среднегодовой расход воды — в 357 км от устья — 930 м<sup>3</sup>/с (в устье — около 1450 м<sup>3</sup>/с), наибольший — 6630 м<sup>3</sup>/с, наименьший — 157 м<sup>3</sup>/с. Сток весной — 60 %, летом и осенью — 21 %, зимой — 19 %. Наиболее многоводный месяц — июнь (около 40 % годового стока). Замерзает в октябре, вскрывается в конце мая — начале июня (Лёзин, 2000).

Господствующий тип болот — плоскобугристые. Высокая заболоченность территории (40%) связана с равнинностью рельефа, близким залеганием к поверхности многолетней мерзлоты и значительное превышение осадков над испарением. На водоразделах наиболее распространены плоскобугристые болота с дикраново-лишайниковыми буграми и осоково-сфагновыми или гипновыми мочажинами. По надпойменным террасам и берегам озер развиты плоскобугристые болота со сфагново-кустарничковыми буграми и осоково-гипновыми мочажинами (Болота Зап. Сиб., 1976). Образование бугров на болотах в зоне многолетней мерзлоты связано с процессами пучения сильно переувлажненных грунтов при их замерзании (География ЯНАО, 2001). Бугры имеют высоту 30-50 см, реже 75, грядообразные, с плоской вершиной. Площадь бугров от нескольких квадратных метров до десятков и реже сотен квадратных метров, поверхность бугров мелкокочковатая. Бугры чередуются с плоскими мочажинами, которые при наличии эрозии имеют корытообразную форму. Чаще преобладают площади, занятые мочажинами. Глубина торфа на буграх 25-30 см, в мочажинах 1,0-1,5 м (Болота Зап. Сиб., 1976).

Также в данной болотной зоне расположены не комплексные осоково-гипновые, осоково-пушицевые, у озер злаково-осоковые болота, так называемые хасыреи (Болота Зап. Сиб., 1976).

Подземные воды ЯНАО принадлежат к северной части Западно-Сибирского артезианского бассейна. Верхний гидрологический этаж включает в основном пресные воды, нижний – соленые воды с температурой 30-100°С и более. Верхний и нижний гидрологические этажи разделены мощным слоем глин, которые образовались на дне древнего морского бассейна, существовавшего на территории Западной Сибири (География ЯНАО, 2001).

Определяющее влияние на питание и разгрузку подземных вод верхнего этажа, их использование в хозяйственно-питательных целях оказывает многолетняя мерзлота. Она обуславливает существование подземных вод на большей части территории в виде льда. Жидкая вода может находиться только вблизи поверхности земли, в зоне сезонного протаивания (0,2-3,5 м), где расположены надмерзлотные воды. Значительные запасы подземных вод сосредоточены в таликах (География ЯНАО, 2001).

## **2.5 Почвенный покров и растительный мир**

Почвы формируются в условиях дефицита кислорода и застойно-переувлажненного режима увлажнения. Основную часть территории занимают торфянисто-глеевые почвы в сочетании с глеево-подзолистыми и глеево-мерзлотно-таежными.

Для бассейна Таза характерно одинаковое сочетание дефицита тепла и избыточного увлажнения. Недостаток положительных температур проявляется в малой биологической продуктивности водораздельных ландшафтов, в замедленном биологическом круговороте веществ, в значительном снижении скорости минерализации и гумификации растительного опада, слабом химическом изменении исходных минеральных субстратов при почвообразовании. Результат этой общей климатической особенности — господство на водоразделах кислых, выщелоченных, ненасыщенных почв с торфянистыми и торфяными органогенными горизонтами, со слабо измененной минеральной частью, кислым потечным бурым или серым бесцветным гумусом. Все почвы водоразделов принадлежат единой общности почв холодных гумидных областей.

Основными, существенно различающимися направлениями почвообразования и соответствующими им крупными надтиповыми группами почв на водоразделах исследуемой территории являются: 1) глеевое (включая элювиально- и застойно-глеевое) — группа глеевых почв; 2) неглеевое иллювиально-алюмо-железистогумусовое — группа неглеевых алюмо-железисто-гумусовых почв; 3) смешанное — неглеевое в верхней и средней частях профиля и контактно-глеевое в нижней части — группа неглеевых алюмо-железисто-гумусовых контактно-глеевых почв; 4) почвообразование на торфах — группа

торфяных почв. (В. О. Таргульян; и др. Природные условия освоения Газовского нефтегазоносного района).

Согласно классификации Ильиной И.С. (Ильина, 1985) исследуемый район расположен в Тундровой геоботанической зоне, Гыданской провинции, подзоне субарктических тундр. Данная подзона подразделяется на три полосы. Район исследования расположен в полосе южных субарктических тундр. Для них типичны ерниковые и ивняково-ерниковые с лишайниково-моховым покровом бугорковатые тундры, часто чередующиеся с группами лиственничных редколесий (*Larix sibirica*).

Распределение растительных сообществ зависит от дренированности территории. Так, на возвышенных дренированных участках произрастают редкие древесные породы, с преобладанием лиственницы сибирской, березы извилистой и ели сибирской. Угнетенные редколесья с участием ольхи (*Alnus glutinosa*) и карликовой березы (*Betula nana*) встречаются по долинам рек и склонам южной экспозиции.

По мере повышения влажности почво-грунтов начинает преобладать кустарничково-лишайниковая и кустарничково-мохово-лишайниковая тундровая растительность. На заболоченных территориях произрастает кустарничково-травяно-моховая, кустарничково-моховая и травяно-моховая болотная растительность. Травяно-кустарничковый ярус, представленный карликовой березой (*Betula nana*), багульником (*Ledum*), брусникой (*Vaccinium vitis-idaea*) и др., характеризуется значительным проективным покрытием (30-80%), присутствием лесных видов. Мохово-лишайниковый ярус представлен ягелем (*Graphis*), кукушкиным льном (*Polytrichum commune*), кладонией (*Cladonia rangiferina/Cladonia alpestris*) и цетрарией (*Cetraria*) (Тагунова, 1983).

В зоне развития лесотундровых ландшафтов встречаются плоскобугристые мерзлые торфяные болота с кустарничково-мохово-лишайниковым покровом по буграм и травяно-моховым по понижениям. В сочетании с ними встречаются кочковатые мерзлые кустарничково-лишайниково-моховые болота. В северной тайге и отчасти лесотундре встречаются крупнобугристые мерзлые торфяники с кустарничково-лишайниково-мохово-лишайниковым покровом по буграм и осоково-пушицево-моховым по понижениям (Козин, 1993).

Растительность водоразделов представляет собой сочетание елово-лиственничных моховых или мохово-лишайниковых лесов с массивами комплексных плоско- и крупнобугристых, а также грядово-мочажинных болот (Тагунова, 1983). Широкое распространение болот и торфяников, являющихся интразональными комплексами, в значительной мере сглаживает широтное распространение растительности на территории месторождения. По наблюдениям Б.Н. Городкова (Городков, 1930), вследствие большой

изменчивости литологического состава поверхностных отложений, разнообразия форм мезо- и микрорельефа и условий увлажнения грунтов для исследуемой территории характерна пестрота и неоднородность растительного покрова, частая смена почвенных разностей и растительных сообществ (Марьинских, 2003).

В местах распространения песчаных почв развиваются кустарничково-мохово-лишайниковые (*Cladina rangiferina*, *Cl. Stellaris*, *Cetreria cucullata*, *Alectoria nigricans*) полигональные и пятнисто-полигональные тундры.

Типичными для южной полосы зоны субарктических тундр являются кустарниковые кустарничково-лишайниково-моховые бугорковатые тундры (Ильина, 1985).

## **2.7 Техногенная нагрузка**

В настоящее время нефтегазовый сектор активно продвигается к шельфу северо-Ледовитого океана. Все большие площади подвергаются техногенной нарушенности вследствие обустройства и разработки месторождений.

Наибольшее влияние происходит в период строительства и обустройства месторождений. Крупная и тяжелая техника нарушает растительный покров и приводит к развитию эоловых процессов и техногенных песчаных пустошей.

Сильное влияние на экосистемы Севера в нефтегазоносных районах оказывает загрязнение почвы нефтепродуктами. На сильно загрязненных нефтью участках растения погибают.

В ходе возведения линейных объектов часто перекрывается водный сток, и одна часть заболачивается, а другая – становится дренированной территорией с благоприятными условиями для произрастания более южных видов растительности. Несмотря на это, болота имеют хорошую восстановительную способность, но лишайниковый покров восстанавливается в течение более 50 лет (Москаленко и др., 2006).

## **Выводы**

Суровые природные условия замедляют восстановление растительного покрова. Нехватка продолжительного лета сказывается на вегетирующих способностях высших сосудистых растений.

Ввиду избыточного увлажнения происходит отложение неразложившейся органики, которая создает экранирующий слой и не позволяет деградировать многолетней мерзлоте.

При этом техногенное освоение способствует увеличению пожаров. Пожары вносят свой вклад в увеличение мощности сезонно-талого слоя.

Выбранный участок исследования по классификации И.С. Ильиной (Ильина, 1985) относится к Тундровой геоботанической зоне, Гыданской провинции, подзоне субарктических тундр.

Для данной территории типичными являются ерниковые и ивняково-ерниковые с лишайниково-моховым покровом, часто чередующиеся с группами лиственничных редколесий бугорковатые тундры (*Larix sibirica*, *Betula nana*, *Salix sibirica*, *Vaccinium vitis-idaea*, *V. uliginosum*, *Empetrum nigrum*, *Cladonia rangiferina*, *Cl. Stellaris*, *Cetraria cucullate*) (Ильина, 1985).

## ГЛАВА 3 МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

### 3.1 Характеристики спутниковой системы LandSat

Миссия LandSat самая продолжительная из всех космических систем на сегодняшний день. В ее архивы входят данные с 1970-х годов и по настоящее время. По сравнению с новыми системами она имеет меньшее разрешение, но это не мешает иметь широкий круг пользователей по всему миру. К плюсам системы можно отнести количество данных и их период.

Landsat-1 был запущен 23 июля 1972 и был построен на платформе метеорологического спутника, поэтому он сильно напоминает метеорологические спутники Nimbus. Он должен был получать данные о поверхности нашей планеты (растительном покрове, рельефе, метеоданных и др.) Изначально, основные результаты планировали принимать с первого датчика RBV, но в последствии, данные с датчика MSS стали использоваться для решения больших задач. Этот датчик имел четыре спектральных канала, что позволяло анализировать динамику природных объектов. LandSat -1 прекратил работу спустя 6 лет, в январе 1978. Несмотря на важность получаемых данных, в настоящее время сохранилось очень мало космических снимков за период 1972-1978. Количество информации сильно зависит от района (<https://landsat.gsfc.nasa.gov/landsat-1/>).

Второй и третий спутники программы – Landsat-2 и Landsat-3 были оснащены теми же датчиками и имели схожие характеристики с предшествующим им Landsat-1. Landsat-2 был запущен на орбиту 22 января 1975 и выведен из эксплуатации 27 июля 1983. Landsat-3 был выведен в космос 5 марта 1978, 31 марта 1983 года он был переведен в режим ожидания из-за неполадок, а 7 сентября 1983 полностью выведен из эксплуатации. Данные в открытом доступе также ограничены и в настоящее время не позволяют проводить сравнительные исследования динамики геопроцессов.

Landsat-4 был запущен 16 июля 1982 года. Этот спутник существенно отличался от предыдущих спутников Landsat так как не имел RBV и имел более низкую орбиту - 705 км. В дополнение к системе MSS он имел датчик Thematic Mapper (TM). Этот датчик имел семь спектральных диапазонов. Данные были собраны из 6 участков электромагнитного спектра синих, зеленых, красных, ближних ИК, средних ИК области (2 полосы) и тепловых ИК участков электромагнитного спектра. Пространственное разрешение сенсора TM - 30 м (6-й канал: 120 м)

С 1 марта 1984 года NASA запустили Landsat-5. Landsat-5 был разработан и построен в то же время, что Landsat-4 и имел все сходные характеристики. Облет всей планеты занимал 16 суток. После 28 лет в эксплуатации, в 2013 году спутник был выведен из работы.

6 спутник не был выведен на орбиту в результате аварии при запуске в 1993 году.

Landsat-7 выведен на орбиту в 1999 году и до нынешнего времени продолжает работу. В отличие от предыдущих аппаратов программы, использовавших магнитную ленту, на Landsat 7 установлен массив твердотельной памяти на 378 гигабит. Основным инструментом для получения изображений является Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+). Имеет 9 диапазонов. Разрешение сканера возможно повысить до 13 м за счет нового добавленного панхроматического канала. В 2003 году работа спутника была нарушена, но при обработке космоснимков можно скомпенсировать отсутствие информации по периферии снимков. В нашей исследовании использовались несколько таких снимков. Наш участок попадает точно по середине сцены, что делает возможным изучение динамики растительности в данный период.

Landsat -8 получает изображения в видимом диапазоне волн, в ближнем ИК и в дальнем ИК, с разрешением снимков от 15 до 100 метров на точку. Производится съемка суши и полярных регионов. В сутки снимается порядка 400 сцен (у Landsat-7 было всего 250 сцен в день). Набор инструментов Operational Land Imager (OLI) является основным на спутнике. OLI работает в 9 спектральных диапазонах, семь из которых близки к тем, которые использовались в более ранних инструментах TM и ETM+, за счет чего обеспечивается преемственность и совместимость с ранее накопленным массивом данных Landsat. Добавлено два новых диапазона, канал 1 (темно-синий и фиолетовый) для изучения прибрежных вод и аэрозолей и канал 9 (ближний ИК) для упрощения поиска облаков на снимках.

Инструмент Thermal InfraRed Sensor (TIRS) был создан в центре NASA Goddard Space Flight Center и предназначен для получения изображений в дальнем ИК канале. Инструмент TIRS использует тот же принцип получения изображений pushbroom, что и OLI, и также имеет полосу обзора в 185 километров. Получение изображений происходит в двух каналах, 10 и 11, которые, совместно, работают в том же диапазоне, что и канал TIR на более ранних спутниках программы Landsat.

На декабрь 2020 года запланирован запуск 9 спутника программы Landsat. Он будет оснащен сканерами OLI-2 и TIRS-2.

Архивы данных спутниковой программы Landsat насчитывают большое количество космоснимков, полученных с 1972 года по настоящее время. В данной исследовательской работе были использованы данные спутников Landsat-5 TM, Landsat-7 ETM+, Landsat-8

OLI. Данные материалы были получены с официального сайта Геологической службы США (United States Geological Survey, USGS) (<https://landsat.gsfc.nasa.gov/>).

Таблица 1 – Характеристика космических съемочных систем среднего разрешения  
(выполнена автором по данным А.С. Черепанова)

Название	Виды	Год		Каналы	Разрешение каналов, мкм	Длины волн, мкм		
		Запуск	Конец работы					
1	2	3	4	5	6	7		
Landsat	Landsat 1 (MSS)	1971	1978	Зеленый Красный	до 80	0,50-0,60 0,60-0,70		
	Landsat 2 (MSS)	1975	1983	Ближний ИК1		0,70-0,80		
	Landsat 3 (MSS)	1978	1983	Ближний ИК2		0,80-1,10		
	Landsat 4 (TM)	1982	1993	Синий	30	0,45-0,52		
				Зеленый		0,52-0,60		
				Красный		0,63-0,69		
				Ближний ИК		0,76-0,9		
				Средний ИК1		1,55-1,75		
				Средний ИК2		2,08-2,35		
	Термальный ИК	120	10,40-12,50					
	Landsat 5 (TM)	1984	2013	Синий	30	0,45-0,52		
				Зеленый		0,52-0,60		
				Красный		0,63-0,69		
Ближний ИК				0,77-0,9				
			Средний ИК1		1,55-1,75			
			Средний ИК2		2,08-2,35			
			Термальный ИК		120	10,40-12,50		
			Landsat 7 (ETM+)	1999		Синий	30	0,45-0,52
						Зеленый		0,52-0,60
						Красный		0,63-0,69

1	2	3	4	5	6	7
				Ближний ИК		0,77-0,9
				Ближний ИК		1,55-1,75
				Средний ИК		2,08-2,35
				Термальный ИК	60	10,40-12,50
				Панхроматический	15	0,52-0,90
	Landsat 8 (OLI)	2013		Темно-синий и фиолетовый	30	0,433-0,453
Синий				0,450-0,515		
Зеленый				0,525-0,6		
Красный				0,63-0,68		
Ближний ИК				0,845-0,885		
Ближний ИК				1,56-1,66		
Ближний ИК				2,10-2,30		
Панхроматический				15	0,50-0,68	
Ближний ИК				30	1,36-1,39	
	Landsat 8 (TIRS)	2013		Дальний ИК 1 Дальний ИК 2	100	10,3-11,3 11,5-12,5

### 3.2 Методы исследования

В работе использовались полевые и дистанционные методы. Их совокупность позволила получить достоверные данные о флористическом составе растительных сообществ, глубине залегания ММП, температуре СТС на глубинах 3 и 12 см, а также получить значения NDVI для кустарниковых мохово-лишайниковых тундр. При этом была доказана применимость именно нормализованного индекса для данной территории.

#### 3.2.1 Полевые методы

В ходе экспедиции в июле 2019 года были проведены геоботанические исследования

типичных участков гари и негоревшей лишайниковой тундры согласно методу проективного покрытия (Раменский, 1937).

Площадь покрытия характеризует количественное соотношение между видами и общую сомкнутость растительного покрова. Проективное покрытие – площадь горизонтальных проекций отдельных растений, всей популяции вида или всего растительного покрова на поверхности почвы (Шенников, 1964).

Для исследования растительного покрова были заложены 20 пробных площадок 10x10 м. С помощью глазомерного метода в пределах площадки проводились геоботанические описания.

В ходе исследований мы определяли общее проективное покрытие, ярусное покрытие, видовой состав и долю каждого вида в общем ярусном покрытии.

Совместно с этим измерялась глубина залегания ММП щупом и температуры почв термометром на глубинах 3 и 12 см методом конверта.

### 3.2.2 Дистанционные методы

Для определения динамики постпирогенной сукцессии на участке гари мы использовали спутниковые данные Landsat 5TM, 7ETM+, 8OLI, основными преимуществами которых является возможность получения свободного доступа к архиву данных, достаточное разрешение для решения наших задач. Стоит отметить, что 31 мая 2003 года вышел из строя прибор Landsat 7 Scan Line Corrector (SLC), но несмотря на это он продолжил собирать данные, так как альтернативных источников сбора информации не было. Сейчас есть методы для устранения пробелов на космических снимках. Из-за этого интервал снимков, используемых для исследования с 2001 по 2010 больше (4 года).

Для расчета вегетационного индекса использовалось ПК ENVI, который является одним из наиболее эффективных и доступных программных продуктов, обеспечивающих полный цикл обработки оптико-электронных и радарных данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), а также их интеграции с данными геоинформационных систем (ГИС), например ArcMap. В ENVI проводилась предварительная обработка снимков с помощью атмосферной коррекции методом FLAASH для уменьшения влияния атмосферы на отражение поверхности и значения яркости. Далее проводился расчет индекса NDVI только для исследуемого участка. Для этого выбирались естественные маркеры для установления одинаковых границ на разновременных снимках (Бродт, 2017).

Статистическая обработка данных проводилась в ПО MS Excel, 2016 года. В программе было выполнено построение большей части графиков, диаграмм (ящик с усами).

Диаграмма размаха для значений NDVI до пожара и сразу после, линии тренда, для всех точек одновременно были получены в свободной среде статистического анализа R. Она широко используется за рубежом. Чтобы получить обработанные данные необходимо освоить одноименный язык программирования. Вся сложность в работе с этой программой заключается в подборе репрезентативных данных и написании правильных кодов для получения нужного результата.

## **Выводы**

В нашем исследовании мы остановили свой выбор на вегетационном индексе NDVI. Он является самым достоверным из всех вышеперечисленных, так как имеет хорошую чувствительность к изменениям биомассы растительности и подходит к изучению сплошного растительного покрова в тундровой зоне. В качестве данных ДЗЗ использовались космические снимки спутниковой системы LandSat 5, 7, 8. Они имеют разрешение 30 м, что вполне удовлетворяет наши потребности, и находятся в общем доступе на сайте Геологической службы США (United States Geological Survey, USGS) (<https://landsat.gsfc.nasa.gov/>).

Полевые исследования проводились в период максимального вегетирования сосудистых растений, что позволило получить достоверные данные.

Статистические методы, используемые в исследовании, имеют большую гибкость и функционал. С их помощью были получены наглядные достоверные различия между горящими и фоновыми территориями.

## ГЛАВА 4 ХАРАКТЕРИСТИКА ПОСТПИРОГЕННЫХ СУКЦЕССИИ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА ТАЗОВСКОВСКОГО РАЙОНА ЯНАО

В нашем исследовании «сукцессия» понимается как процесс растительности, состоящий в необратимой перестройке фитоценозов и ведущий к замене их другими (Шенников, 1941). Но в конечном итоге сукцессию можно отождествлять с понятием флюктуация – циклический, обратимый процесс изменений, характеризующийся устойчивостью флористического состава. При краткосрочных наблюдениях (менее 50 лет) принято использовать термин «сукцессия», при долгосрочных наблюдениях были замечены первичные составы растительных сообществ на гаях лесотундровой зоны (Магомедова, 2006, Замараева, 2011).

### 4.1 Описание территории исследования

Исследования проводились в Тазовском районе Ямало-Ненецкого автономного округа в 50 км южнее п. Тазовский на территории, подвергшейся пожару в 1990 году в период с 11 по 22 июля 2018 года (рис. 1).

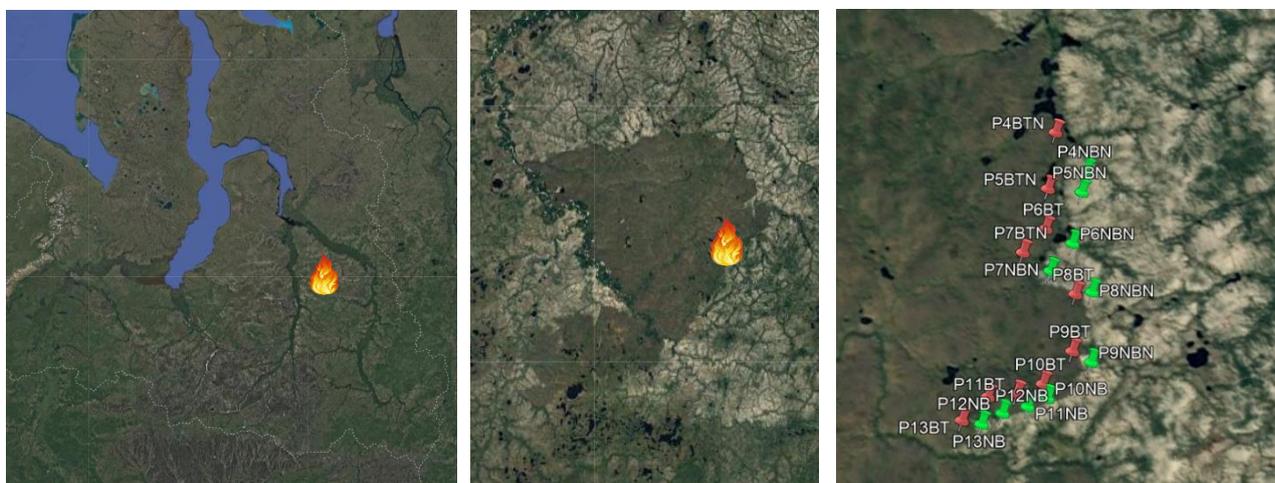


Рисунок 1 - Изучаемая территория на космоснимке, источник <https://earthexplorer.usgs.gov/>

 - исследуемая территория пожара 1990г.;  - участок негоревшей тундры;  
 - участок на гари. (нанесено автором)

Для изучения влияния пирогенного фактора на растительность, были заложены 20 площадок 10x10м, составлены геоботанические описания и измерены показатели глубины залегания многолетнемерзлых пород. При анализе динамики растительности после пожара

использовались данные дистанционного зондирования Земли, а именно космоснимки Landsat с летней датой максимальной вегетации тундровых сообществ в период 1990-2018 гг. и рассчитывался вегетационный индекс NDVI для оценки количественного изменения биомассы растительных сообществ.

При проведении геоботанических исследованиях было подтверждено, что изучаемые пробные площадки по флористическому составу соответствуют типичным мохово-лишайниковые тундрам, которые были описаны в пункте 2.5 Главы 2.

#### 4.2 Обработка данных, полученных при расчете вегетационного индекса

По анализу космических данных (<https://earthengine.google.com/Timelapse>) было установлено, что пожар произошел в конце июля – начале августа 1990г., поэтому первая точка на графике (рис. 2) характеризует биомассу до пожара, а вторая – сразу после. При этом наблюдается снижение индекса на 60% по отношению к фоновому значению.

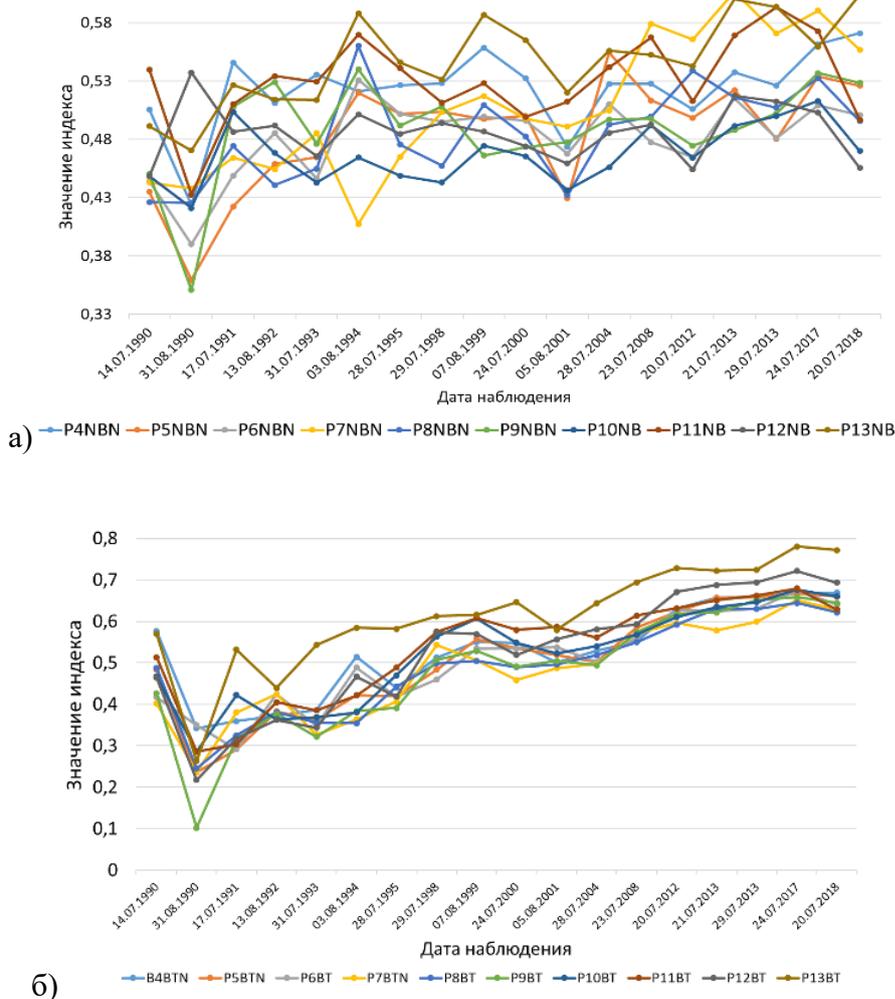


Рисунок 2 – Динамика значения NDVI в период с 1990 по 2018 гг.

а) на фоновой территории; б) на гари (выполнен автором)

Спустя 8 лет первоначальное количество биомассы восстановилось, а в 2012 году фитомасса превышала фоновую.

На рисунке 2а мы видим незакономерное изменение индекса, т.к. NDVI зависит от температуры воздуха в летний период и суммы осадков, начиная с даты установления снежного покрова в течении предшествующего исследования года (Московченко и др., 2017). Линия тренда остается почти неизменной, что говорит о количественной неизменности биомассы (рис. 3а).

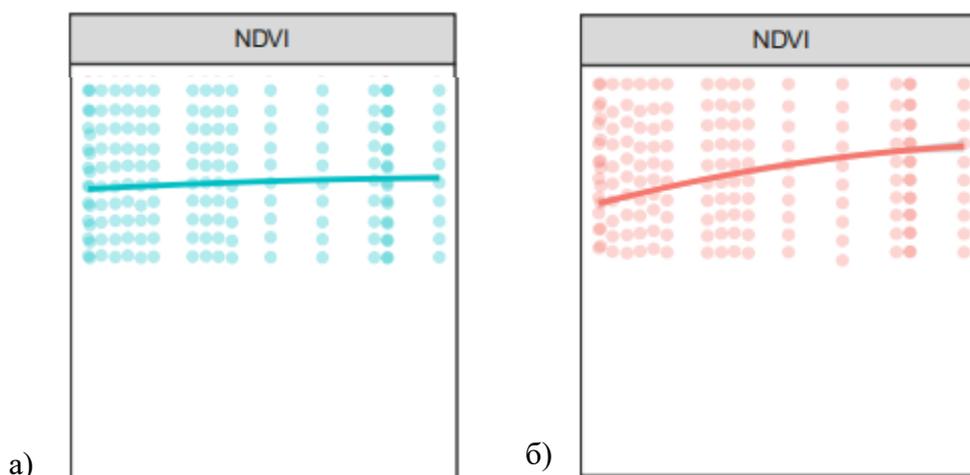


Рисунок 3 – Линии тренда значений NDVI на:  
а) участках негоревшей тундры; б) участках гари

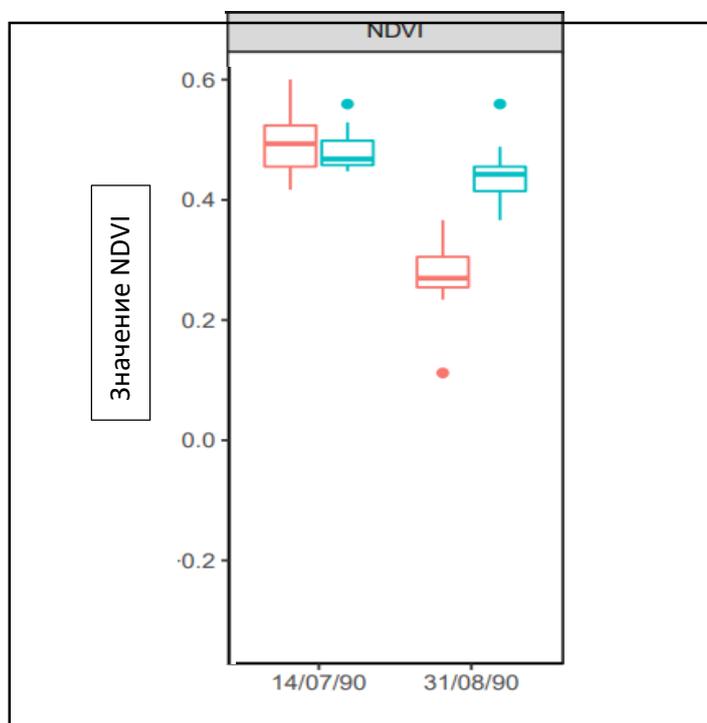


Рисунок 4 – Диаграмма размаха значений NDVI до пожара и сразу после пожара  
(красный «ящик» - участки гари; синий – негоревшая лишайниковая тундра)  
(выполнен автором)

На диаграмме (рис. 2б) показано резкое снижение значений индекса сразу после пожара (вторая точка) более чем в 1,5 раза (рис. 5). А затем четко прослеживается закономерное увеличение количества продуктивной биомассы до 2018 года (рис. 3б). Для более наглядного изображения изменений значения индекса была построена диаграмма размаха (рис. 4)

При соотношении динамики вегетационного индекса на пробных площадках на гари и на фоновой территории было выявлено, что значение NDVI на гарях превышает значения на негоревших участках спустя 10 лет после пожара (рис. 5). До этого приводились данные 13 лет (Cuevas-Gonza at all, 2009). Мы связываем такую динамику с развитием и разрастанием кустарникового яруса, т.к. у кустарников фотосинтетически активная биомасса выше, чем у лишайникового и кустарничкового покрова. К 2018 году значения индекса стабильны и составляют 0,66. Согласно классификации Чрепанова, Дружининой, леса имеют значение от 0,7. Для редколесий (лиственничных с примесью березы) тундровой зоны это значение варьируется от 0,7 до 0,8, при этом основную дол. биомассы составляют, на наш взгляд, именно кустарники.

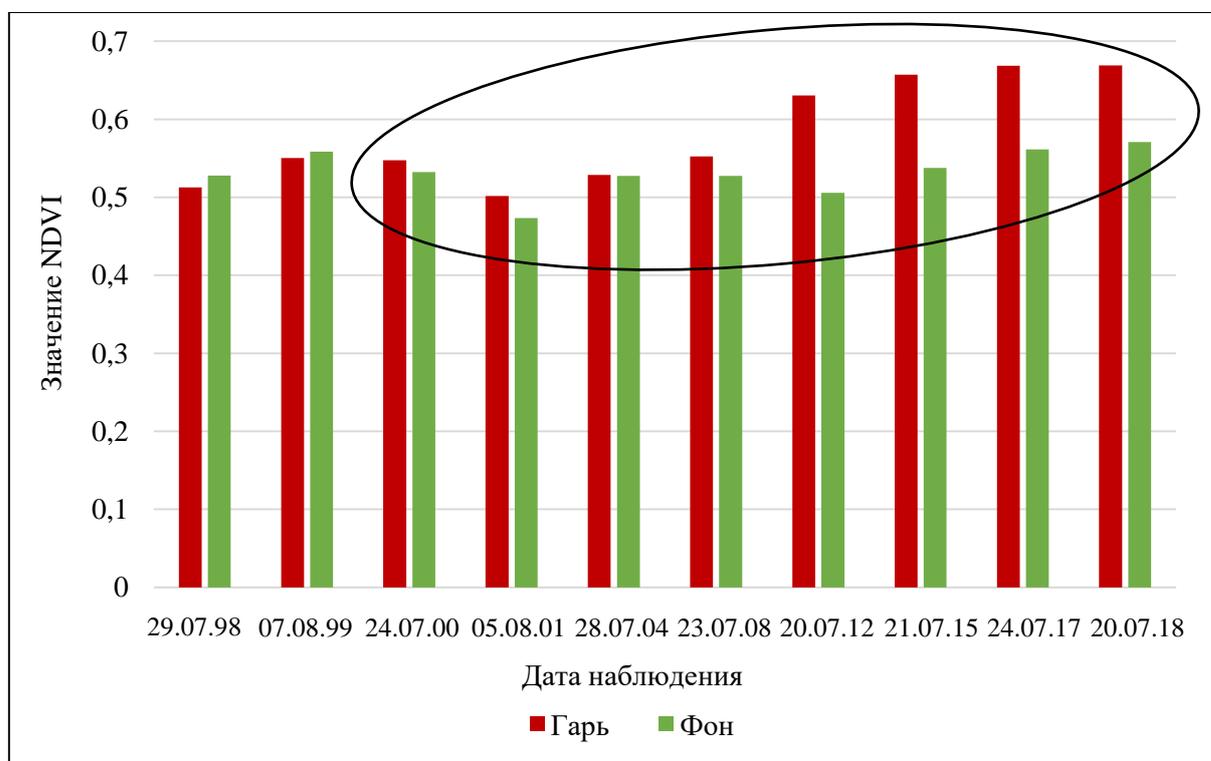


Рисунок 5 – Значения NDVI за период 1998-2018 гг. Пожар произошел в 1990г.  
(выполнен автором)

## 4.2 Обработка и анализ полевых данных

По разнице залегания ММП все пары площадок были разделены на группы и проанализированы различия между ними.

К первой группе относятся пары Р4, Р12. Разница в мощности СТС составляет 5 см (рис. 11). При этом геоботанические исследования в 2018 году показали, что на фоновом участке медиана общего проективного покрытия (ПП), в доле которого преобладает лишайниковый покров, состоящий в основном из видов *Cladonia stellaris*, *Cladonia rangiferina*, составляет 98% (рис. 6). При этом значение (также медиана) вегетационного индекса на период исследований равен 0,51.

На участке с трансформированными пожаром тундровыми сообществами наблюдается снижение общего ПП, его основную долю составляют кустарники и кустарнички видов *Betula nana*, *Vaccinium vitis-idea*, *Vaccinium uliginosum*, *Salix phylicifolia*, *Empetrum nigrum*, до 96%. Значение NDVI достигает 0,67, что обусловлено высоким содержанием хлорофилла в листьях кустарниковых и кустарничковых сообществ и их высокой отражательной способностью.

На площадках сохранились единичные особи лиственницы. В следствие этого общее ПП не имеет сильных различий, но при этом на гари преобладают кустарники, а на фоне – лишайники. Также пожар положительно повлиял на кустарнички, травы и мхи.

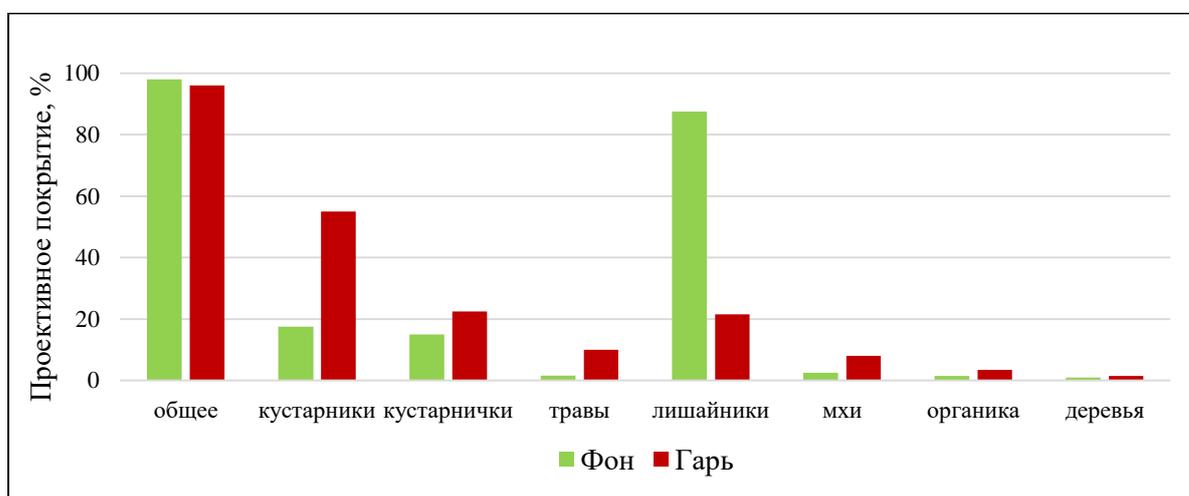


Рисунок 6 – Распределение проективного покрытия по геоботаническим исследованиям площадок первой группы в июле 2018г. (выполнен автором)

Ко второй были отнесены пары площадок Р5, Р13 с разницей в мощности СТС 20, 21 см (рис. 11). На фоновом участке общее ПП составило 99% (рис. 7). Основную долю здесь составляет *Cladonia stellaris*, индекс составляет 0,56. На гари ПП снижается до 91,5%,

возрастает доля кустарников, индекс составил 0,71. Здесь идет разночтение с классификацией Черепанова и Дружининой (Черепанов, Дружинина, 2009), т.к. значение 0,7 по классификации соответствует густой растительности. Но мы имеем участки, не занятые растительным покровом, а индекс выше.

Различия между первой и второй группами участков не значительны, есть открытые пятна (15%), где растительность еще не восстановилась. Из-за этого летом идет большой прогрев почв и, как следствие, возрастает температура грунтов. Изучение взаимоисключающих факторов отенения кустарников и поглощения тепла открытыми участками требуют дополнительных исследований.

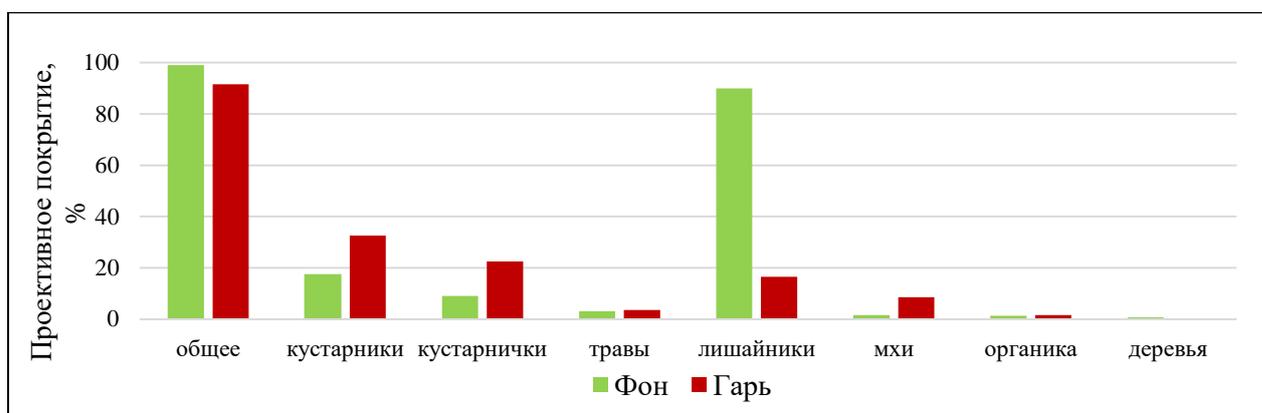


Рисунок 7 – Распределение проективного покрытия по геоботаническим исследованиям площадок второй группы в июле 2018г. (выполнен автором)

К третьей группе отнесены пары площадок Р6, Р10, Р11 с разницей в глубине залегания ММП 32 см (рис. 11). Общее проективное покрытие на негоревших участках составляет 99%, основную часть составляет *Cladonia stellaris*, индекс равен 0,49. На 11 участке гари имеется неживой ствол лиственницы. Проективное покрытие растительного покрова равно 80% (рис. 8). В кустарниковом покрове преобладает *Betula pana*, в кустарничковом - *Ledum palustre*, *Vaccinium uliginosum*. NDVI = 0,69, 20% площадки занимает неразложившаяся органика и открытая почва.

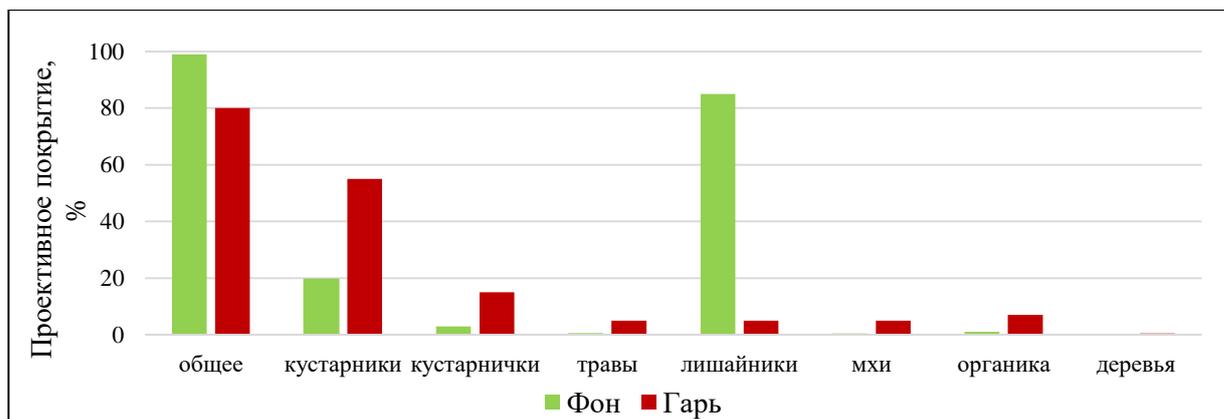


Рисунок 8 – Распределение проективного покрытия

по геоботаническим исследованиям площадок третьей группы в июле 2018г.

В последнюю группу входят площадки Р7, Р8, Р9. На них разница в мощности деятельного слоя составляет от 50 до 66 см (рис. 11). ПП на фоне 98%, из них 95% это лишайники (75% - *Cladonia stellaris*, 20 - *Cladonia rangiferina*). Индекс равен 0,52. На горевшей территории кустарниковый покров в меньшей степени развит, нежели в других группах. При этом достаточно большую площадь (20%) занимает неразложившаяся органика. На горевшем участке Р7 произрастают лиственница (*Larix sibirica*) и береза (*Betula pendula*) высотой 3м. Вегетационный индекс составляет 0,62.

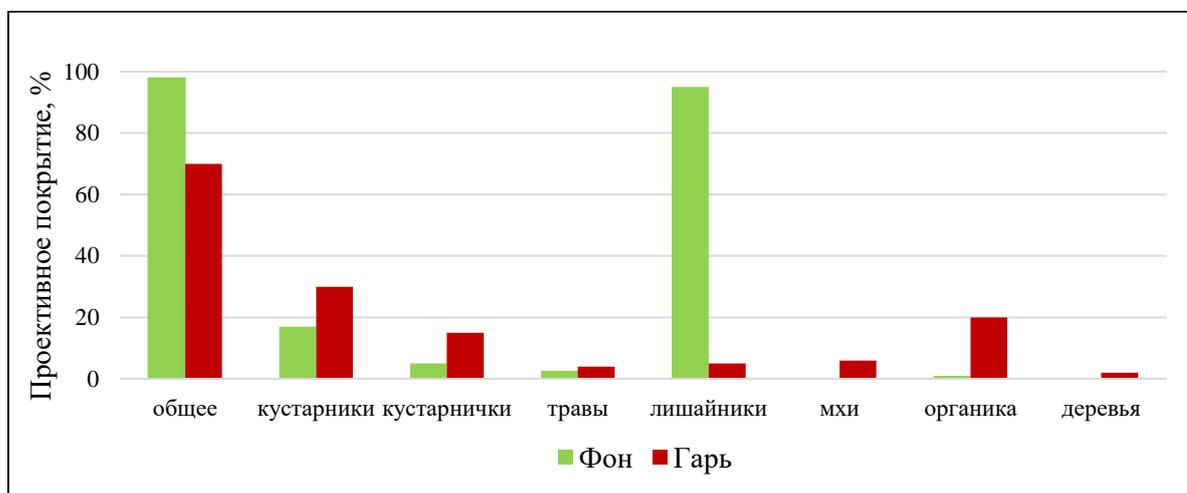


Рисунок 9 – Распределение проективного покрытия

по геоботаническим исследованиям площадок четвертой группы в июле 2018г.

(выполнен автором)

Прослеживается положительное влияние пожара на развитие моховых и травяных сообществ. На гарях их биоразнообразие выше, чем на негоревших участках. По всем пробным площадкам видно, что количество видов разных ярусов на гарях больше, чем на

фоновой территории (рис.10). По медиане 43 на гари и 33 на фоне, при этом есть одна пара площадок, где биоразнообразие практически одинаковое.

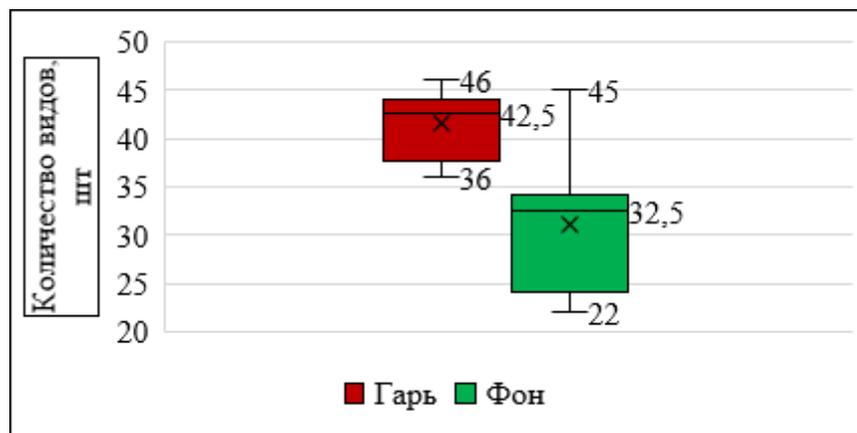


Рисунок 10 – Диаграмма размаха количества видов на гари и фоновой территории.  
(выполнен автором)

Измерения температуры почв на глубинах 3 и 12 см показали следующие результаты.

На глубине 3 см разница составила более 60%, а на глубине 12 см – 76% (рис. 11).

По нашему мнению, высокая температура почв на гарях обусловлена отсутствием лишайниковой изолирующей подушки, наличием открытых участков и более дифференцированным мезорельефом, образовавшимся в результате деятельности огня, ветра. Но несмотря на это, ранее доказано, что кустарники обладают оттеняющим эффектом, что мешает прогреву почв.

При анализе мощности СТС было выявлено, что на фоновых точках ММП залегают на меньшей глубине, чем на гарях. По нашему мнению, эти различия связаны со степенью прогорания, а также видовым составом растительного покрова. Например, на площадках Р4 разница в мощности СТС составляет всего 5 см, а на участках пары Р7 – 66 см, Р9 - 57 (рис. 8). При полевых исследованиях не стояла задача изучения глубины воздействия огня на почвы. Но можно предположить, что мощность деятельного слоя зависит от степени прогорания. Так, на участке гари Р11 мы наблюдали неживой ствол лиственницы, а на участке Р9 – основание мертвого ствола. Возможно, это обусловлено интенсивным воздействием огня на корни.

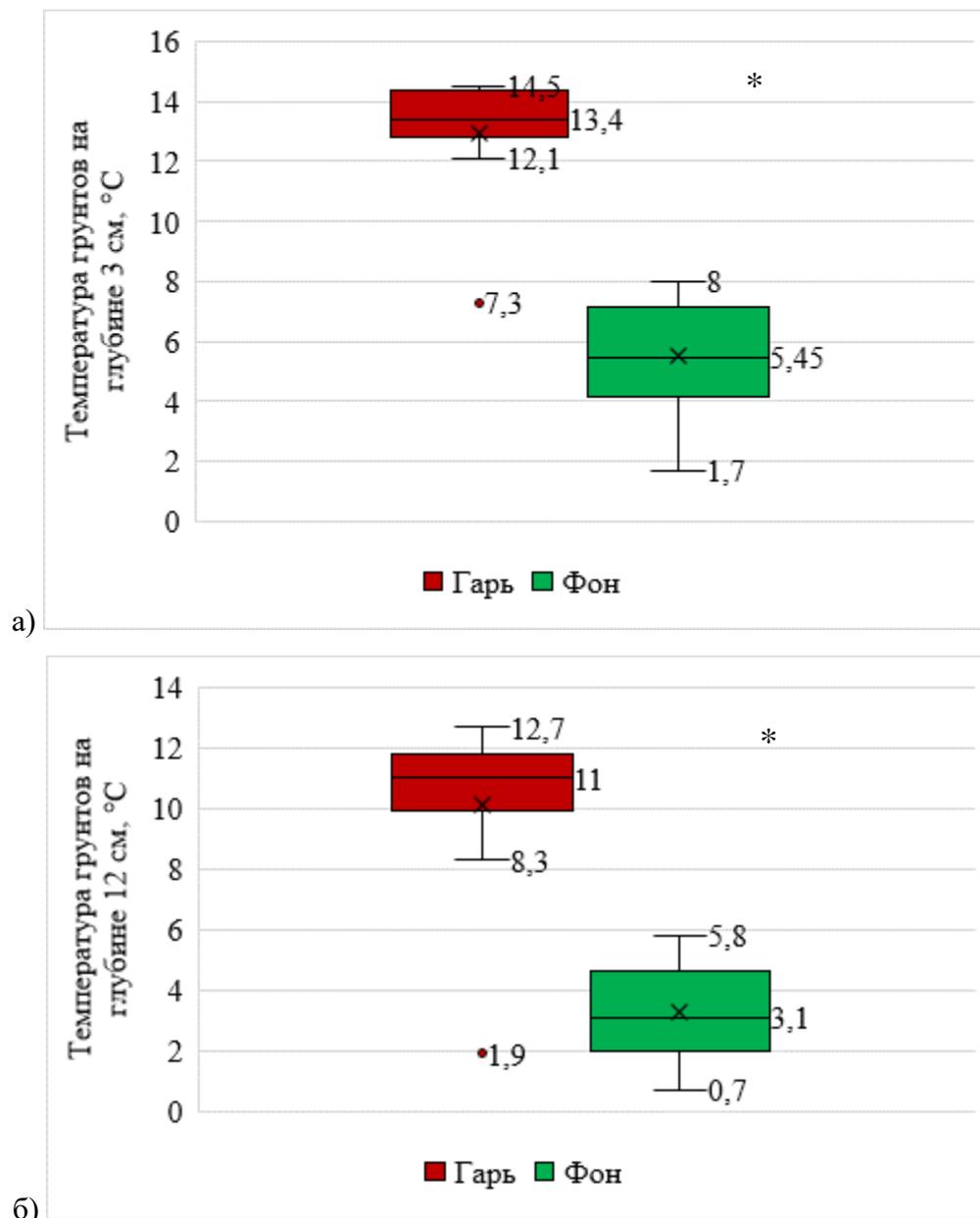


Рисунок 11 – Диаграммы размаха температуры грунтов на глубине  
 а) 3 см; б) 12 см. (\* - различия достоверны при  $P < 0,05$ )  
 (выполнен автором)

При анализе мощности СТС было выявлено, что на фоновых точках ММП залегают на меньшей глубине, чем на гарях. По нашему мнению, эти различия связаны со степенью прогорания, а также видовым составом растительного покрова. Например, на площадках Р4 разница в мощности СТС составляет всего 5 см, а на участках пары Р7 – 66 см, Р9 - 57 (рис. 8). При полевых исследованиях не стояла задача изучения глубины воздействия огня на почву. Но можно предположить, что мощность деятельного слоя зависит от степени прогорания. Так, на участке гари Р11 мы наблюдали неживой ствол лиственницы, а на

участке P9 – основание мертвого ствола. Возможно, это обусловлено интенсивным воздействием огня на корни.

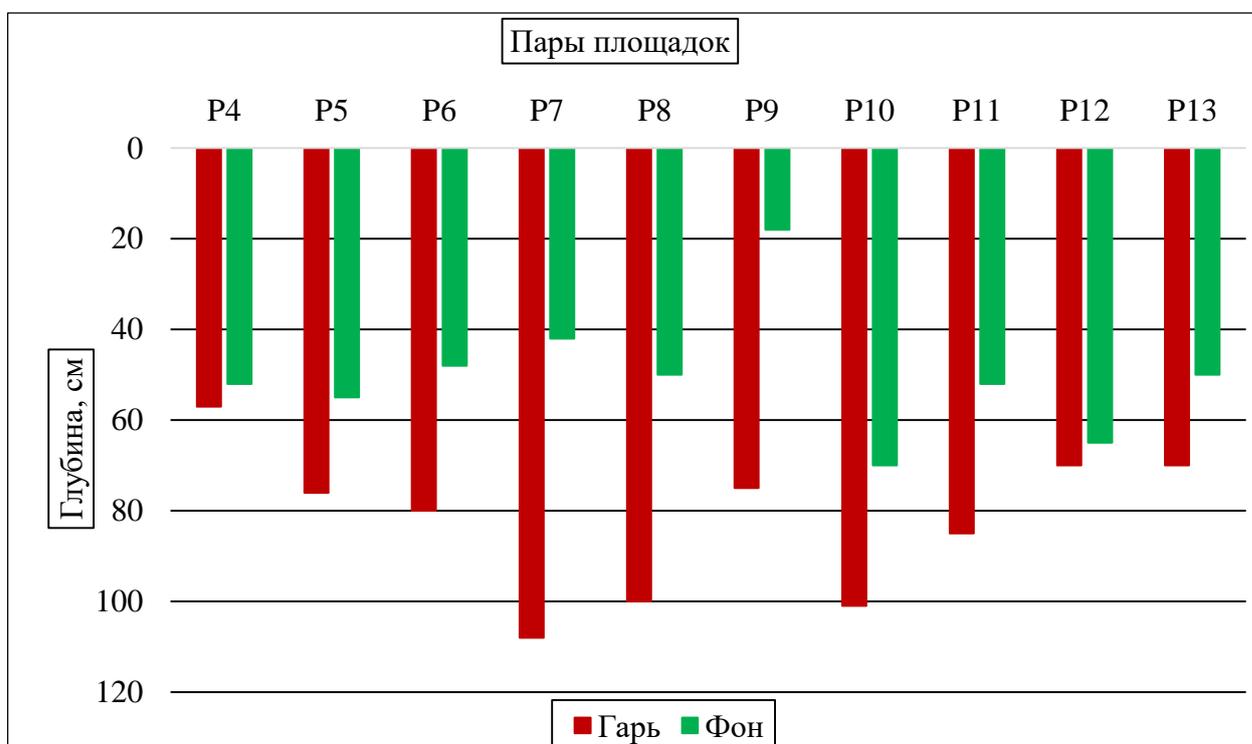


Рисунок 12 – Мощность сезонно-талого слоя, см  
(выполнен автором)

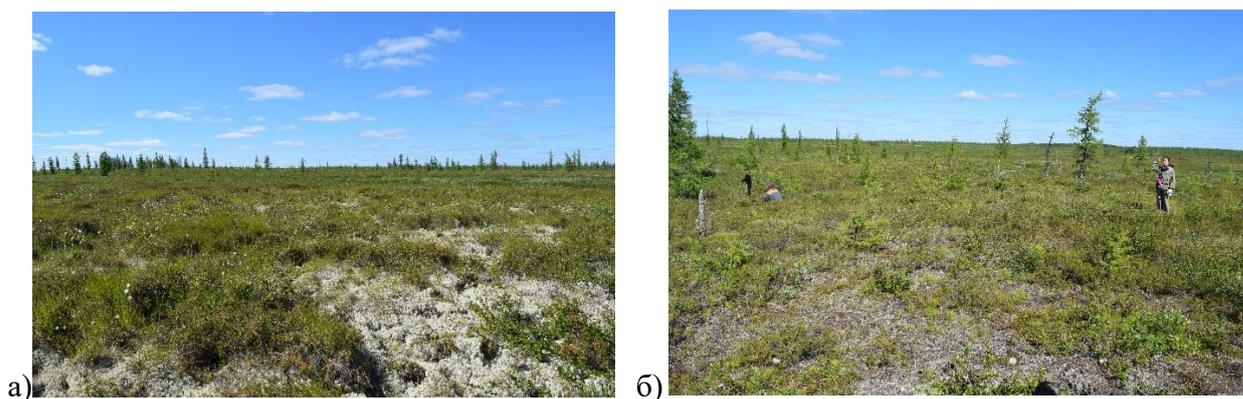


Рисунок 13 – Пробные площадки P11 а) негоревшая тундра; б) гарь  
(выполнен автором)

Среднее значение мощности СТС на гарях составляет 78 см, что на 34% больше мощности деятельного слоя на участках негоревшей тундры (рис. 9). При этом температуры грунтов на 3 и 12 см показали аналогичные достоверные различия.

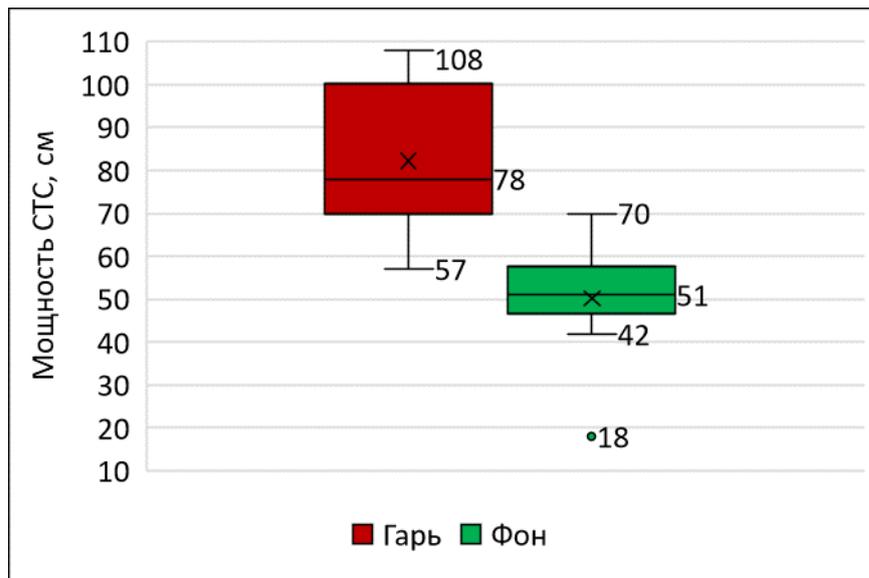


Рисунок 13 – Диаграмма размаха мощности сезонно-талого слоя, см  
(выполнен автором)

### Выводы

Согласно геоботаническим описаниям, проведенным на 20 пробных площадках, было доказано, что выбранные участки представляют собой типичные (п. 2.5 Глава 2) кустарниковые кустарничково-лишайниково-моховые бугорковатые тундры.

В подтверждении результатов исследований Е.Л. Жильцовой (Жильцова и др., 2015) биомасса растительного покрова при постпирогенной сукцессии также возрастает. Это нам показывают высокие показатели вегетационного индекса NDVI, которые на гарях превышают значения на фоне в среднем на 30%. Продвижение границ притундровой растительности на север может быть обусловлена климатическими изменениями (потеплением). Наши исследования показывают, что реально существует еще один фактор смены типично тундрового флористического состава на лесотундровый – пожары, инициирующие смену растительных ассоциаций.

Долгосрочные исследования показали, что ММП в постпирогенный период способны восстанавливаться со средней скоростью 0,52 см в год (Knorre et al., 2018). При восстановлении лишайникового напочвенного покрова, создается изолирующий слой, что приводит к снижению поступления тепла вглубь грунтов, а следовательно, и температуры грунтов и в долгосрочной перспективе это способствует сокращению мощности деятельного слоя. Эти данные подтверждаются нашими исследованиями, согласно которым на фоновых участках с преобладающей долей в проективном покрытии лишайникового напочвенного покрова мощность СТС и температура меньше, чем на гарях. Оттеняющее

влияние кустарникового покрова на горевших участках в нашем исследовании невозможно доказать, т.к. нам неизвестна глубина залегания ММП на ранних стадиях восстановления.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Целью выпускной квалификационной работы была оценка постпирогенной динамики растительности тундр Тазовского района по динамике вегетационного индекса NDVI с использованием данных ДЗЗ. Для достижения цели были поставлены и выполнены 4 задачи.

Изучаемый участок относится к типичным ерниковым и ивняково-ерниковым с лишайниково-моховым покровом, часто чередующимися с группами листовенничных редколесий бугорковатым тундрам (*Larix sibirica*, *Betula nana*, *Salix sibirica*, *Vaccinium vitis-idaea*, *V. uliginosum*, *Empetrum nigrum*, *Cladina rangiferina*, *Cl. Stellaris*, *Cetraria cucullate*).

Для исследования был выбран дифференцированный нормализованный вегетационный индекс, как наиболее информативный и подходящий для данной территории. Восстановление вегетирующей биомассы растительного покрова произошло через 8 лет после гари. С 2000 года значения NDVI на гари превышают фоновые, а с 2017 года индекс принял значения больше 0,6.

Пирогенные сукцессии в субарктической зоне в разных точках протекают по-разному. На Аляске зарастание идет за счет злаковых (*E. Vaginatum*) и кустарниковых сообществ (*Salix spp*). Для нашей же территории восстановление растительного покрова в основном происходит за счет кустарникового покрова (*Betula nana*, *Salix sibirica*). При выгорании мохово-лишайникового напочвенного покрова, отепляющем воздействии огня происходит повышение температуры почв и, как следствие, увеличение мощности СТС. Кустарниковый покров на горях оказывает отеняющее действие и способствует снижению температуры почво-грунтов, но наличие открытых пятен нивелирует скорость восстановления ММП.

Неоднократно отмечалась экспансия кустарниковых сообществ в зону тундры в связи с потеплением климата, но реально существует еще один фактор смены типично тундрового флористического состава на лесотундровый – пожары, инициирующие смену растительных ассоциаций.

В заключение работы необходимо отметить, что при аналогичных исследованиях также необходимо уделять внимание степени и глубине прогорания напочвенного покрова, так как, по нашему мнению, это может влиять на температуру почв, мощность СТС, а также на успешность восстановления растительных сообществ.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

### Источники

Атлас Тюменской области / Отв. ред. И. П. Заруцкая. — М.; Тюмень: ГУГК, 1971. -Вып. 1. - Л. 11–13.

### Литература

Антропогенные изменения экосистем Западно-Сибирской газоносной провинции. Под ред. Н.Г. Москаленко. Коллектив авторов // Институт криосферы Земли СО РАН, Тюмень. 2006. С.357.

Климат территории нефтегазовых месторождений на полуостровах Тазовский и Ямал. Под ред. Ц.А. Швер. Коллектив авторов // Специализированный справочник. Ленинград Гидрометеиздат, 1991. – С. 218.

Природные условия освоения Тазовского нефтегазоносного района. Ответственный. ред. Б.Н. Лиханов. Коллектив авторы // М.: ИГАН СССР, 1972. – С. 223.

Растительный покров Западно-Сибирской равнины. Ильина И.С., Лапшина Е.И. Коллектив авторов. – Новосибирск: Наука, 1985. – С. 222.

Анисимов О.А., Шерстюков А.Б. Оценка роли природно-климатических факторов в изменениях криолитозоны России // Криосфера Земли, 2016. Т. XX, №2. С.90-99

Бакулин В.В., Козин В.В. География Тюменской области: Учеб. пособие. Екатеринбург: Сред.-Урал. кн. изд-во, 1996. – С. 103.

Болсуновский М.А. Система спутниковых ДДЗ SPOT // Геопрофи №3. 2005 – Москва: Совзонд. 2005. – С. 21-23.

Бродт Л.В. Оценка влияния пирогенного фактора на растительность и сезонно-талый слой в арктической зоне. Материалы Международного молодежного научного форума «ЛОМОНОСОВ-2019». Секция «Структура, функционирование и эволюция природных геосистем». / Отв. ред. И.А. Алешковский, А.В. Андриянов, Е.А. Антипов. [Электронный ресурс]. – М: МАКС Пресс, 2019.

Бродт Л.В. Оценка влияния пирогенного фактора на растительность и сезонно-талый слой в арктической зоне. Материалы международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Теория и практика современных географических исследований», посвященной 180-летию российского путешественника и натуралиста, исследователя Центральной Азии Н.М. Пржевальского. – Географического института, проведенной в рамках XV Большого географического фестиваля. – Санкт-Петербург: Свое Издательство, 2019.

Городецкая М. Е., Мещеряков Ю. А. Морфоструктурные элементы рельефа Западно — Сибирской равнины и размещение полезных ископаемых. Изв. АН СССР. Сер. геогр., 1968, № 9.

Городков Б.Н. Вечная мерзлота и растительность // Вечная мерзлота. - Л.: Изд.-во АН СССР, 1930. – С. 48-60.

Двинская М.Л., Харук В.И., Рэнсон К.Дж. Гари в лиственничниках средней Сибири: временные тренды и ландшафтная приуроченность//Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Т.2. №2, 2005 – С.372-379.

Жильцова Е.Л., Анисимов О.А. Динамика растительности северной Евразии: анализ современных наблюдений и прогноз на 21 век // Арктика XXI век. Естественные науки. 2015. №2 (3).

Замараева Татьяна Александровна Восстановление растительного покрова багульниково-лишайниковых лиственничных лесов после пожаров в лесотундровой зоне Западной Сибири // ВЭЛЛ. 2011. №11.

Козин В. В. Ландшафтный анализ в решении проблем освоения нефтегазовых регионов: Автореф. дис. д-ра геогр. наук. Иркутск, 1993. – С. 44.

Кононов О.Д., Попов Алексей Иванович О возможности дистанционного мониторинга зарастания геологоразведочных площадок на территории Ненецкого автономного округа // Arctic Environmental Research. 2017. №1. С.5-13.

Корниенко С.Г., Якубсон К.И., Масленников В.В. Изучение трансформаций природных комплексов нефтегазоносных областей криолитозоны по данным космической съемки / Наука и техника в газовой промышленности, 2005, №3, С.71-77.

Корниенко С. Г. Оценка влияния разработки Уренгойского нефтегазоконденсатного месторождения на состояние территории лесотундры по данным ИСЗ «Landsat» // Исследование Земли из космоса. — 2009. — № 4. — С. 78–87.

Корниенко С. Г. Оценка трансформаций природных ландшафтов Тазовского полуострова по данным космической съемки. // Региональные проблемы изучения природы и использования природных ресурсов №1, 2011. – С . 67-73.

Корниенко С.Г., Якубсон К.И. Исследование трансформации растительности в районах Тазовского полуострова по данным космической съемки. // Арктика: экология и экономика № 4, 2011. - С.46-51.

Корчагин А.А., Лавренко Е.М. (ред.) 1964. Полевая геоботаника. Т. 3. Наука, Москва–Ленинград.

Лёзин В.А. Реки Ямало-Ненецкого автономного округа. Справочное пособие.

Издательство «Вектор Бук». Тюмень, 2000. – 142 с.

Магомедова М.А. Восстановление лишайникового покрова на гарях в предтундровых лесах Западной Сибири // Биота ямала и проблемы региональной экологии. научный вестник. 2006 Вып. 1 (38). с. 27–38.

Марьинских Д.М. Ландшафтно-экологический анализ территории Уренгойского нефтегазоконденсатного месторождения: дис. к-та геогр. наук. Тюмень, 2003. – С. 218

Морозова Л.М., Эктова С.Н., Рябицева Н.Ю. Восстановление растительного покрова на горячих в зоне лесотундры // Экосистемы субарктики: структура, динамика, проблема охраны / Научн. вестн. 2007 Вып. 6 (50), ч. 1 с. 17–32.

Москаленко Н.Г., Васильев А.А., Гашев С.Н. и др. Антропогенные изменения экосистем Западно-Сибирской газоносной провинции. // Криосфера Земли // 2006. М., Институт криосферы Земли, 358 с.

Московченко Д.В., Арефьев С.П., Глазунов В.А., Тигеев А.А. Изменение состояния растительности и геоэкологических условий Тазовского полуострова (восточная часть) за период 1988-2016 гг // Криосфера Земли, 2017, т. XXI, № 6, с. 3–13

Мячина К.В. Опыт выявления трансформированных ландшафтов нефтепромыслов в условиях степной зоны Оренбургской области на основе изображений спутников Landsat // Геология, полезные ископаемые и проблемы геоэкологии Башкортостана, Урала и сопредельных территорий: Материалы и доклады / 10-я Межрегиональная научно-практическая конференция. Уфа, 13–15 мая, 2014 г. – Уфа: ДизайнПресс, 2014. – С.228.

Перлова Е.В., Микляева Е.С., Ткачёва Е.В., Ухова Ю.А. Ямальский кратер как пример быстроразвивающегося криогенного процесса в условиях потепления климата в Арктике // Вести газовой науки. 2017. №3 (31).

Раменский Л.Г. Учет и описание растительности (на основе проективного метода). Изд. ВАСХНИЛ, 1937

Тагунова Л.Н. Растительность // Ландшафты криолитозоны Западно-Сибирской газоносной провинции. - Новосибирск, 1983. – С. 165.

Фисенко Е.Ф. Совершенствование методов автоматизации дешифрования почвенно-растительного покрова на основе расширения признакового пространства с использованием мультииндексной обработки

эталонных спектральных признаков объектов для данных синхронного наземного и космического дистанционного зондирования» // Известия высших учебных заведений раздел геодезия и аэрофотосъемка № 1 выпуск №6 / М.: Издание Московского Государственного Университета Геодезии и Картографии (МИИГАиК), 2013. — С. 81-86.

Шарая Л.С. «Прогнозное картографирование лесных экосистем (ландшафтно-экологический подход)» // Известия Самарского научного центра РАН. 2013. №3 С.38-47.

Шенников А.П. Введение в геоботанику. Л.: Изд-во ЛУ им. А.А. Жданова, 1964. - 447 с.

Черепанов А.С. Вегетационные индексы// Геоматика № 2. 2011 – Москва: Совзонд, 2011. – С. 98 – 102.

Черепанов А.С., Дружинина Е.Г. Спектральные свойства растительности и вегетационные индексы. // Геоматика №3. 2009 – Москва: Совзонд, 2009. – С. 28-32.

### **Интернет-источники**

Архив космоснимков Landsat на сайте Геологической службы США [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://earthexplorer.usgs.gov>.

Официальный сайт Геологической службы США [Электронный ресурс] // Режим доступа <https://www.usgs.gov>.

Официальный сайт NASA [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://www.nasa.gov>.

### **Литература на иностранных языках**

Barrett, K., Rocha, A. V., van de Weg, M. J., & Shaver, G. (2012). Vegetation shifts observed in arctic tundra 17 years after fire. Remote Sensing Letters, 3(8), 729–736. (перевод автора)

Flannigan D. M., Krawchuk B., William J. de Groot, B. Mike Wotton, Lynn M. Gowman Implications of changing climate for global wildland fire. *International Journal of Wildland Fire* 18(5): 2009. C. 483-507 (перевод автора)

Cuevas-Gonzalez M., Gerand F., Balzler H., Riane D. Analysing forest recovery after wildfire disturbance in boreal Siberia using remotely sensed vegetation indices // *Global Change Biology*, 2009. №15. 3. 561-577. (перевод автора)

Knorre A.A., Kirilyanov V. A., Prokushkin S. A., Krusic J. P. Tree ring-based reconstruction of the long-term influence of wildfires on permafrost active layer dynamics in Central Siberia. *Sci Total Environ*. 2019. (перевод автора)

Kriegler, F.J., Malila, W.A., Nalepka, R.F., and Richardson, W. (1969) 'Preprocessing transformations and their effects on multispectral recognition.' *Proceedings of the Sixth International Symposium on Remote Sensing of Environment*, p. 97-131. (перевод автора)

Michael M Loranty and Scott J Goetz/ Shrub expansion and climate feedbacks in Arctic tundra. *Environmental Research Letters* 7. ·2012. (перевод автора)

Narita, K., Harada, K., Saito, K., Sawada, Y., Fukuda, M., & Tsuyuzaki, S. (2015). Vegetation and Permafrost Thaw Depth 10 Years after a Tundra Fire in 2002, Seward Peninsula, Alaska. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 47(3), 547–559. (перевод автора)

Raynolds, M.K., Walker, D.A., Epstein, H.E., Pinzon, J.E., Tucker, C.J. A new estimate of tundra-biome phytomass from trans-Arctic field data and AVHR-NDVI/ M.K. Raynolds, D.A. Walker, H.e. Epstein, J.E. Pinzon, C.J. Tucker// *Remote Sensing Letters*. – 2012. – Vol. 3. – No 5. – P. 403-411. (перевод автора)

Rouse, J.W, Haas, R.H., Scheel, J.A., and Deering, D.W. (1974) 'Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS.' *Proceedings, 3rd Earth Resource Technology Satellite (ERTS) Symposium*, vol. 1, p. 48-62. (перевод автора)

Выпускная квалификационная работа (магистерская диссертация) выполнена мной самостоятельно. Использованные в работе материалы и концепции из опубликованной научной литературы и других источников имеют ссылки на них.

Отпечатано в 1 экземпляре.

Библиография 48 наименований.

Один экземпляр сдан на кафедру.

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_  
(дата)

\_\_\_\_\_  
(подпись)

\_\_\_\_\_  
(Ф.И.О.)