

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

Институт наук о Земле  
Кафедра геоэкологии и природопользования

РЕКОМЕНДОВАНО К ЗАЩИТЕ В ГЭК  
Заведующий кафедрой  
Доктор биологических наук  
\_\_\_\_\_ А.В., Синдирева  
\_\_\_\_\_ 2021 г.

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**  
магистерская диссертация

ОЦЕНКА ДИНАМИКИ СОСТОЯНИЯ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА  
РАЗНОВОЗРАСТНЫХ ГАРЕЙ ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО  
ЗОНДИРОВАНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ ЯМАЛО-НЕНЕЦКОГО  
АВТОНОМНОГО ОКРУГА

05.04.06 Экология и природопользование  
Магистерская программа «Геоэкология нефтегазодобывающих регионов»

Выполнил (а) работу  
студент (ка) 2 курса  
очной формы обучения

Сафина Лиана  
Ильшатовна

Научный руководитель  
*Д.б.н., доцент, директор НИИ экологии и  
РИПР ТюмГУ*

Соромотин Андрей  
Владимирович

Рецензент  
*К.б. н, главный специалист по экологии  
ООО "ПурГеоКом"*

Лоботросова Светлана  
Айратовна

Тюмень  
2021

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	4
ГЛАВА 1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР .....	7
1.1. ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЕГЕТАЦИОННЫХ ИНДЕКСОВ И ПРИМЕНЕНИЕ NDVI КАК НАИБОЛЕЕ ИНФОРМАТИВНОГО ИНДЕКСА ДЛЯ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА.....	7
1.2. ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ NDVI ДЛЯ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА.....	12
1.3. ХАРАКТЕРИСТИКИ СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМ LANDSAT И SENTINEL.....	16
ВЫВОД.....	19
ГЛАВА 2. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МЕСТНОСТИ .....	21
2.1. КЛИМАТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА.....	21
2.2. РЕЛЬЕФ И ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ .....	23
2.3. ГИДРОГРАФИЯ, ГИДРОГЕОЛОГИЯ .....	24
2.4. ПОЧВЫ. РАСТИТЕЛЬНЫЙ И ЖИВОТНЫЙ МИР .....	25
ВЫВОД.....	27
ГЛАВА 3. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ .....	28
3.1. ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	28
3.2. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ .....	30
ВЫВОД.....	31
ГЛАВА 4. ОЦЕНКА ДИНАМИКИ СОСТОЯНИЯ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА РАЗНОВОЗРАСТНЫХ ГАРЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЕГЕТАЦИОННОГО ИНДЕКСА NDVI .....	33
4.1. ИНТЕРПРЕТАЦИЯ КОМБИНАЦИЙ КАНАЛОВ В QGIS С ЦЕЛЬЮ ОБНАРУЖЕНИЯ УЧАСТКОВ ГАРИ .....	33
4.2. ХАРАКТЕРИСТИКА ИНДЕКСА NDVI ДЛЯ ОЦЕНКИ ДИНАМИКИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА .....	37

4.3. МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА ИЗМЕНЕНИЯ СОСТОЯНИЯ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА НА ИЗУЧАЕМЫХ ГАРЯХ ПО ВЕГЕТАЦИОННОМУ ИНДЕКСУ NDVI.....	38
ВЫВОД.....	44
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	46
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	48
ПРИЛОЖЕНИЕ 1. СНИМКИ NDVI. УЧАСТОК №1 .....	52
ПРИЛОЖЕНИЕ 2. СНИМКИ NDVI. УЧАСТОК №2 .....	54

## ВВЕДЕНИЕ

Лесные пожары относительно редки в экосистемах субарктических тундр, но их частота и масштабы, по прогнозам, увеличатся с изменением климата. Кратковременное воздействие пожаров на растительность субарктической тундры хорошо задокументировано, но очень мало известно о постпожарном восстановлении с течением времени сухой тундровой растительности и влияние этих процессов на свойства экосистем.

С изменением климата ожидается, что лето станет более сухим, а продолжительность вегетационного периода увеличится, что приведет к более высокой вероятности возгорания и увеличению размера и интенсивности тундровых пожаров. Понимание послепожарного восстановления растительного покрова немаловажно для комплексной оценки последствий пожара и ликвидации его последствий.

Одним из наиболее доступных источников информации о постпожарном восстановлении растительного покрова является использование данных дистанционного зондирования Земли, которые способны обеспечить необходимый уровень детализации, охват территории на определенный промежуток времени.

Цель исследования – оценка динамики состояния растительного покрова на разновозрастных участках гари по данным дистанционного зондирования.

Задачи:

1. Изучить возможность использования спектрзональных снимков для оценки состояния растительности по вегетационным индексам;
2. Дать физико-географическую характеристику Тазовского района Ямало-Ненецкого автономного округа;
3. Установить комбинацию каналов спектрзональных снимков для идентификации гарей субарктических территорий Западной Сибири;

4. Определить многолетнюю динамику изменения вегетационного индекса NDVI на разновозрастных участках гарей в Тазовском районе Ямало-Ненецкого автономного округа.

Объект исследования – растительный покров, формирующийся на выгоревших участках.

Предмет исследования – оценка состояния растительного покрова в ходе постпирогенного восстановления с использованием индекса NDVI.

Защищаемые положения:

1. Комбинация каналов SWIR(2)-RED-BLUE спектральных снимков позволяет точно идентифицировать старые гари в субарктике Западной Сибири;

2. Восстановление растительного покрова по данным NDVI до фонового уровня в условиях лесотундры Западной Сибири занимает продолжительное время, более 15 лет после пожара.

Методы исследования

В работе использовались следующие методы:

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

Теоретической основой послужили работы:

Черепанов А.С., Шихов А. Н., Герасимов А. П. по дистанционным методам обработки космоснимков и расчета NDVI;

Ильина И.С., Бакулин В.В., Лёзин В.А. и др. в части описания растительного покрова района исследования;

Курганович К.А., Ramona J. Heim, Корниенко С.Г. и Якубсон К.И в части теоретической базы о восстановлении растительного покрова на гарях.

#### Научная новизна и практическая значимость

Впервые для Западной Сибири удалось надежно идентифицировать старые гары с возрастом от 15 и более лет на основе комбинации каналов SWIR(2)-RED-BLUE спектральных снимков Landsat 5 TM/7 ETM+/8 OLI и Sentinel-2. Также уточнен временной интервал восстановления растительного покрова в послепожарный период, составляющий для района исследований не менее 15 лет.

Полученные закономерности темпов восстановления растительного покрова позволят более объективно планировать рекультивационные и лесокультурные мероприятия на гарях.

#### Достоверность результатов

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

#### Структура работы

Выпускная квалификационная работа состоит из, введения, четырех глав, заключения, списка литературы и 2 приложений. Текст работы изложен на 51 странице печатного текста, включая список литературы, содержит 13 рисунков, 3 таблицы. Список использованной литературы включает в себя 36 источников.

В первой главе анализируются литературные источники на темы: возможность использования вегетационных индексов, опыт использования NDVI и характеристика спутниковых систем. Во второй главе дается физико-географические характеристика района, особое внимание уделено растительному покрову ввиду тематики работы. В третьей главе описаны объекты и методы исследования. В четвертой – оценка динамики состояния растительного покрова разновозрастных гарей с использованием вегетационного индекса NDVI.

## ГЛАВА 1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

### 1.1. ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЕГЕТАЦИОННЫХ ИНДЕКСОВ И ПРИМЕНЕНИЕ NDVI КАК НАИБОЛЕЕ ИНФОРМАТИВНОГО ИНДЕКСА ДЛЯ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА

Особым свойством растительности и ее состояния считается спектральная отражательная способность, характеризующаяся большими различиями в отражении излучения различных длин волн [Ceccato, P., Flasse, S., Tarantola, S., с. 22 – 33]. Познания о взаимосвязи структуры и состояния растительности с ее спектрально отражательными способностями дают возможность применять космические снимки с целью картографирования и идентификации типов растительности и их стрессового состояния [Черепанов, 2009, с. 28-32].

Для работы со спектральными данными рассчитывают индексные изображения, в которых яркость каждого пиксела устанавливают на основе индексов, формируют с целью дешифрирования одного типа объектов либо его свойства. Принцип расчета индексных изображений определен тем, что при исследовании объектов по многозональным снимкам зачастую значимы не абсолютные значения, а характерные соотношения между значениями яркости объекта в спектральных зонах. Спектральные индексы, применяемые с целью изучения и оценки состояния растительности, именуется вегетационными индексами. Как правило применяют типичный перепад между яркостями растительности в красной и ближней инфракрасной зонах. С увеличением фитомассы и сомкнутости растительности значения ее яркости растут в ближней инфракрасной зоне и падают в красной [Книжников, с.115-118].

Так как данные дистанционного зондирования находятся в свободном доступе, на сегодняшний день существует большое количество вегетационных индексов (около 160). Согласно особенностям кривых спектральной отражательной способности растительности и почв, индексы подбираются экспериментально (эмпирическим путем) [Книжников, с.115-118].

Например, EVI (англ. Enhanced Vegetation Index) - усовершенствованный вегетационный индекс. Разработан как улучшение NDVI путем оптимизации сигнала растительности в областях с высоким индексом листовой поверхности (LAI). Индекс использует синюю область отражения для коррекции фоновых сигналов почвы и уменьшения атмосферных воздействий, в том числе аэрозольного рассеяния. Наиболее полезен в регионах с высоким уровнем LAI, где NDVI может перенасыщаться. Яркие объекты, такие как облака и белые здания, наряду с темными объектами, такими как вода, могут привести к аномальным значениям пикселей в изображении EVI. Используется для оценки изменчивости развития культур как в условиях густого растительного покрова, так и в условиях разреженной растительности [[www/btfr.cc/2jn](http://www.btfr.cc/2jn)].

GNDVI (англ. Green Normalized Difference Vegetation Index) - зеленый нормализованный относительный вегетационный индекс. Похож на NDVI за исключением того, что он вместо красного спектра измеряет зеленый в диапазоне от 0,54 до 0,57 мкм. Это показатель фотосинтетической активности растительного покрова, наиболее часто используемый при оценке влагосодержания и концентрации азота в листьях растений по мультиспектральным данным, у которых отсутствует крайний красный канал. По сравнению с индексом NDVI, более чувствителен к концентрации хлорофилла. Применяется при оценке угнетенной и стареющей растительности [[www/btfr.cc/2jn](http://www.btfr.cc/2jn)].

CVI (англ. Chlorophyll Vegetation Index) - вегетационный индекс хлорофилла. Имеет повышенную чувствительность к содержанию хлорофилла в листовом покрове. Используется с начала и до середины цикла роста культур для широкого диапазона почв и условий посева путем анализа большого набора синтетических данных, полученных с использованием модели отражения листовой поверхности. Повышенная чувствительность индекса к концентрации хлорофилла в листе обусловлена эффективной нормализацией различных значений LAI, полученных при введении красного и зеленого цветов [[www/btfr.cc/2jn](http://www.btfr.cc/2jn)].



Краткая характеристика индексов приведена в таблице 1 [Черепанов, 2011, с. 98 – 102].

Таблица 1

Вегетационные индексы, предложенные и используемые разными авторами [Черепанов, 2011, с. 98 – 102]

Разновидность вегетационного индекса (ВИ)	Формула и краткое описание	Авторы
NDVI (англ. Normalized Difference Vegetation Index)	$NDVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)}, \quad (1.1)$ <p>где, NIR – отражение в ближней инфракрасной области спектра, RED – отражение в красной области спектра. Индекс может принимать значения от –1 до 1. Для растительности индекс NDVI принимает положительные значения, обычно от 0.2 до 0.8 [Rogan, J., с. 89 – 99].</p>	Впервые описан Rouse В.Ж. и др., 1973, концепция впервые представлена Kriegler F.J. и др., 1969
EVI (англ. Enhanced Vegetation Index)	$EVI = 2,5 * \frac{(NIR - RED)}{(NIR + 6 * RED - 7,5 * BLUE + 1)}, \quad (1.2)$ <p>где, NIR – отражение в ближней инфракрасной области спектра, RED – отражение в красной области спектра, BLUE – отражение в синей области спектра. Коэффициенты C1, C2 и L эмпирически установлены как равные 6.0, 7.5, и 1.0 соответственно. Индекс может принимать значения от –1 до 1. Для зеленой растительности обычны значения от 0.2 до 0.8 [Черепанов, 2011, с. 98 – 102]</p>	Rouse J.W. и др., 1973 Tucker C.J., 1979 Sellers P.J., 1985 Huete A.R. и др., 1997

Инфракрасный вегетационный индекс (Infrared Percentage Vegetation Index, IPVI)	$IPVI = \frac{NIR}{NIR + RED} = \frac{NDVI + 1}{2}, \quad (1.3)$ <p>где, NIR – отражение в ближней инфракрасной области спектра, RED – отражение в красной области спектра, NDVI – Normalized Difference Vegetation Index).</p> <p>Функционально IPVI и NDVI эквивалентны. Индекс может принимать значения от 0 до 1. Для зеленой растительности характерны значения от 0.6 до 0.9 [Черепанов, 2011, с. 98 – 102].</p>	Crippen R.E., 1990
Трансформиро ванный вегетационный индекс (Transformed Vegetation Index TVI)	$TVI = \sqrt{NDVI + 0,5}, \quad (1.4)$ <p>где, NDVI – Normalized Difference Vegetation Index)</p> <p>0.5 прибавляется для исключения отрицательных значений под корнем. Функционально TVI и NDVI эквивалентны [Черепанов, 2011, с. 98 – 102].</p>	Tucker C.J. и др., 1979

Вычисление большей части вегетационных индексов основывается на двух более устойчивых (не зависящих от прочих условий) участках кривой спектральной отражательной способности растений. На красную зону спектра (0,62–0,75 мкм) требуется наибольшее количество поглощения солнечной радиации хлорофиллом, а на ближнюю инфракрасную зону (0,75–1,3 мкм) – наибольшее отражение энергии клеточной структурой листа. То есть, высокая фотосинтетическая активность (сопряженная, как правило, с большой фитомассой растительности) ведет к наиболее невысоким значениям коэффициентов отражения в красной зоне спектра и большим значениям в ближней инфракрасной. Как это хорошо установлено, отношение этих показателей друг к другу дает возможность четко разделять растительность от других природных объектов [Стыщенко, с 57 – 62].

NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) является одним из популярных и часто используемых вегетационных индексов. На участках

растительности индекс принимает положительные значения, и чем больше зеленая фитомасса, тем он выше. Индекс может принимать разные значения в зависимости от видового состава растительности, ее сомкнутости, состояния и т.д. [Черепанов, 2011, с. 98 – 102].

На сегодняшний день рассчитать индекс NDVI возможно практически во всех распространённых программах геоинформационных систем, например, QGis, Arc View Image Analysis, ERDAS Imagine, ENVI, ErMapper, Scanex MODIS Processor, ScanView и др. Рассчитать его возможно с помощью любых снимков высокого, среднего или низкого разрешения, имеющим спектральные каналы в красном (0,55-0,75 мкм) и инфракрасном диапазоне (0,75-1,0 мкм) [Черепанов, 2011, с. 98 – 102].



Рис. 1. Градиентная шкала NDVI [Черепанов, 2011, с. 98 – 102]

Так как значения NDVI принимают значения от -1 до 1 для его отображения используют градиентную шкалу, обычно переход цвета происходит от красного к зеленому (рисунок 1). Благодаря особенности отражения в NIR – RED областях спектра, природные объекты, не связанные с растительностью, имеют фиксированное значение NDVI, что дает возможность применять данный параметр для их идентификации [www.gis-lab.info].

В красной области спектра (0,6–0,7 мкм) лежит максимум поглощения солнечной радиации хлорофиллом, а в ближнем участке инфракрасной области (0,7–1,3 мкм) находится область максимального отражения энергии клеточной структурой листа [www.gis-lab.info].

Погрешности, вносимые погодными условиями, сильной облачностью и дымкой – их влияние можно частично скорректировать использованием улучшенных коэффициентов и композитных изображений с сериями NDVI за несколько дней, недель или месяцев (MVC - Maximum Value Composite). Усредненные значения позволяют избежать влияния случайных и некоторых

систематических погрешностей. Как показывает практика, это очень часто применяемый подход для подготовки данных для создания карт NDVI [[www.gis-lab.info](http://www.gis-lab.info)].

Таблица 2

Значения NDVI для разных типов объектов [URL: [gis-lab.info](http://gis-lab.info)]

Тип объекта	Отражение в красной области спектра	Отражение в инфракрасной области спектра	Значение NDVI
Густая растительность	0.1	0.5	0.7
Разряженная растительность	0.1	0.3	0.5
Открытая почва	0.25	0.3	0.025
Облака	0.25	0.25	0
Снег и лед	0.375	0.35	-0.05
Вода	0.02	0.01	-0.25
Искусственные материалы (бетон, асфальт)	0.3	0.1	-0.5

Установлено, что исследованные временные ряды NDVI позволяют количественно охарактеризовать отклик растительных сообществ на внешние воздействия, изучить их многолетнюю динамику [Курганович К.А., Макаров В.П., Соснина М.А., с. 27 – 36].

## 1.2. ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ NDVI ДЛЯ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА

Вегетационные индексы широко применяют в нефтегазовой, добывающей, лесопромышленной, сельскохозяйственной и др. областях. В настоящее время, как было указано в пункте 1.1, самым распространенным и оптимальным индексом является NDVI. Многие исследования, связанные изучением с состоянием растительного покрова и ее динамики, не обходятся без этого индекса.

Одно из таких исследований провели Курганович К.А. и Макаров В.П. В своем исследовании они описали особенности использования данных дистанционного зондирования для изучения влияния пожаров на динамику растительности Цасучейского бора в 2000-2013 гг. [Курганович К.А., Макаров В.П., Соснина М.А., с. 27 – 36].

Выбор именно этого периода времени обусловлен тем, что состояние растительного покрова Цасучейского бора, вследствие воздействия практически ежегодных пожаров, изменялось с течением времени. В исследовании авторы использовали индекс NDVI, который продемонстрировал динамику изменения состояния растительного покрова. Полученные данные позволили обнаружить отклик лесных экосистем на внешнее воздействие и количественно охарактеризовать возможности восстановления растительного покрова в исследуемой местности [Курганович К.А., Макаров В.П., Соснина М.А., с. 27 – 36].

На рисунке 2 авторы показывают совокупный ход вегетационных индексов для близких по месторасположению областей (1-3) и (4), занятых осинником разнотравным. К 2013 году наблюдается практически одинаковые значения NDVI, хотя в 2000 г. (начало исследования) четко видна разница значений между этими площадками. Авторы связали такую динамику с изменением видового состава в точке (4) с пород с более густой растительностью (возможно, сосняк) на породы с наиболее разреженной (осинник) [Курганович К.А., Макаров В.П., Соснина М.А., с. 27 – 36].

В 2003 году на территории произошел пожар, что отразилось на значениях NDVI. Индекс принимает одинаково низкие значения на площадках 1-3 и 4 – за один сезон опускается с 0,63 до 0,44. Такое значение сохраняется и в последующие годы, вплоть до окончания периода наблюдений. Для сравнения на этом же рисунке показан график хода NDVI для сосняка, не подверженного пожарам [Курганович К.А., Макаров В.П., Соснина М.А., с. 27 – 36].

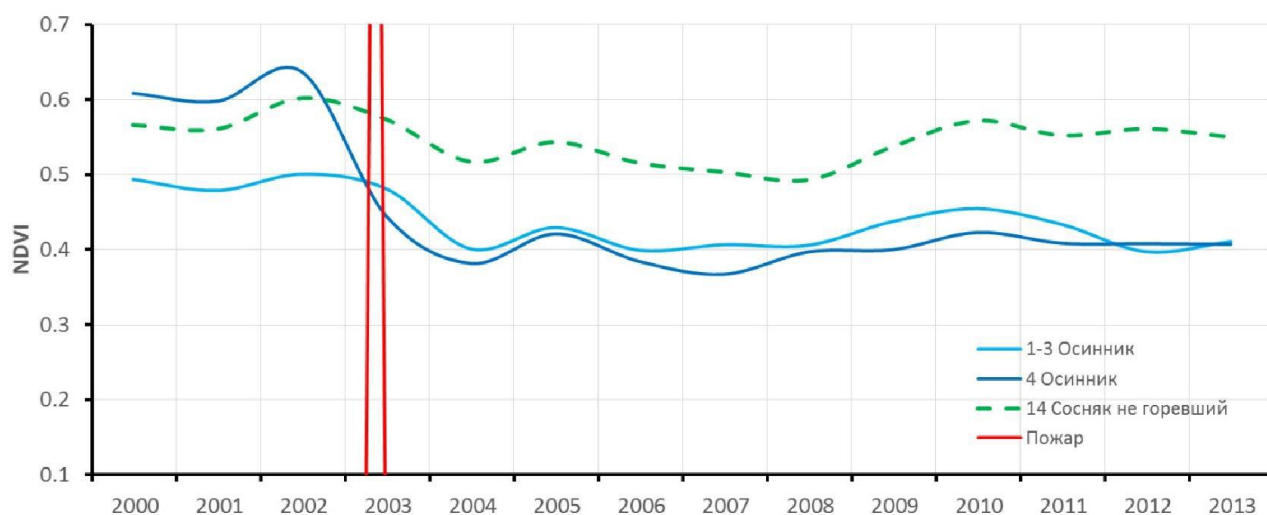


Рис. 2. Совместный ход среднегодовых значений NDVI для тестовых площадок (1-3) и (4) [Курганович К.А., Макаров В.П., Соснина М.А., с. 27 – 36]

Опыт данного исследования дает возможность сделать вывод, о том, что значения NDVI полученные в период наблюдений позволяют дать характеристику реакции растительности на отрицательные воздействия и оценить динамику постпожарного восстановления [Mao D., Wang Z., Luo L., с. 528-536].

Для Цасучейского бора период 2000-2013 гг. отмечен существенным воздействием пожаров, которые поспособствовали изменению вида лесных сообществ на всей его территории. Области бора, продолжительное время не подверженные возгоранию, выражали способности к восстановлению растительного покрова, что отображалось в повышении индекса NDVI [Курганович К.А., Макаров В.П., Соснина М.А., с. 27 – 36].

Единственное исследование о постпожарном восстановлении тундровой растительности с преобладанием лишайников в Тазовском районе Ямало-Ненецкого автономного округа было опубликовано в журнале *The Science of the Total Environment* в 2021 году [Heim R.J., Brodt L., Soromotin A.V., с. 19 – 25]. В раоте показано, что значения признаков карликового кустарника *Vaccinium uliginosum* не различались между сгоревшими и несгоревшими участками. С другой стороны, огонь оказал сильное и продолжительное воздействие на свойства кустарника. Разница в покрытии и высоте кустарника между

выгоревшими и негоревшими участками увеличивалась с течением времени с момента пожара. Сразу после пожара в августе 1990 года NDVI на сожженных участках была на 40% меньше, чем на негоревших, но со временем восстанавливалась довольно быстро. Спустя 8 лет NDVI достигла уровня негоревших участков и показал непрерывный рост после этого. Значения NDVI на выжженных участках были на 26% выше в сравнении с негоревшими участками через 27 лет после пожара. Авторы данного исследования сделали вывод, что растительность не восстановилась до состояния до пожара после 44 лет. На гарях было меньше лишайников и больше мохообразных и кустарниковых растений. Мохообразные часто являются первыми растениями, заселяющими гари, возможно потому, что они выживают в убежищах или колонизируют этот район через рассредоточение по воздуху. В тундре моховики захватывают голую землю после пожара, но позже они не могут конкурировать с травами и злаками и уменьшаются. В данном исследовании, покров мохообразных не уменьшался со временем после пожара, возможно, потому что злаковые злаки не были доминирующими [Heim R.J., Brodt L., Soromotin A.V., с. 19 – 25].

Анализ NDVI показал, что спустя 8 лет после пожара состояние растительности приблизилось к уровню негоревшего эталона, а через 22 года уровень увеличился на 25% относительно эталонного. Наблюдаемое увеличение NDVI явно объясняется распространением кустарников как единственной значительно увеличивающейся растительности. Результаты исследования согласуются с другими исследованиями, показывающими, что арктические кустарники получают выгоду от пожаров [Heim R.J., Brodt L., Soromotin A.V., с. 19 – 25]

Еще одно похожее исследование провели Корниенко С.Г. и Якубсон К.И. на территории Тазовского полуострова, которая характеризуется антропогенными нарушениями растительного покрова в районах освоения нефтегазовых месторождений. Самое большое негативное воздействие на

флору здесь оказывают пожары, которые распространяются на большие территории [Корниенко, с. 46–57].

В исследовании использовался индекс NDVI и SWVI. Индекс SWVI =  $(Ch5-Ch4)/(Ch5+Ch4)$  интересен в данном случае тем, что его положительные значения суммарно характеризуют площадь гарей, техногенных объектов и песков, а все отрицательные – участки любого РП и водоемов [Huete, с.183-206].

Исследование проводилось в период с 1988 по 2001 гг. В эти годы стабильно эксплуатировался Уренгойский НГКМ, когда основные промышленные и хозяйственные объекты уже построены и антропогенная активность в освоении земель низка. Освоение месторождения на данной территории вызвало нарушения растительного покрова. Около 31,6% площади пострадало от техногенного воздействия, из них строительство составило порядка 7,6%, а гибель растительности за счет сопутствующих пожаров – около 24% [Корниенко, с. 46–57].

Хотя и на территории антропогенное воздействие не уменьшилось, а в какой-то мере даже увеличилось, в целом, в этот временной период наблюдается восстановительная динамика растительного покрова за счет большой степени вторичной сукцессии. Площадь «зелени» и моховой растительности увеличилось уже в первые годы после пожара – место бывшего ягеля заменили злаковые и зеленые мхи [Корниенко, с. 46–57].

В целом, результаты изменений говорят о преобладании процессов восстановления растительного покрова [Корниенко, с. 46–57].

### 1.3. ХАРАКТЕРИСТИКИ СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМ LANDSAT И SENTINEL

Так как снимки являются мультиспектральными, они дают возможность использовать различные варианты комбинаций каналов для визуального дешифрирования объектов земной поверхности. Самый большой объем



данных, в настоящее время, среднего разрешения предоставляют спутники спутниками landsat-5/7/8 и sentinel-2 [Шихов А. Н., Герасимов А. П., Пономарчук А. И., с. 25 – 29].

Спутник landsat-5 (запущен 01.03.1984), сенсор ТМ (Thematic Mapper). Имеет 7 спектральных каналов, из них 6 с разрешением 30 м/пикс в видимом и ближнем ИК (каналы 1-4), среднем ИК (каналы 5, 7) и один канал (6) с разрешением 120 м/пикс в тепловом диапазоне. Панхроматический канал отсутствует [Шихов А. Н., Герасимов А. П., Пономарчук А. И., с. 25 – 29].

Спутник landsat-7 (запущен 15.04.1999), сенсор ЕТМ+ (Enhanced Thematic Mapper Plus). Имеет 8 каналов, из них 6 с разрешением 30 м/пикс в видимом и ближнем ИК (каналы 1-4), среднем ИК (каналы 5, 7), один канал (6) с разрешением 60 м/пикс в тепловом диапазоне, а также панхроматический канал (8) с разрешением 15 м/пикс [Шихов А. Н., Герасимов А. П., Пономарчук А. И., с. 25 – 29].

Спутник landsat-8 (запущен 11.02.2013), сенсоры OLI (Operational Land Imager) и TIRS (Thermal Infrared Sensor). Имеет 11 каналов, из них 8 с разрешением 30 м/пикс в видимом, ближнем ИК (каналы 1-5 и 9), и среднем ИК (номера каналов 6, 7), 2 канала (10, 11) с разрешением 100 м/пикс в тепловом диапазоне, а также панхроматический канал (8) с разрешением 15 м/пикс. Следует отметить, что канал 1 находится в ультрафиолетовой части спектра. Следующим шагом в развитии программы landsat является спутник landsat-9, запуск которого запланирован на декабрь 2020 года. Спутники sentinel-2 (А/В) с сенсором MSI (Multispectral Instrument) являются частью программы Copernicus Европейского Космического Агентства (ESA, European Space Agency) [Шихов А. Н., Герасимов А. П., Пономарчук А. И., с. 25 – 29].

Спутник sentinel-2А запущен 23.06.2015 г., а SENTINEL-2В - 07.03.2017 г. Орбиты обеспечивают возможность съемки в средних широтах северного полушария с частотой каждые 2-3 сут. Спутники имеют по 13 каналов, из них 4 с разрешением 10 м/пикс в видимом и ближнем ИК (номера каналов 2-4, 8), 6 (номера 5-7, 8а, 11, 12) с разрешением 20 м/пикс в ближнем и среднем ИК

диапазонах и еще 3 канала (1, 9, 10) с разрешением 60 м/пикс. Панхроматический канал отсутствует. Наибольший практический интерес представляют каналы R, G, B, NIR с разрешением 10 м/пикс, обеспечивающие сразу, без преобразований типа pansharpening, разрешение более высокое, чем дают снимки Landsat [Шихов А. Н., Герасимов А. П., Пономарчук А. И., с. 25 – 29].

Ниже представлена таблица 3, в которой дана краткая спектральная характеристика каналов. Практически каждая строка соответствует конкретному каналу, это дает возможность создавать схожие комбинации каналов разных съемочных систем [www.landsat.gsfc.nasa.gov], [www.eos.com]. Применение и особенности таких комбинаций описаны в 4 главе.

Таблица 3

## Спектральные каналы систем Landsat (TM/ETM+/OLI) и Sentinel-2 MSI

[URL: www.landsat.gsfc.nasa.gov], [URL: www.eos.com]

Landsat 5 TM		Landsat-7 ETM+	
Номер канала	Длины волны, мкм	Номер канала	Длины волны, мкм
1 (Blue)	0,45 - 0,52	1 (Blue)	0,45 - 0,515
2 (Green)	0,52 - 0,605	2 (Green)	0,525-0,605
3 (Red)	0,63-0,69	3 (Red)	0,63-0,69
4 (NIR)	0,76-0,9	4 (NIR)	0,76-0,9
5 (SWIR)	1,55-1,75	5 (SWIR)	1,55-1,75
6 (Thermal)	10,4-12,5	6 (Thermal)	10,4-12,5
7 (SWIR-2)	2,08-2,35	7 (SWIR-2)	2,08-2,35
-	-	8 (Pan)	0,52-0,9
Landsat 8 OLI		Sentinel 2A MSI	
номер канала	Длины волны, мкм	номер канала	Длины волны, мкм
1 (Aerosol)	0,433-0,453	1 (Aerosol)	0,43-0,457
2 (Blue)	0,45-0,515	2 (Blue)	0,448-0,545
3 (Green)	0,525-0,6	3 (Green)	0,537-0,582
4 (Red)	0,63-0,68	4 (Red)	0,645-0,683
5 (NIR)	0,845-0,885	5 (Red Edge)	0,694-0,713
6 (SWIR)	1,56-1,66	6 (Red Edge)	0,731-0,749

7 (SWIR-2)	2,1-2,3	7 (Red Edge)	0,768-0,796
8 (Pan)	0,5-0,68	8 (NIR)	0,763-0,908
9 (SWIR - Cirrus)	1,36-1,36	8a (Narroq NIR)	0,848-0,883
-	-	9 (Water vapour)	0,932-0,958
-	-	10 (SWIR - Cirrus)	1,336-1,411
-	-	11 (SWIR)	1,542-1,685
-	-	12 (SWIR -2)	2,081-2,323

Наличие у данных спутниковых систем различных спектральных каналов дает возможность оценивать состояние растительного покрова с помощью вегетационных индексов [Шихов А. Н., Герасимов А. П., Пономарчук А. И., с. 25 – 29].

## ВЫВОД

Основным преимуществом использования вегетационных индексов считается их доступность. Они позволяют решить различные задачи в области сельского хозяйства, изучения негативного воздействия на растительность и т.д.

Как было отмечено выше, NDVI является одним из самых распространённых вегетационных индексов. С его помощью проводят наиболее трудоемкие виды анализа и оценки состояния и динамики восстановления растительности. Результатами расчета NDVI могут быть карты, иллюстрирующие продуктивность лесов и территорий сельского хозяйства, состояние почв, ландшафты и природные зоны, и другие различные эколого-климатические характеристики.

Опыт применения индекса NDVI доказывает возможность оценки динамики восстановления растительного покрова после различных антропогенных или природных воздействий.

Спутниковые системы Landsat 5 TM/7 ETM+/8 OLI и Sentinel-2 являются на данный момент оптимальными, так как дают возможность применить

спектрозональные снимки для решения большого количества задач. Получение таких снимков не требует особых усилий, так как находятся в открытом доступе.

## ГЛАВА 2. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МЕСТНОСТИ

Согласно физико-географическому районированию Тюменской области район исследования расположен в лесотундровой равнинной широтно-зональной зоне, в Нижетазовской провинции [Гвоздецкий Н.А., Криволицкий А.Е., Макунина А.А., 55-56].

### 2.1. КЛИМАТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

Климат региона умеренно-континентальный с длительной суровой зимой, для которой свойственны ясные солнечные дни, и умеренно теплым летом [Гвоздецкий Н.А., Криволицкий А.Е., Макунина А.А., 55-56].

Значительное воздействие на климатические условия в данном регионе оказывает его северное расположение. Для территории характерны северные арктические морские и континентальные ветра. Температурный режим рассматриваемой территории суров. Холодное Карское море, представляя собой источник холода в летний сезон и источником значимых ветров в зимнее время, повышает эту суровость. Среднегодовая температура воздуха отрицательна, от - 7,9°C (м/ст. Таз, лесотундра) до -11,2°C (м/ст. Гыда, тундра). Величина годовой амплитуды между средней месячной температурой самого теплого месяца и самого холодного составляет 40,0-41,8°C. Из-за таких низких среднегодовых температур воздуха, для региона характерен глубокий уровень промерзания грунтов. В зависимости от типа грунта, глубина варьирует от 2,4 до 2,6м. По своим агроклиматическим условиям территория муниципального района относится к холодному поясу. Отличается пониженным рельефом [Атлас Ямало-Ненецкого автономного округа, 2004].

Период интенсивной вегетации растений наступает в конце июля и не прекращается вплоть до начала сентября, составляя в среднем 30-40 дней. Весенние заморозки наступают поздно, осенние могут начаться даже на 30 дней

раньше, а безморозный период составляет около 100 дней. Отличительной особенностью считается холодная зима, занимающая около 60% продолжительности года. Примерно ко второй половине ноября начинаются устойчивые морозы и продолжаются конца апреля [Атлас Тюменской области, с. 39 – 45].

Несмотря на суровость климата и ряд не очень благоприятных условий, агроклиматические условия формируют возможность ведения сельского хозяйства. Период активной вегетации растений может совпасть с началом безморозного периода, в котором бывают заморозки. В случае, если это происходит, для сельскохозяйственных культур характерны повреждения [Компаниец А.С., с. 16 – 29].

По степени увлажнения территория относится к зоне достаточного увлажнения. Осадки распределяются неравномерно. За период активной вегетации выпадает от 50 до 70 миллиметров. Местность характеризуется значительной степенью увлажнения, не свойственны засухи, суховеи и пр/ [Компаниец А.С., с. 16 – 29].

- Среднегодовое количество осадков, которые выпадают на территории – 450 мм.
- В среднем за год около 80-90 дней с осадками, превышающими 1 мм.
- Наибольшее количество осадков наблюдается в августе, наименьшее в феврале.
- Среднегодовая скорость ветра составляет 2,9 м/с.

Летом осадки выпадают в виде кратковременных, но интенсивных ливней. В остальную часть года выпадение осадков носит продолжительный характер и умеренную интенсивность [Компаниец А.С., с. 16 – 29].

## 2.2. РЕЛЬЕФ И ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ

Тазовский район находится в пределах Западно-Сибирской равнины. Большая часть территории расположена севернее Полярного круга, между 64 и 730 с.ш.

Согласно классификации Ильиной И.С. район расположения исследуемых участков относится к Западно-Сибирской равнине, к лесотундровой зоне, Урало-Енисейская лесотундровой области, Нижнетазовская провинция, Пур-Тазовский северный район [Обзорная карта растительности Западно-Сибирской равнины, 1976].

Рельеф нижней и средней части бассейна р.Таз довольно однообразный: это плоская равнина с небольшими абсолютными отметками до 100 м. В долине реки очень часто встречаются болота и озера, которые отсутствуют на водосборе. Река имеет хорошо разработанную долину, шириной несколько десятков километров, соответственно занимает огромную территорию [Городецкая М. Е., Мещеряков Ю. А., с. 15 – 20].

В геологическом отношении территория муниципального района является частью молодой эпигерцинской Западно-Сибирской плиты. Нижний структурно-тектонический ярус образуют породы кристаллического фундамента. Фундамент перекрыт в стратиграфической последовательности морскими и континентальными осадочными образованиями юрской, меловой, палеогеновой, неогеновой и четвертичной систем, слагающих мощный мезозойскокайнозойский платформенный чехол [Бакулин В.В., Козин В.В., 34 – 38].

В геологическом строении территории дочетвертичные породы в основном представлены верхнеолигоценовыми зеленоватыми озерными алевритами с хлоритом. Четвертичные отложения сложены преимущественно верхнеплейстоценовыми озерноаллювиальными отложениями второй надпойменной террасы (супеси, пески, суглинки) и аллювиальными отложениями первой надпойменной террасы (супеси, пески, суглинки, торф).

Широко распространены современные аллювиальные отложения, представленные хорошо сортированными мелкозернистыми песками [Компаниец А.С., с. 16 – 29].

### 2.3. ГИДРОГРАФИЯ, ГИДРОГЕОЛОГИЯ

Гидрографическая сеть территории представлена бассейном р.Газ в южной части района, р.Мессояха в центральной, р.Юрибей в северной, а также многочисленными мелкими реками и озерами. Речная сеть является частью водосборного бассейна Северного Ледовитого океана [Компаниец А.С., с. 16 – 29].

Для долин рек и заболоченных понижений характерно множество небольших озер. На плоских и сухих водоразделах иногда встречаются озера значительных размеров, например, озера Ямбу-То и Периптаве-То, достигающие в поперечнике 25 км [Компаниец А.С., с. 16 – 29].

Значительной гидрологической характерной чертой региона считается замедленный сток и слабый естественный дренаж грунтовых вод. Это связано с плоским рельефом, присутствием депрессий, многолетней мерзлоты, небольшим врезом речных долин и горизонтальным залеганием осадочных пород. По этой причине на территории большое количество озер и болот [Компаниец А.С., с. 16 – 29].

Гидрографическая сеть в Тазовском районе хорошо сформирована. Большое количество рек, озер и болот [Лёзин, с. 87 – 98]. Для Тазовского района характерна сильно развитая речная и овражная сеть, водосборные площади существенно заболочены 50-60% и заозерены (2-3%). Регион, содержит огромное число небольших и средних разветвляющихся рек, что гарантирует внушительную дренированность местности. Интенсивность речной сети на территории зоны составляет 0.62 км/км [Лёзин, с. 87 – 98].

В целом, согласно гидрогеологическому районированию, регион принадлежит к ледовой макроне первого от поверхности водоносного



комплекса олигоцен-четвертичных отложений. Водоносная система складывается из разобщенных, вертикально направленных узких желобов подрусловых таликов больших рек, чашеобразных подозерных и редких межмерзлотных таликов, с крайне ограниченными ресурсами пресных вод. Поверхность территории сильно заболочена из-за очень слабого дренажа. Почти на всей поверхности, включающей еждуречья, надпойменные террасы и поймы, находится огромное число озерных впадин разного генезиса. Хорошо дренированные зоны приурочены главным образом к отдельным возвышенностям и придолинным участкам междуречных равнин [Компаниец А.С., с. 16 – 29].

#### 2.4. ПОЧВЫ. РАСТИТЕЛЬНЫЙ И ЖИВОТНЫЙ МИР

Преобладают пойменные разновидности почв, приуроченные к долинам больших рек. Среди почв доминируют подбуры, глеезёмы и торфяные почвы. Данные типы почв – малоплодородные почвы, почти никак не применяются в земледелии [Компаниец А.С., с. 16 – 29].

На территории Тазовского района сменяются две природные зоны: тундра и лесотундра – в соответствии с этим наблюдается зональность в распределении ключевых типов почв. Среди зональных таежно-поверхностно-глеевых почв выделяется ряд разновидностей: типичные таежно-поверхностно-глеевые, охристо-элювиально-глеевые, подзолистозэлювиально-глеевые. Типичные таежно-поверхностно-глеевые почвы формируются на плоских элементах рельефа под лиственнично-еловым редколесьем с кустарничковым покровом на тяжелых (глинистых) почвообразующих породах. Почвы характеризуются кислой реакцией, по всему профилю дают положительную реакцию на воднорастворимое двухвалентное железо [Трофимов В.Т., Таргульян В.О., Гудыная А.Н., с. 96 – 109].

Для зоны лесотундры, в которую входит рассматриваемая часть бассейна р.Таз, свойственно наличие древесной растительности, хотя и угнетенной. Тут

доминируют лиственничные редколесья в комбинации с тундровыми и болотными формациями. Лиственница достигает в этой зоне всего 7-8 м высоты. В лиственничных редколесьях встречается ель сибирская. Из Числа редких елово-лиственничных участков леса основу растительного покрова составляют лишайники (ягель) и мхи. На территории часто можно встретить карликовую березу и кустарниковую ольху, багульник и голубику. От грунтов зависит характер растительности лиственничных редколесий. На песчаных почвах растут лишайниковые и кустарниковые редколесья с густым покровом из кустистых лишайников, мхом и редким травяно-кустарничковым покровом. На наиболее тяжелых и холодных глинистых грунтах развиваются заболоченные редколесья с моховым покровом, болотными кустарничками и травами [Мельников Е.С., Тагунова Л.Н., Лазарева Н.А., с. 63 – 71].

Природные комплексы района выделяются низкой устойчивостью против техногенных воздействий. Рекреационная емкость местности не слишком велика при допустимой разовой нагрузке от 0,1 до 1 чел./га (в зависимости от типа леса).

Так как территория подвержена техногенному воздействию, растительный покров очень чувствителен к изменениям. Природно-климатические условия характеризуются дефицитом тепла, медленным биологическим круговоротом веществ, замедленными процессами минерализации, геохимической и биологической инертностью веществ и масштабной аккумуляцией загрязнений, усугубляющих антропогенной воздействие на природные комплексы. Преобладают процессы формирования болот [Мельников Е.С., Тагунова Л.Н., Лазарева Н.А., с. 63 – 71].

На месте уничтоженного или повреждённого растительного покрова техногенным воздействием формируются синантропные сообщества, которые играют роль биологических индикаторов техногенного воздействия. Это связано с высокой степенью способности к регенерации. Но, тем не менее заметно уменьшается видовое разнообразие растительных сообществ [Компаниец А.С., с. 16 – 29].

На территории обитает большое число видов животных, среди которых: северный олень, песец, лемминг, белая сова, куропатка, мохноногий канюк, кулик-песочник, гага, морянка, пуночка, розовая чайка, стерх и др. [Компаниец А.С., с. 16 – 29].

Согласно атласу Ямало-Ненецкого автономного округа на территории произрастают ерниковые и ивняковые кустарничково-лишайниково-зеленомошные (*Aulacomnium turgidum*, *Tomentypnum nitens*, *Cladina arbuscula*, *C. rangiferina*, *Empertum nigrum*, *Vaccinium vitisidaea*) бугорковатые тундры с участками лиственничных редколесий [Атлас Ямало-Ненецкого автономного округа, с. 64 – 85].

## ВЫВОД

Территория Ямало – Ненецкого Автономного Тазовского района характеризуется нарушениями растительного покрова, связанные чаще всего с техногенной нагрузкой при освоении нефтегазовых месторождений. Наиболее заметные нарушения природного ландшафта здесь связаны с лесными и тундровыми пожарами, охватывающими большие площади.

Растительный покров на данной территории представлен ерниковыми и ивняково-ерниковыми с ольхой кустарничково-моховыми бугорковатыми тундрами. Суровость климата отрицательно воздействует на восстановительные процессы растительного покрова. Вегетационный период на данной территории приходится на конец июля — начало августа.

## ГЛАВА 3. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

### 3.1. ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Первый исследуемый объект расположен на территории Ямало – Ненецкого Автономного округа в 15,5 км к западу от поселка Новозаполярный. На данной территории произошел пожар в период с 09.06.2006 по 28.08.2006г.

Второй участок расположен также на территории Ямало – Ненецкого Автономного округа в 27,5 км к востоку от села Газ-Сале. На данной территории пожар произошел в 2016 году. На рисунке 3 изображено расположение обоих участков.

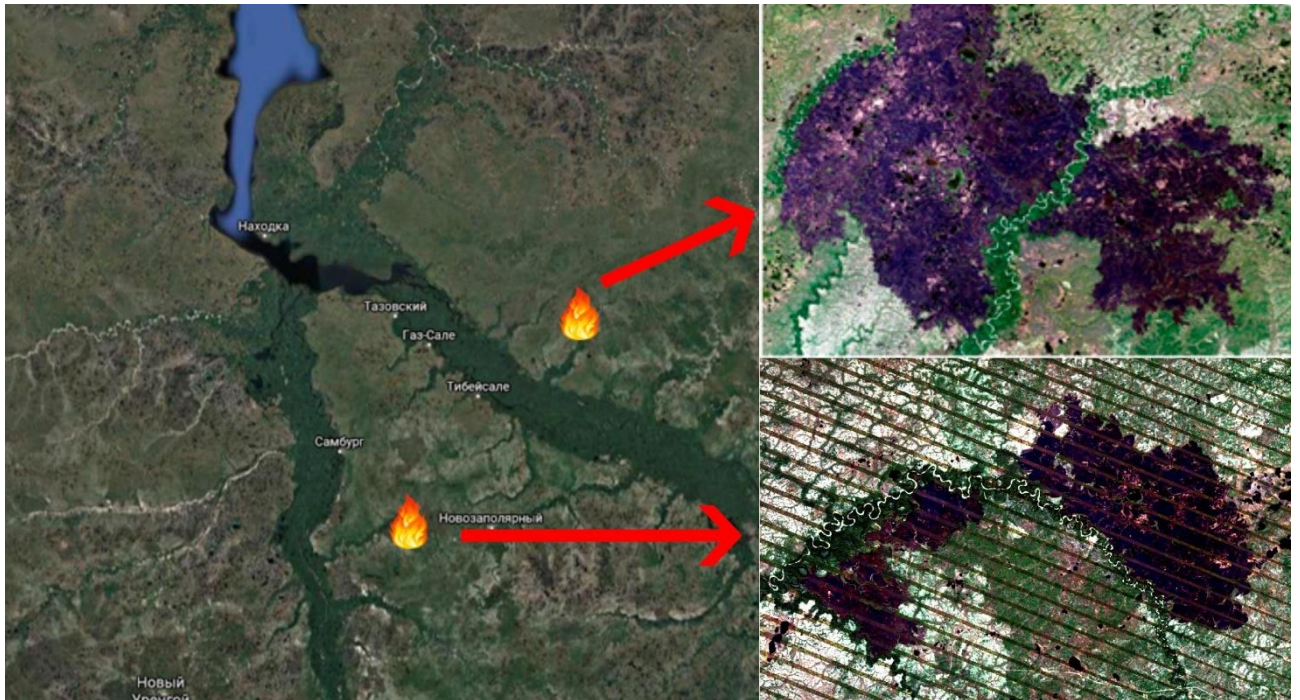


Рис. 3. Расположение исследуемых участков [составлено автором]

Междуречья образованы морскими четвертичными террасами высотой 50 – 120 м. Равнину пересекают широкие долины рек Таза и Пура, имеющие надпойменные террасы и развитую пойму. Реки текут в песчаных берегах, имеют также песчаные острова. Это самая холодная часть лесотундровой области: средняя годовая температура – 8,5 °С (Тазовский), а январская – 25,7°С; развита сплошная мерзлота. Господствуют тундровые ландшафты;

лесные ландшафты приурочены главным образом к долинам крупных рек – Пуру и Тазу и редкими островками встречаются на междуречных равнинах [Гвоздецкий Н.А., Криволицкий А.Е., Макунина А.А., 55 – 59].

В нижнем течении Таза в северной части лесотундры господствуют плоскобугристые болотные комплексы, среди которых значительную площадь занимают приозёрные впадины и низины. Древесная растительность представлена единичными экземплярами или небольшими группками чахлах лиственниц с участием березы. Лесные ассоциации занимают не более четверти площади. Они приурочены к кустарниково-лишайниковым тундрам на сухой супесчаной почве с торфянистым слоем не более 7-8см. Рост деревьев здесь замедлен: лиственницы в возрасте 95 лет имеют высоту не более 4,5м и диаметр ствола на высоте 1,5м около 7см. В южной части лесотундры вдоль рек и речек лесная растительность характеризуется почти сомкнутыми кронами, значительной высотой и хорошим возобновлением. Из древесной растительности чаще всего встречаются сибирская лиственница, перемешанная с кедром и елью [Гвоздецкий Н.А., Криволицкий А.Е., Макунина А.А., 55 – 59].

Согласно классификации Ильиной И.С. исследуемый район расположен в Тундровой геоботанической зоне, Гыданской провинции, подзоне субарктических тундр в Южно-Тазовском округе. Данная подзона подразделяется на три полосы. Район исследования расположен в полосе южных субарктических тундр. Для них типичны мохово-кустарничковые, лишайниково-кустарничковые, кустарниковые (ерниковые, ивняковые и ольховниковые), травяные и полигональные травяно-моховые болота [Обзорная карта..., 1976].

В частности, первый участок характеризуется как ерниковые и ивняково-ерниковые с ольхой кустарничково-моховые бугорковатые тундры. Второй участок - ерниковые и ивняково-ерниковые с ольхой кустарничково-лишайниково-моховые тундры в сочетании с лиственничными лишайниково-кустарничковыми редколесьями и плоскобугристыми травяно-мохово-

лишайниковыми болотами [Обзорная карта растительности Западно-Сибирской равнины, 1976].

### 3.2. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для определения динамики восстановительных процессов растительного покрова, поврежденных вследствие пожаров, был использован индекс NDVI. Данные были получены с сайта Геологической службы США (<https://earthexplorer.usgs.gov>). Снимки NDVI составлены с помощью спутниковых данных Landsat 5TM, 7ETM+, 8OLI, Sentinel-2. Их преимуществами являются: мультиспектральные каналы, возможность получения свободного доступа к архиву данных, достаточное разрешение для решения наших задач. Интервал снимков, используемых для исследования с 2004 г. по 2020 г.

Для расчета вегетационного индекса NDVI использовалось программное обеспечение QGIS 3.8, которая представляет собой удобную для пользователя Географическую информационную систему с открытым исходным кодом (GIS), лицензированную по общедоступной лицензии GNU, которая работает в Linux, Unix, Mac OSX и Windows и поддерживает многочисленные векторные и растровые форматы и базы данных, а также функциональные возможности.

Первым шагом была загрузка необходимых снимков изучаемой территории на период с 2004 по 2020 г. через сайт <https://earthexplorer.usgs.gov>. Объем загруженного материала составил 21 Гб –около 22 спектрональных снимков. После обработки – 43 готовых карт и снимков.

Расчет NDVI в QGIS выполнялся с помощью Растрового калькулятора QGIS по предварительно загруженным данным. При этом применяется стандартная формула. (рисунок 4). Из полученных снимков были отобраны значения NDVI.

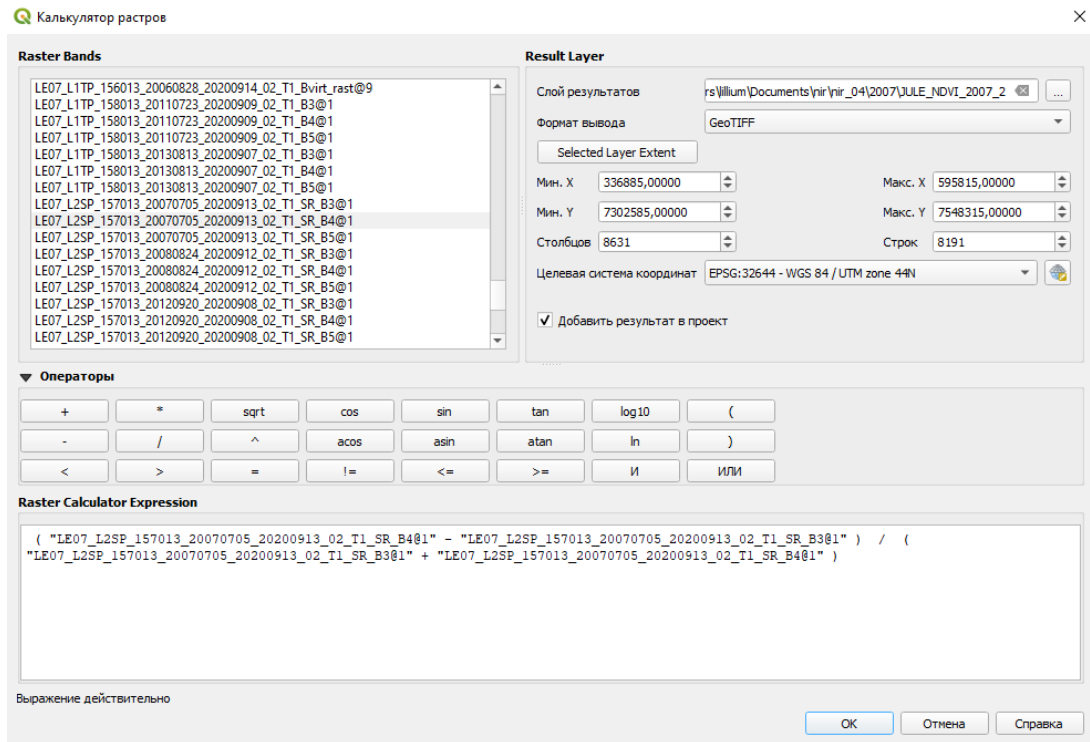


Рис. 4. Окно инструмента «Калькулятор растров» программного обеспечения QGIS  
[составлено автором]

Статистическая обработка данных проводилась в ПО MS Excel 2016 года, в которой также были построены гистограммы и диаграммы (ящик с усами). Основные статистические критерии (t-критерий Стьюдента) получены в STATISTICA.

## ВЫВОД

Выбор данной территории для изучения динамики восстановления растительного покрова на горях обусловлен тем, что Тазовский район подвергается техногенной нагрузке, что приводит деградации растительного покрова в районах освоения нефтегазовых месторождений.

В исследовании используется индекс NDVI, так как имеет хорошую чувствительность к изменениям биомассы растительности и подходит к изучению сплошного растительного покрова в тундровой зоне. Данные

выбранных спутниковых систем позволяют найти безоблачные снимки на необходимые даты, что дает достоверные значения.

Так как программное обеспечение QGIS находится в свободном доступе, он дает возможность без затруднений получить достоверные значения NDVI. Полученные откорректированные растры служили основой для извлечения характеристик подстилающей поверхности и использовались в дальнейших расчетах.

Полученные значения NDVI были проверены и получены достоверные различия между значениями на участках гари и фоне.

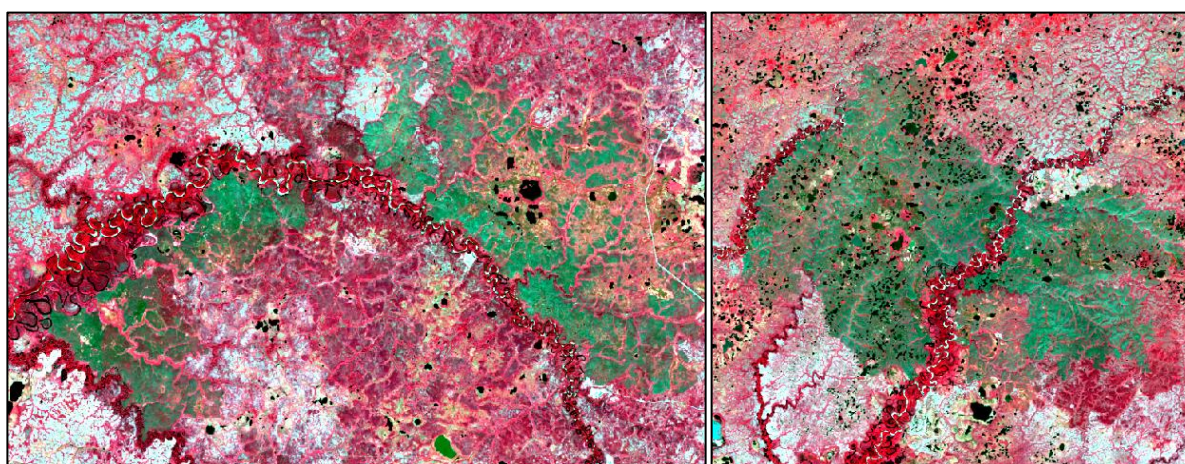


## ГЛАВА 4. ОЦЕНКА ДИНАМИКИ СОСТОЯНИЯ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА РАЗНОВОЗРАСТНЫХ ГАРЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЕГЕТАЦИОННОГО ИНДЕКСА NDVI

### 4.1. ИНТЕРПРЕТАЦИЯ КОМБИНАЦИЙ КАНАЛОВ В QGIS С ЦЕЛЮ ОБНАРУЖЕНИЯ УЧАСТКОВ ГАРИ

Для того, чтобы точно найти и определить участок гари на снимке был использован метод интерпретации каналов. На снимках Landsat 5 TM/7 ETM+/8 OLI и Sentinel-2 захватываются различные сектора электромагнитного спектра, в том числе и невидимые для человеческого глаза. Диапазоны длин волн называются спектральными каналами.

В настоящее время существует множество вариантов комбинаций спектральных каналов. Многие из них могут охарактеризовать или обнаружить различные нарушения окружающей среды. Ниже представлен синтез NIR-RED-GREEN, где гари имеют бирюзовый оттенок. Это обусловлено отличительной особенностью спектрального образа гарей и наличием продуктов горения на поверхности земли. Вырубки в данной комбинации имеют похожий вид, но выглядят светлее [Шихов А. Н., Герасимов А. П., Пономарчук А. И., с. 25].

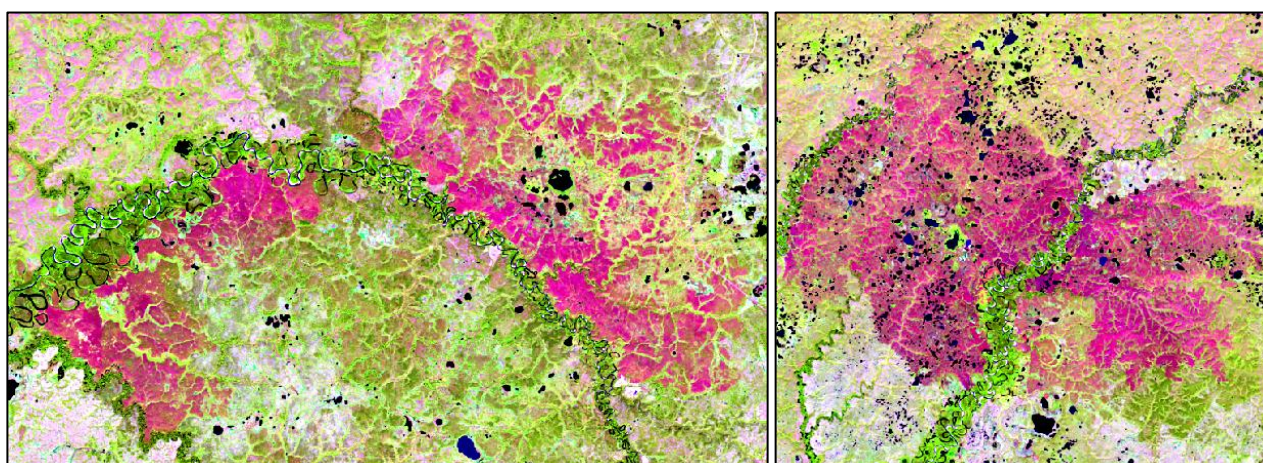


а

б

Рис.5. Синтез каналов NIR-RED-GREEN на 2020 год  
(а – участок №1; б – участок №2) [составлено автором]

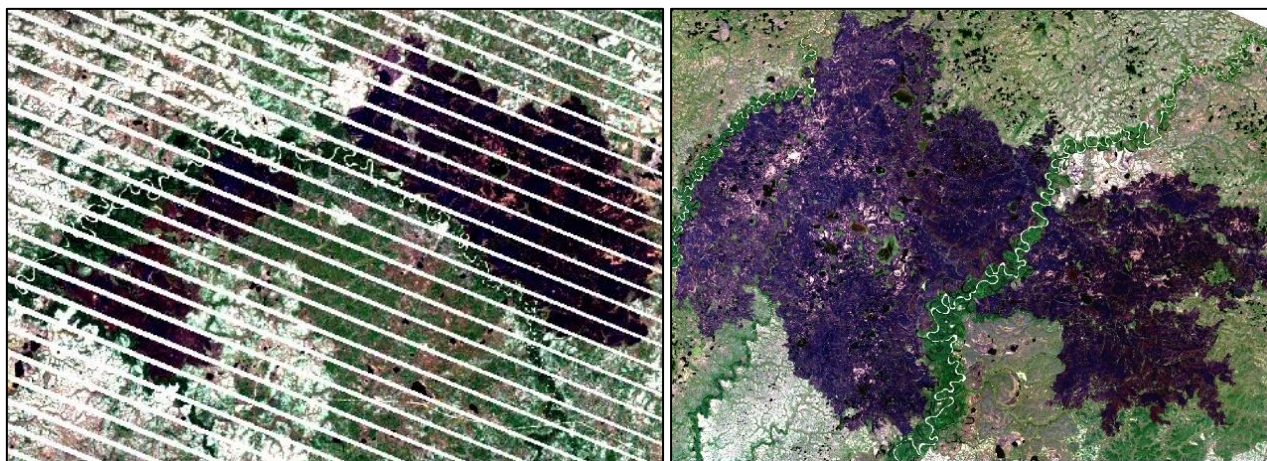
В синтезе SWIR-NIR-RED гари будут иметь темно-розовый оттенок – более темный, чем у вырубок (рисунок 6). Однако все же ключевым дешифровочным показателем, позволяющим отличить гари от вырубок, считается геометрическая форма. Гари как правило обладают сложной формой и вытянуты по направлению ветра. Тем не менее, соотношение длины и ширины крайне редко превышает 3/1. Гари не имеют прямых углов, но, в некоторых случаях, если пожар прошел через зоны действующих лесозаготовок, их форма будет угловатой. Отсутствие прямых углов считается более надежным отличительным показателем гарей от вырубок [Шихов А. Н., Герасимов А. П., Пономарчук А. И., с. 25 – 29].



а б  
Рис.6. Синтез каналов SWIR-NIR-RED на 2020 год  
(а – участок №1; б – участок №2) [составлено автором]

На снимках ниже (рисунок 7) использована комбинация каналов RED-GEEN-BLUE «естественные цвета». Такое название обусловлено тем, что объекты на снимке изображены практически так же, как их воспринимает человеческий глаз. Темные оттенки зеленого присущи здоровой растительности, светлые – убранным полям, а коричневые и желтые указывают на нездоровую и поврежденную флору. Данное сочетание каналов предоставляет возможность исследовать состояние водных объектов и процессы седиментации, производить оценку глубины. Кроме того, применяется с целью исследования антропогенных объектов. Участки вырубок

и угнетенная растительность сложно определяются. Участки гарей среднего и большого возраста практически нельзя выявить визуально. Растительные сообщества различить друг от друга так же сложно. Зоны, которые недавно сгорели выглядят темно-фиолетовыми или васильковыми, что отлично видно на приведенных ниже снимках. Снег, облака и дым выглядят белыми, но дым обычно имеет вытянутую форму [www.gis-lab.info].

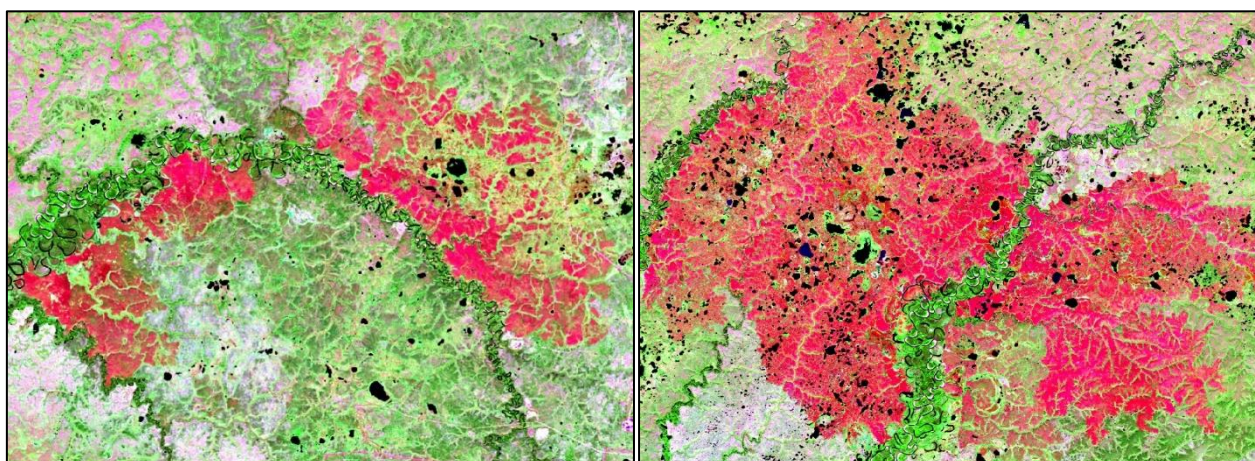


а

б

Рис.7. Синтез каналов RED-GREEN-BLUE на 2020 год  
(а – участок №1; б – участок №2) [составлено автором]

Наиболее информационной комбинацией в данном случае будет синтез каналов 7-4-2 - SWIR(2)-RED-BLUE (рисунок 8). В этой комбинации здоровая растительность, так же как в предыдущем примере, выглядит зеленой, но очень яркой. Лесные территории имеют оливковый цвет, и хвойные породы приобретают более темный оттенок. Ярко розовые участки характерны для открытой почвы, коричневые и рыжие – для сухостоя, угнетенной и разреженной растительности. Песок, почва и минералы могут быть представлены очень большим числом цветов и оттенков, вода выглядит голубой. Данная комбинация предоставляет великолепный результат при рассмотрении пустынь и опустыненных земель Эта комбинация применяется с целью изучения динамики пожаров и пост-пожарного анализа местности [www.gis-lab.info].

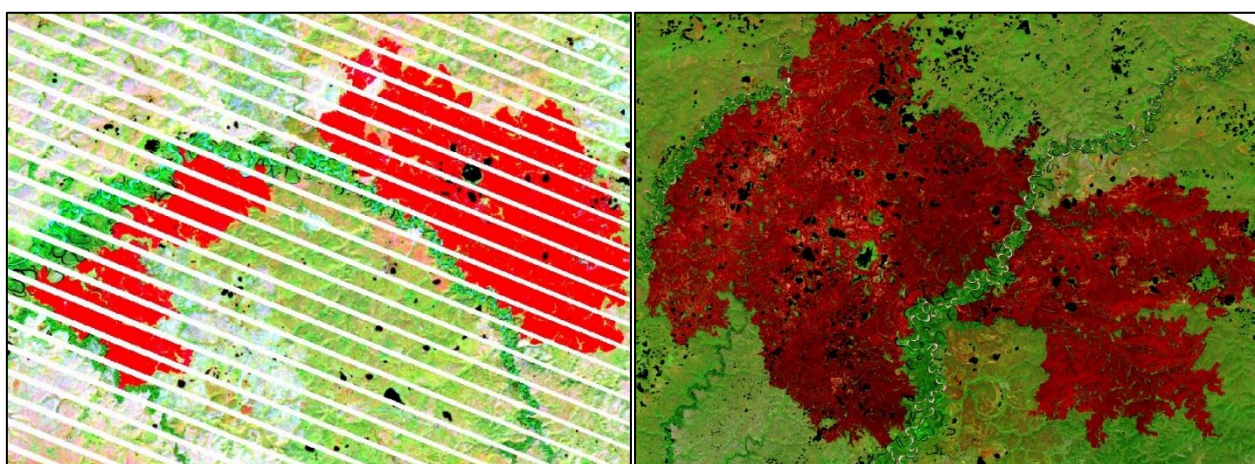


а

б

Рис.8. Синтез каналов SWIR(2)-RED-BLUE на 2020 год  
(а – участок №1; б – участок №2) [составлено автором]

В годы пожара сгоревшие территории будут выглядеть ярко красными, что отлично видно на исследуемых участках на снимках ниже (рисунок 9).



а

б

Рис.9. Синтез каналов SWIR(2)-RED-BLUE в годы сразу после пожара (2006 г. и 2016г.)  
(а – участок №1; б – участок №2) [составлено автором]

По приведенным выше снимкам видно, что к 2020 году на обоих участках не наблюдается полное восстановление растительного покрова. Участок гари имеет розовый цвет, что свидетельствует об открытой почве. Тем не менее можно сделать вывод, что растительность на данных участках продолжает формироваться. Идут процессы восстановления растительных сообществ, близких к фитоценозам, окружающим территорию гарей по периметру.

#### 4.2. ХАРАКТЕРИСТИКА ИНДЕКСА NDVI ДЛЯ ОЦЕНКИ ДИНАМИКИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА

На территории исследования встречаются участки гари разного возраста. Поэтому, для сравнения были отобраны значения NDVI не только на исследуемых участках, но и актуальные на 2020 год значения на других участках гари.

На одном из таких участков значения NDVI колеблются от 0,21 до 0,34, а на фоне от 0,25 до 0,35, возраст данной гари 17 лет. На втором участке пожар произошел в 1990 г. и принимает значения NDVI от 0,25 до 0,37, а на фоне – от 0,23 до 0,35, то есть значение NDVI на гарях превышает значения на негоревших участках. Это может быть связано с изменением видового состава растительного покрова. Например, разрастанием кустарникового яруса, т.к. у кустарников фотосинтетически активная биомасса выше, чем у лишайникового и кустарничкового покрова [Бродт, 30 – 39].

Антропогенное воздействие в лесотундре и тундре приводит к изменению видового состава растительности. В основном, вместо лишайникового покрова появляются кустарничковые, травяные и зеленомошные покровы. Спектральные свойства этих видов растительности указывают на их неплохую различимость по данным спутников серии Landsat. Эти типы растительности могут быть использованы в качестве геоботанических индикаторов антропогенного стресса на этой местности [Корниенко, с. 46 – 57].

Согласно исследованию Т.А. Замараевой, после пожаров на лесных лесотундровых лиственничных гарях багульниково-лишайниковой ассоциации в Западной Сибири, стадия шиловидных и бокальчатых лишайников продолжается не менее сорока лет. Так и не ясно, будет ли он вообще восстановлен до состояния, предшествовавшего возгоранию [Замараева, с. 104 – 108].

В целом на фоне изменений климата и хозяйственного освоения Арктики роль природных пожаров в тундре как одного из факторов ландшафтной

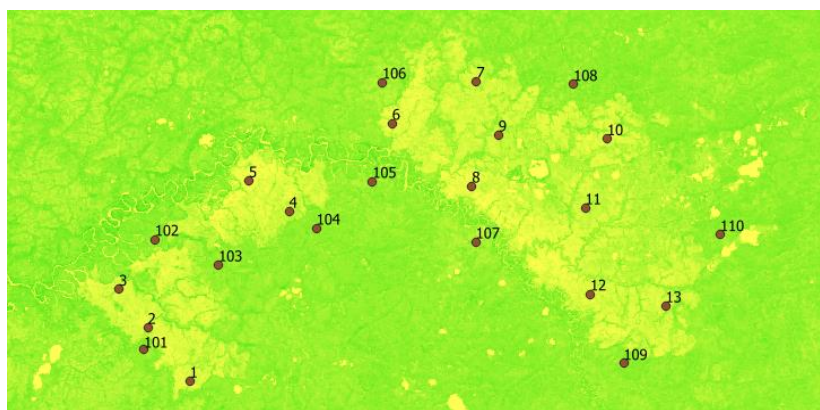
дифференциации будет постепенно возрастать [Сизов О.С., Цымбарович П.Р., Соромотин А.В., с. 137 – 153].

В общем случае спектральная яркость поврежденных пожарами лесов на спутниковом изображении находится в зависимости от большого количества обстоятельств, среди которых породный состав и сомкнутость насаждений, наличие и видовой состав почвенного растительного покрова, прошедшее с момента пожара время, геометрические условия исследования и освещения земной поверхности, прозрачность атмосферы [Сизов О.С., Цымбарович П.Р., Соромотин А.В., с. 137 – 153].

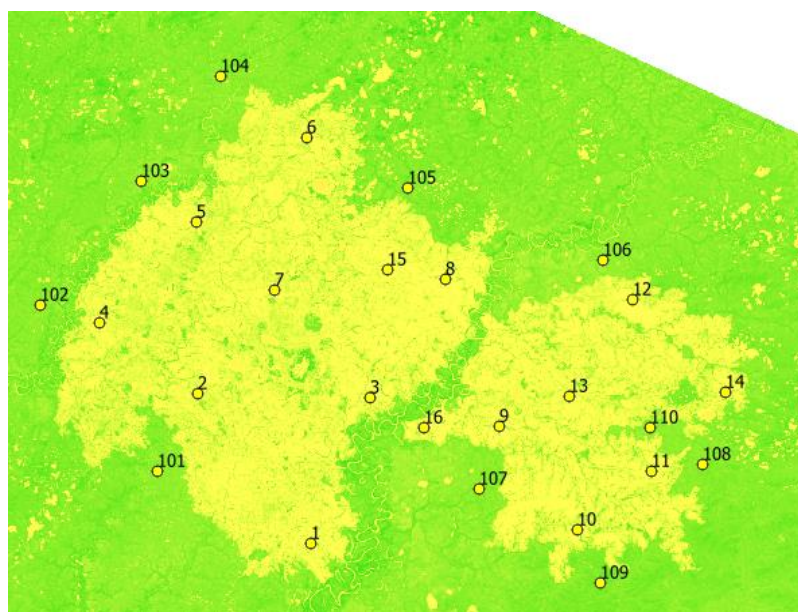
#### 4.3. МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА ИЗМЕНЕНИЯ СОСТОЯНИЯ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА НА ИЗУЧАЕМЫХ ГАРЯХ ПО ВЕГЕТАЦИОННОМУ ИНДЕКСУ NDVI

Для того, чтобы проследить динамику восстановления растительного покрова необходимы снимки с индексом NDVI с момента возникновения пожара до настоящего времени, то есть, с 2004 по 2020 г. Метод на основе индекса NDVI чувствителен к сезону съемки, для выполнения работ по определению степени нарушенности растительности необходимо учитывать вегетационные особенности и тип растительности в регионе исследования [Заяц, с. 366 – 368]. На данной территории вегетационный период приходится на конец июля — начало августа.

Также, для более наглядного результата, по снимкам NDVI, которые приведены в приложении 1 и 2, были отобраны значения NDVI с каждого участка. Точечно на снимках обозначены места, где были отобраны значения (рисунок 10). На каждом участке для сравнения обозначены фоновые точки, где пожара не было.



а



б

Рис. 10. Расположение точек отбора значений NDVI  
(а – участок №1; б – участок №2) [составлено автором]

Пожар на участке №1 произошел в 2006 году, а на участке №2 в 2016 году. Были отобраны данные NDVI с 2004 г. по 2020 год и с 2014 г. по 2020г. и составлены графики (рисунок 11).

Анализ временных рядов NDVI для площадей, в разные годы пострадавших от воздействия лесных пожаров, позволяет выявить отклик лесных экосистем на внешнее воздействие и количественно охарактеризовать потенциал восстановления растительного покрова.

В первый год после пожара значения NDVI имеют отрицательное или нулевое значение. То есть продуктивность на гари отсутствует.

На графиках ниже (рисунок 11) видно, что к 2020 году состояние растительного покрова не вернулось к исходному состоянию. Тем не менее, рост индекса наблюдается только в первые 7 лет после пожара, в последующие годы индекс держится примерно на одном уровне. На фоновых точках наблюдается 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.

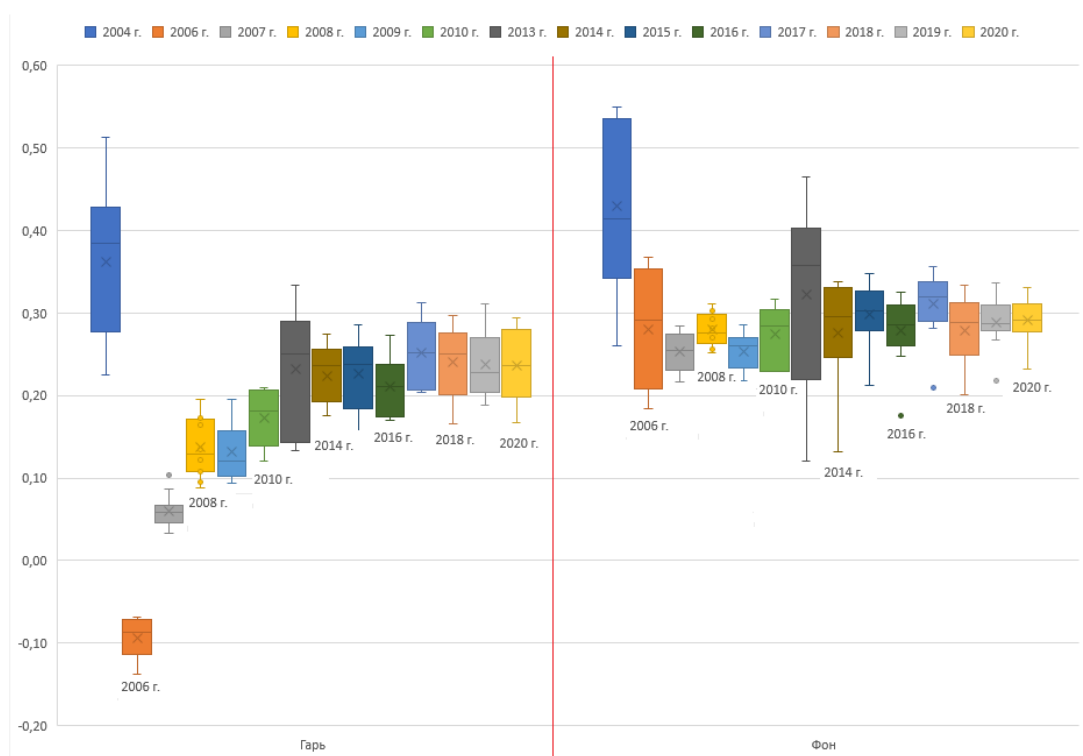
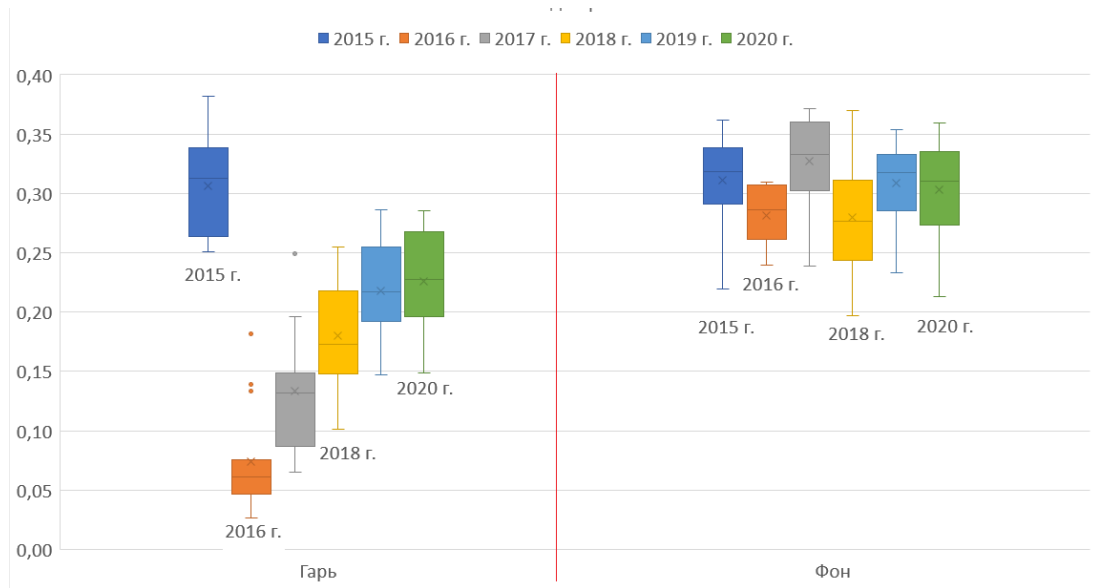


Рис. 11 а. Динамика значений NDVI на участке №1 [составлено автором]





б

Рис. 11 б. Динамика значений NDVI на участке №2) [составлено автором]

До 2013 года наблюдается увеличение индекса NDVI с каждым годом, что определяется динамикой восстановления растительного покрова. После 2013 года индекс находится примерно на одном уровне, но отличается от индекса на фоновых участках. Из этого можно сделать вывод о том, что на гари растительность восстановилась, но изменился видовой состав с пород с более густой растительностью на породы с более разреженной.

На графиках выше видно, что значение NDVI на втором участке растет стремительнее, чем на первом участке. Это может быть связано с наиболее благоприятными климатическими условиями в эти годы.

От температур и количества осадков зависят рост и развитие растительности. У каждого растения свои потребности в тепле, свете, влаге; и каждая из них формируется при оптимальном для нее сочетании погодных условий. Всем растениям этой области нужна влага, однако в умеренных количествах.

Для более наглядного изображения изменений значения индекса были построены диаграммы размаха и рассчитаны достоверные различия по T-критерию Стьюдента между значениями NDVI на гари и фоновыми значениями на участке №1 (рисунок 12) и на участке №2 (рисунок 13).

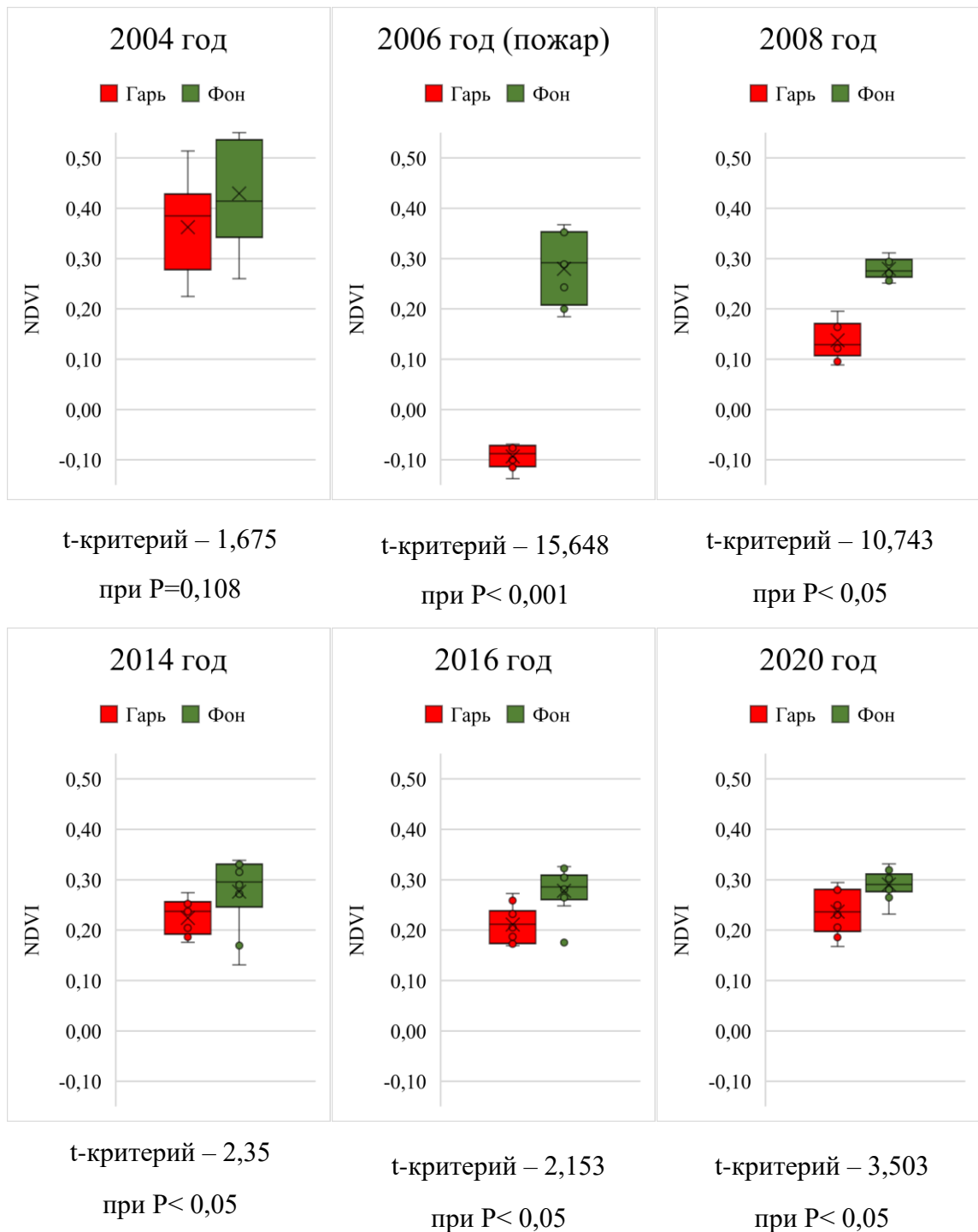


Рис. 12. Блочные диаграммы с ограничителями выбросов значений NDVI контрольных и фоновых участков на гарях 2006 года (достоверность различий указано по t - критерию Стьюдента) [составлено автором]

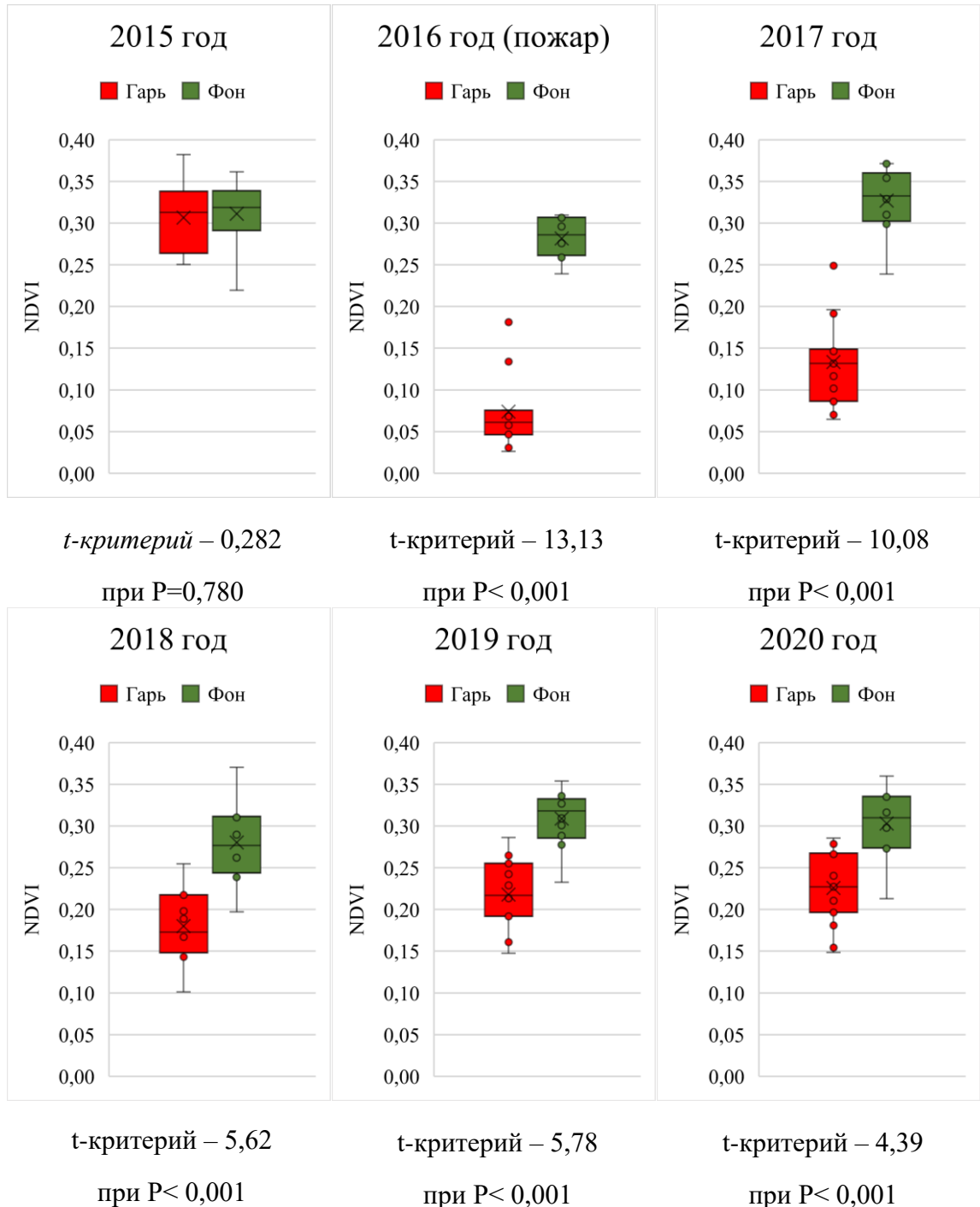


Рис. 13. Блочные диаграммы с ограничителями выбросов значений NDVI контрольных и фоновых участков на гарях 2016 года (достоверность различий указано по t - критерию Стьюдента) [составлено автором]

На участках гарей 2006 и 2016 годов не выявлено статистически достоверных различий значений NDVI между фоновыми участками и участками будущих гарей, что позволяет в дальнейшем сравнивать эти участки

при анализе постпирогенной восстановительной сукцессии растительного покрова на каждой из гарей (рисунок 12, 13).

В первый год пожара наблюдается резкое снижение значений NDVI на выгоревших участках – более чем в 4 раза для каждого участка. Достоверность значений за эти годы также была проверена статистической обработкой по Т-критерию Стьюдента. В 2006 г. на первом участке t-критерий – 15,648 при  $P < 0,001$ , а на втором в 2016 г. – t-критерий – 13,13 при  $P < 0,001$ .

Уровень значимости в следующие годы после пожара на обоих участках имеет значения меньше 0,001 и 0,05. Различия достоверны между фоном и гарью на 95% и более чем на 99%.

К 2020 году на обоих участках гари индекс NDVI не достигает значений фона. Это оценивается и визуально на графиках выше, и это подтверждает Т-критерий Стьюдента. На первом участке - t-критерий – 3,503 при  $P < 0,05$ , на втором - t-критерий – 4,39 при  $P < 0,001$ .

## ВЫВОД

В нашем исследовании для идентификации участков гарей использовался метод интерпретации комбинаций каналов. Было выявлено, что, наиболее информационной комбинацией для обнаружения участков гарей будет синтез каналов 7-4-2 (SWIR(2)-RED-BLUE). Снимок с такой комбинацией отлично иллюстрирует постпожарные участки. Такой метод ранее не был использован в других исследованиях с целью выявления участков гарей.

Полученные данные указывают на то, что в течении семи лет после пожара наблюдается повышение значений NDVI на участке гари №1, это указывает на восстановительный процесс растительного покрова. В следующие годы отсутствует повышение значений индекса и находятся практически на одном уровне и не достигает фонового уровня. Даже после 14 лет после пожара значение NDVI не достигло значений фона.

На втором участке значения NDVI также не достигло фонового значения. Восстановительные процессы здесь еще продолжаются, об этом свидетельствует уровень индекса, с каждым годом он увеличивается.

Таким образом для полного восстановления растительного покрова на участках гари до фонового уровня необходимо более 15 лет

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенного исследования были получены следующие выводы:

1. Установлено, что основным преимуществом использования вегетационных индексов считается их доступность. Одним из самых распространённых вегетационных индексов является NDVI. Применение индекса позволяет решить различные задачи в области сельского хозяйства, изучения негативного воздействия на растительность и т.д.

Опыт применения индекса NDVI доказывает возможность оценки динамики восстановления растительного покрова после различных антропогенных или природных воздействий.

В исследовании были использованы данные спутниковых систем Landsat 5 TM/7 ETM+/8 OLI и Sentinel-2, так как они дают возможность применить спектрзональные снимки для решения большого количества задач. Получение таких снимков не требует особых усилий, так как находятся в открытом доступе.

2. Выбор данной территории для изучения динамики восстановления растительного покрова на гарях обусловлен тем, что Тазовский район подвергается техногенной нагрузке, что приводит к деградации растительного покрова в районах освоения нефтегазовых месторождений. Растительность здесь представлена ерниковыми и ивняково-ерниковыми с ольхой кустарничково-моховыми бугорковатыми тундрами. Суровость климата отрицательно воздействует на восстановительные процессы растительного покрова. Вегетационный период на данной территории приходится на конец июля — начало августа.

3. Рассмотрено несколько самых распространённых комбинаций каналов, которые применяются с целью изучения динамики пожаров и пост-пожарного анализа местности. Установлено, что для идентификации участков гарей наиболее информационной комбинацией будет синтез каналов 7-4-2

(SWIR(2)-RED-BLUE). Такой метод ранее не был использован в других исследованиях с целью выявления участков гарей.

4. Исследование показало, что для восстановления растительного покрова на участках гарей необходимо более 15 лет. Динамика восстановления растительного покрова прослеживается первые 6-7 лет после пожара. Об этом свидетельствуют значения NDVI.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

## Книжные издания

1. Ceccato, P., Flasse, S., Tarantola, S. Detecting vegetation water content using reflectance in the optical domain // *Remote Sensing of Environment*, 77, 2001, pp. 22 – 33.
2. Huete A.R. Environmental monitoring with remote sensing // J. Artiola, I. Pepper, M. Brusseu (eds). N.Y., Acad. Press, 2004, chap. 11, P.183-206.
3. Rogan, J. Mapping wildfire burn severity in southern California forests and shrublands using enhanced Thematic Mapper imagery. – *Geocarto International*. 16. – 2001. Pp. 89 - 99.
4. Mao D., Wang Z., Luo L. Integrating AVHRR and MODIS data to monitor NDVI changes and their relationships with climatic parameters in Northeast China // *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 2012. № 18. P. 528-536.
5. Heim R.J., Brodt L., Soromotin A.V. Post-fire vegetation succession in the siberian subarctic tundra over 45 years // *The Science of the Total Environment*. 2021. T. 760, pp. 143-425.
6. Бакулин В.В., Козин В.В. География Тюменской области: Учеб. пособие. Екатеринбург: Сред.-Урал. кн. изд-во, 1996. 103 с.
7. Бродт Л. В. Постпирогенные сукцессии растительного покрова в зоне сплошного распространения многолетнемерзлых (на примере Тазовского Района Ямало-Ненецкого автономного округа): специальность 05.04.06 Экология и природопользование: маг. дис. Тюмень, 2019. 48 с.
8. Гвоздецкий Н.А., Криволицкий А.Е., Макунина А.А. Физико-географическое районирование Тюменской области. Москва: Изд-во Моск. ун-та, 1973. 246 с.



9. Городецкая М. Е., Мещеряков Ю. А. Морфоструктурные элементы рельефа Западно — Сибирской равнины и размещение полезных ископаемых. // Изв. АН СССР. Сер. геогр. 1968. № 9.
10. Дубинин М.Ю., Луцкекина А.А., Раделоф Ф.К. Оценка современной динамики пожаров в аридных экосистемах по материалам космической съемки (на примере Черных земель) // Аридные экосистемы. 2010. Т. 16. № 3 (43). С. 5 – 16.
11. Замаараева Т.А. Возобновление шиловидных и бокальчатых лишайников после пожаров в лиственничных лесах лесотундры западной Сибири // Вестник Тюменского гос. ун-та. Тюмень. 2012. № 6. С. 104 – 108.
12. Заяц В.В. Оценка пожарного воздействия на растительность на основе многофакторного анализа дистанционных данных // Решетневские чтения: материалы науч. конф. 2016, С. 366 – 368.
13. Книжников Ю.Ф., Кравцова В.И., Тутубалина О.В. Аэрокосмические методы географических исследований: Учеб. для студ. высш. учеб. Заведений. Москва: Издательский центр «Академия», 2004. 336 с.
14. Компаниец А.С. Схема территориального планирования Тазовского района. Магнитогорск, 2015. 313 с.
15. Корниенко С. Г. Исследование трансформации растительности в районах Тазовского полуострова по данным космической съемки // Исследование Земли из космоса: материалы науч. конф. 2009. № 4. С. 46–57.
16. Курганович К.А., Макаров В.П., Соснина М.А. Оценка влияния лесных пожаров на изменение растительного покрова Цасучейского бора с использованием вегетационных индексов NDVI // XI сибирское совещание по климато-экологическому мониторингу: статья в сборнике трудов конференции. 2015. С. 27 – 36.
17. Лёзин В.А. Реки Ямало-Ненецкого автономного округа. Справочное пособие. Тюмень: Издательство «Вектор Бук», 2000. 142 с.

18. Мельников Е.С., Тагунова Л.Н., Лазарева Н.А. Ландшафты криолитозоны Западно-сибирской газоносной провинции. Новосибирск : Наука. Сиб. отд-ние, 1983. 165 с.
19. Олзоев Б. Н., Никитина Ю. Г. Статистический анализ состояния растительности по результатам обработки мультиспектральных изображений разновременных космических снимков // ИНТЕРЭКСПО ГЕО-СИБИРЬ: материалы науч. конф. 2013. Т. 1. №2. С. 41 – 45
20. Опарин М.Л., Опарина О.С. Влияние палов на динамику степной растительности //Поволжский экологический журнал. 2003. № 2. С. 158–171.
21. Сизов О.С., Цымбарович П.Р., Соромотин А.В. Оценка постпирогенной динамики тундровой растительности на севере Западной Сибири за последние 50 лет (1968–2018) на основе данных ДЗЗ детального и высокого разрешения // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. Т. 17. №4. С. 137 – 153.
22. Стыценко Ф.В. Разработка и применение методики и автоматизированной технологии оценки пирогенной гибели лесов на основе спутниковых данных: специальность 25.00.34 Аэрокосмические исследования Земли, фотограмметрия маг. дис. Москва, 2016. 131 с.
23. Трофимов В.Т., Таргульян В.О., Гудыная А.Н. Природные условия освоения Тазовского нефтегазоносного района: монография. Москва: Изд-во "Наука", 1972. 223 с.
24. Украинский П.А. Динамика спектральных свойств зарастающих травяных гарей // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2013. Т. 10. № 4. С. 229–238
25. Черепанов А.С. Дружинина Е.Г. Спектральные свойства растительности и вегетационные индексы // Геоматика. Москва. 2009. № 3 (4). С. 28 – 32.
26. Черепанов А.С. Вегетационные индексы // Геоматика. Москва. 2011. №2. С. 98 – 102.
27. Шихов А. Н., Герасимов А. П., Пономарчук А. И. Тематическое дешифрирование и интерпретация космических снимков среднего и высокого

пространственного разрешения: учебное пособие. Пермь: Пермский государственный национальный исследовательский университет, 2020. 191 с.

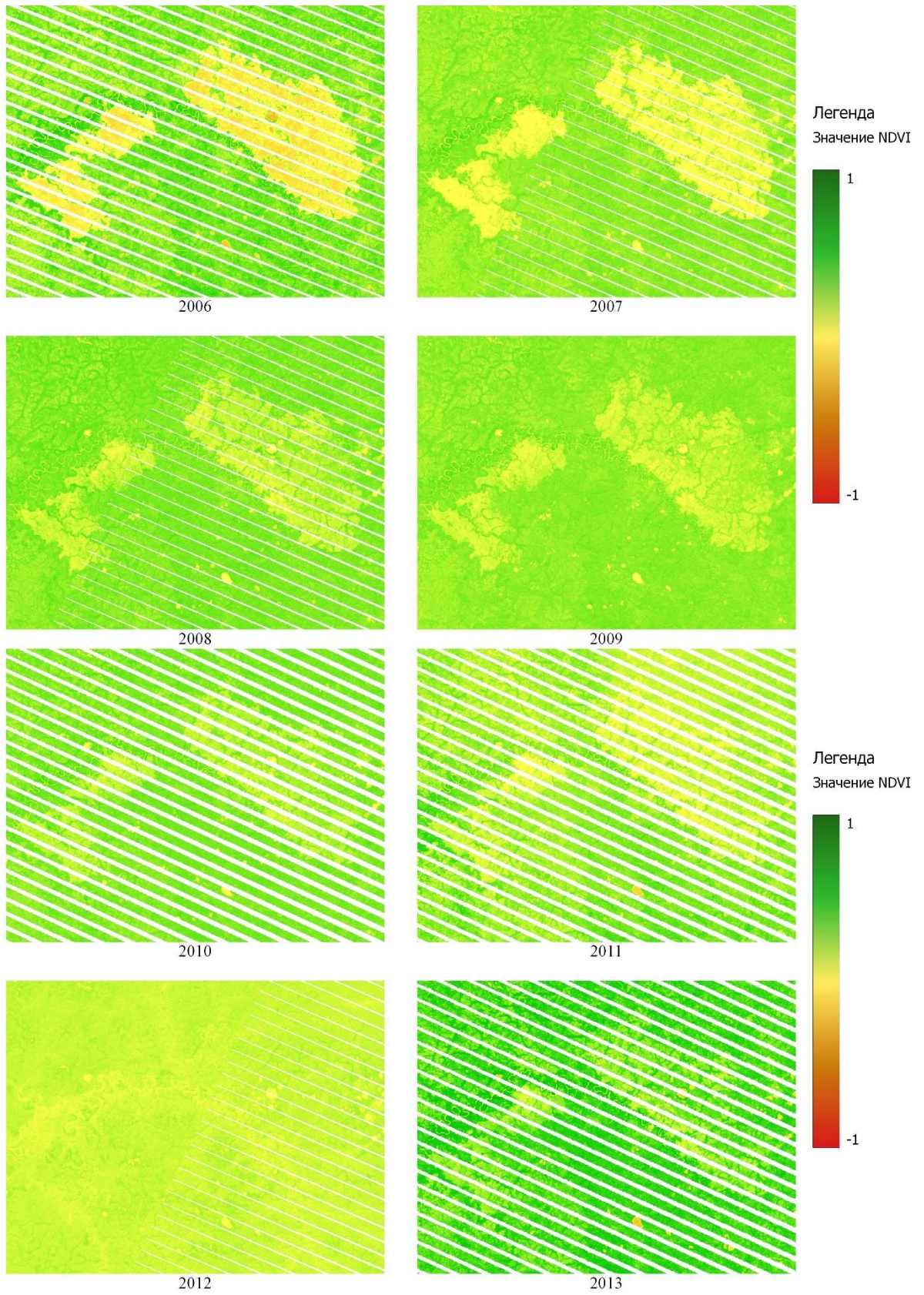
#### Электронные издания

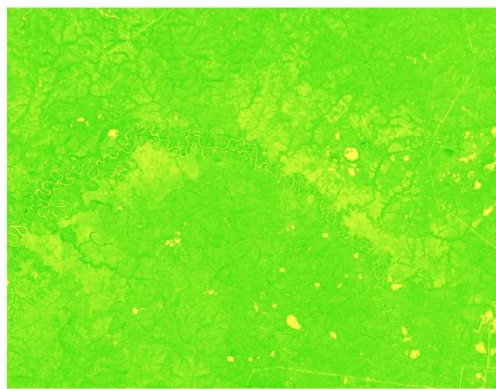
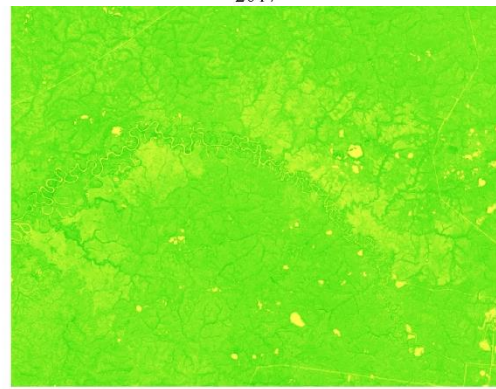
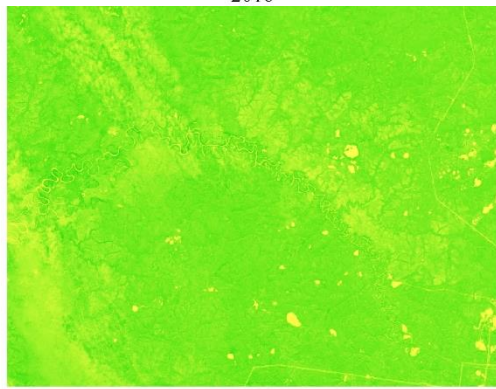
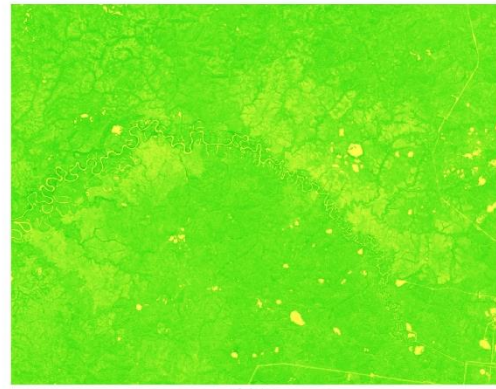
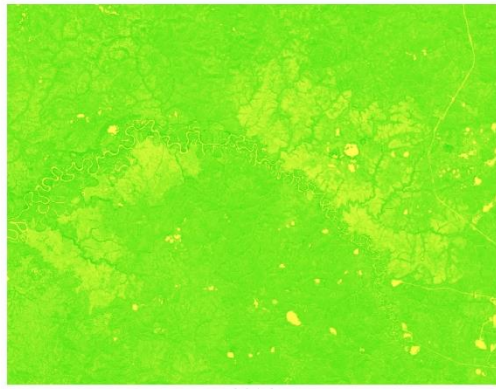
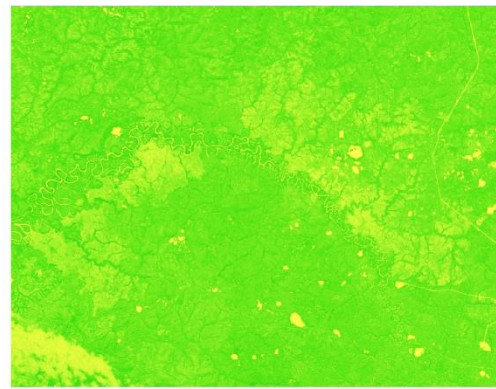
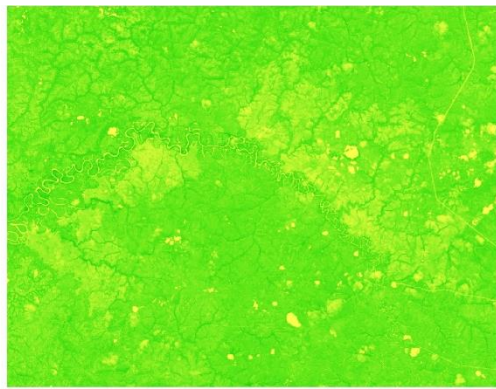
28. GIS-Lab. Географические и информационные системы и дистанционное зондирование: [сайт]. 2002. URL: <https://gis-lab.info/qa/ndvi.html> (дата обращения: 25.05.2021).
29. LANDSAT-8 bands. [сайт]. URL: <https://landsat.gsfc.nasa.gov/landsat-8/landsat-8-bands>(дата обращения – 10.04.2021)
30. SENTINEL-2 bands. [сайт]. URL: <https://eos.com/sentinel-2/> (дата обращения – 10.04.2020)
31. SOFT.FARM: [сайт]. 2021. URL: <https://btfr.cc/2jn> (дата обращения: 25.05.2021).
32. Архив космоснимков Lansat на сайте Геологической службы США: [сайт]. URL: <https://earthexplorer.usgs.gov> (дата обращения: 14.06.2021).
33. Интерпретация комбинаций каналов данных Landsat TM / ETM [сайт]. 2002. URL: <https://gis-lab.info> (дата обращения: 25.05.2021).

#### Картографические издания

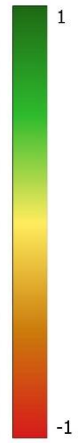
34. Атлас Тюменской области: [физический]. Москва, Тюмень: Отв. ред. И. П. Заруцкая, 1971. 1 атл. (С. 11–13).
35. Атлас Ямало-Ненецкого автономного округа: [физический]. Салехард, Тюмень: ФГУЛ «Омская картографическая фабрика», 2004. 1 атл. (303 с.).
36. Обзорная карта растительности Западно-Сибирской равнины / сост., оформ., дизайн институт географии Сибири и Дальнего Востока СО АН СССР. 1: 1 500 000. Москва: ГУГК, 1976. 1 к.

## Снимки NDVI. Участок №1 [составлено автором]

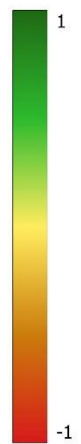




Легенда  
Значение NDVI



Легенда  
Значение NDVI



## Снимки NDVI. Участок №2 [составлено автором]

