

Министерство науки и высшего образования РФ  
Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
**«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**  
Институт космических и информационных технологий  
Кафедра систем искусственного интеллекта

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_ Г.М. Цибульский  
подпись                      инициалы, фамилия

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2023 г.

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Анализ спектральных признаков и формы гарей и вырубок на  
мультиспектральных снимках

09.03.02 – Информационные системы и технологии

Научный руководитель/

руководитель \_\_\_\_\_ доцент кафедры Б-ГИС, к.б.н. Е.В. Федотова

подпись, дата

должность, ученая степень

инициалы, фамилия

Выпускник \_\_\_\_\_

подпись, дата

П.Ю. Казанцев

инициалы, фамилия

Нормоконтролер \_\_\_\_\_

подпись, дата

Е.В. Федотова

инициалы, фамилия

Красноярск 2023

Министерство науки и высшего образования РФ  
Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
**«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**  
ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ И ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ  
Кафедра систем искусственного интеллекта

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой  
\_\_\_\_\_ Г. М. Цибульский  
подпись  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**ЗАДАНИЕ  
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ  
РАБОТУ  
в форме бакалаврской работы**

Красноярск 2023

Студенту Казанцеву Павлу Юрьевичу

Группа КИ19-21БГИА Направление (специальность) 09.03.02

Информационные системы и технологии

Тема выпускной квалификационной работы    Анализ                    спектральных признаков и формы гарей и вырубок на мультиспектральных снимках

Утверждена приказом по университету № 6450/С \_\_\_\_ от 21.04.2023 \_\_\_\_\_

Руководитель ВКР Е.В. Федотова, доцент кафедры Б-ГИС ИКИТ СФУ, канд. биол. наук

Исходные данные для ВКР: снимки Landsat 8 OLI; выявленные из литературных источников признаки участков поврежденных лесов, выявляемые на космических снимках. \_\_\_\_\_

Перечень разделов для ВКР:

- Исходные данные. Используемое программное обеспечение.
- Описание спектральных признаков и форм объектов на многоспектральных снимках.
- Определение спектральных и геометрических признаков гарей и вырубок.

Перечень графического материала: слайды презентации \_\_\_\_\_

Руководитель ВКР \_\_\_\_\_

подпись

Е.В. Федотова

инициалы и фамилия

Задание принял к исполнению \_\_\_\_\_

П.Ю. Казанцев

подпись, инициалы и фамилия студента

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ г.

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа по теме «Анализ спектральных признаков и формы гарей и вырубок на мультиспектральных снимках» содержит 62 страницы текстового документа, 39 иллюстраций, 10 таблиц, 9 формул, 4 приложения, 22 использованных источника.

ДДЗ, ПРИАНГАРЬЕ, СПЕКТРАЛЬНЫЕ ПРИЗНАКИ, ПРИЗНАКИ ФОРМЫ, ГАРИ, ВЫРУБКИ, LANDSAT, MCD64A1.

В последние годы проблема сохранения лесов стала особенно актуальной в связи с увеличением количества природных катастроф, таких как лесные пожары, а также связанных с активностью человеческой деятельности, такой как вырубка лесов. Для эффективного контроля за состоянием лесных массивов необходимы инструменты и методы, позволяющие выявлять и анализировать участки повреждения лесов.

Целью работы является изучение разделение полигональных объектов, выделяемых при классификации снимков, как результатов обезлесивания территории из-за пожаров и рубки леса.

Задачи данной работы:

- для снимков Landsat 8, 9 OLI выделить повреждения лесов на гарях и вырубках;
- выделить спектральные признаки лесных гарей и вырубок – по отражательным данным в спектральных каналах, по вегетационным индексам;
- выделить признаки формы: соотношение площади к периметру, изрезанность границ, прямоугольность формы и др.;
- оценить возможность выделения типов повреждений по спектральным и по геометрическим признакам.

В результате работы составлен ряд спектральных признаков в виде спектральных кривых и вегетационных индексов и признаков формы, которые позволяют однозначно разделять векторные полигоны гарей и вырубок на лесных территориях.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение .....	3
1 Исходные данные. Используемое программное обеспечение .....	7
1.1 Описание территории. Приангарье .....	7
1.2 Описание мультиспектральных снимков Landsat 8, 9 уровня 2 .....	9
1.3 Комбинированный продукт MCD64A1 Version 6 Burned Area.....	13
1.4 Данные проекта Hansen Global Forest Change 2000-2022 Data .....	14
1.5 Используемое программное обеспечение .....	15
1.5.1 Геоинформационная система QGIS.....	15
1.5.2 Облачная платформа Earth Map.....	18
2 Описание спектральных признаков и форм объектов на многоспектральных снимках .....	19
2.1 Спектральные признаки .....	19
2.2 Вегетационные индексы.....	20
2.3 Признаки формы.....	21
3 Определение спектральных и геометрических признаков гарей и вырубок ...	23
3.1 Выделение гарей и вырубок на снимках Landsat 8 OLI .....	23
3.2 Спектральные признаки гарей и вырубок.....	25
3.3 Признаки формы гарей и вырубок .....	43
Заключение .....	45
Список использованных источников .....	46
Приложение А Таблицы характеристик делимости сигнатур на снимке Landsat 8 за 03.06.2021 .....	49
Приложение Б Таблицы признаков формы на снимке Landsat 8 за 03.06.2021 ..	54
Приложение В Таблицы характеристик делимости сигнатур на снимке Landsat 8 за 28.07.2021 .....	56
Приложение Г Таблицы признаков формы на снимке Landsat 8 за 03.06.2021 ..	61

## ВВЕДЕНИЕ

В последние годы проблема сохранения лесов стала особенно актуальной в связи с увеличением количества природных катастроф, таких как лесные пожары, а также связанных с активностью человеческой деятельности, такой как вырубка лесов. Для эффективного контроля за состоянием лесных массивов необходимы инструменты и методы, позволяющие выявлять и анализировать участки повреждения лесов. Метод дистанционного зондирования Земли основывается на использовании информации, получаемой с помощью оптической космической съемки, позволяет выявлять участки повреждения лесов с высокой точностью. Выделение участков поврежденных или погибших лесов основывается на трех типах признаков:

- спектральных отражательных;
- текстурных признаков поврежденных участков;
- признаков формы поврежденных участков.

Разделение участков свежих гарей и свежих вырубок является важной практической задачей. Одним из перспективных методов для решения этой задачи является анализ спектральных признаков и формы гарей и вырубок на мультиспектральных снимках.

Обзор литературы по выделению участков повреждения лесов от гарей, вырубок и вредителей на мультиспектральных снимках показал, что методика исследования спутниковых снимков по спектральным признакам и признакам формы широко применяется для оценки состояния лесов.

Так, в своей статье [1] В.А. Хамедов сравнил методы обнаружения лесных гарей по нормализованному разностному индексу растительности NDVI, нормализованному индексу гарей NBR и индексу техногенных объектов NMOI и сделал вывод, что использование данных методов позволяет получить относительно достоверные результаты.

Рядом авторов [2] была проведена оценка состояния растительности, поврежденной сибирским шелкопрядом, с использованием индексов NDVI,

коротковолнового индекса SWVI и нормализованного индекса влажности NDMI, и сделан вывод, что оценка состояния растительности по космическим снимкам даёт общее представление о динамике процесса естественного лесовозобновления на территории бывшего очага шелкопряда и обеспечивает пространственную основу для оптимизации планирования наземных обследований растительности, а также о возможности более детальной оценки при использовании снимков со сверхвысоким пространственным разрешением.

В статье [3] Е.Г. Швецова и Е.И. Пономарёва был предложен способ мониторинга сплошных вырубок с использованием спутникового продукта глобального изменения лесного покрова на основе данных Landsat в сопряжении с дополнительными информационными ГИС-слоями (растительность, пожары). Валидация, выполненная на примере данных на Приангарский лесной район для периода 2001–2019 гг., показала удовлетворительный результат сравнения с экспертной выборкой.

Статьёй С.В. Князевой соавторщи [4] был представлен обзор около 60 научных публикаций, посвященных основным методам и алгоритмам автоматизированной обработки космических снимков сверхвысокого пространственного разрешения (VHR), полученных в оптическом диапазоне, для определения характеристик лесов. На примерах конкретных исследований продемонстрирована возможность дистанционной оценки основных характеристик древесной растительности (биометрических и морфоструктурных параметров, породного и видового разнообразия, нарушений лесного полога, состояния и динамики лесов, фитомассы и запаса углерода), выделены наиболее перспективные методические подходы и алгоритмы с учетом показателей точности определения целевых параметров.

В своей статье [5] И.А. Пестунов и П.В. Мельников исследовали информативность систем текстурных признаков, которые построены с использованием четырех популярных методов, основанных на статистиках гистограммы абсолютных разностей и матрицы смежности уровней серого тона, а также авторегрессионной модели SAR и гауссовской марковской модели

случайных полей GMRF. В результате экспериментальных исследований было обнаружено, что при наличии большого числа текстурных классов точность классификации можно повысить путем комбинирования рассмотренных в работе методов. Кроме того, по их результатам можно также сделать следующие выводы: при классификации спутниковых изображений наилучшее качество обеспечивает статистический метод GLCM, использование модельных методов GMRF и SAR нецелесообразно ввиду их вычислительной трудоемкости.

В данной работе будут рассмотрены спектральные признаки и форма гарей и вырубок, которые используются в анализе мультиспектральных снимков.

Целью работы является изучить разделение полигональных объектов, выделяемых при классификации снимков, как результатов обезлесивания территории из-за пожаров и рубки леса.

Задачи данной работы:

- для снимков Landsat 8, 9 OLI выделить повреждения лесов на гарях и вырубках;
- выделить спектральные признаки лесных гарей и вырубок – по отражательным данным в спектральных каналах, по вегетационным индексам;
- выделить признаки формы: соотношение площади к периметру, изрезанность границ, прямоугольность формы и др.;
- оценить возможность выделения типов повреждений по спектральным и по геометрическим признакам.

Предметом данной работы являются спектральные признаки и признаки формы гарей и вырубок на мультиспектральных снимках. Методом исследования является анализ научной литературы и экспериментальное исследование с использованием мультиспектральных снимков. Объектом исследования являются лесные массивы, повреждения которых будут выявляться с помощью разработанного метода. Выбрана территория Приангарья, так как на этой территории ведется активная заготовка леса, много вырубок разного возраста, и много гарей. На территории, которая попадает в одну сцену съемки Landsat, находятся достаточно много как гарей, так и



вырубок. В рамках темы «Анализ спектральных признаков и формы гарей и вырубок на мультиспектральных снимках» Приангарье представляет собой интересную территорию для исследований в связи с наличием значительного лесного массива.

# 1 Исходные данные. Используемое программное обеспечение

## 1.1 Описание территории. Приангарье

Приангарье – это территория Восточной Сибири, расположенная на берегах реки Ангары. На рисунке 1 показана часть бассейна р. Ангара, которая представляет интерес в данной работе.

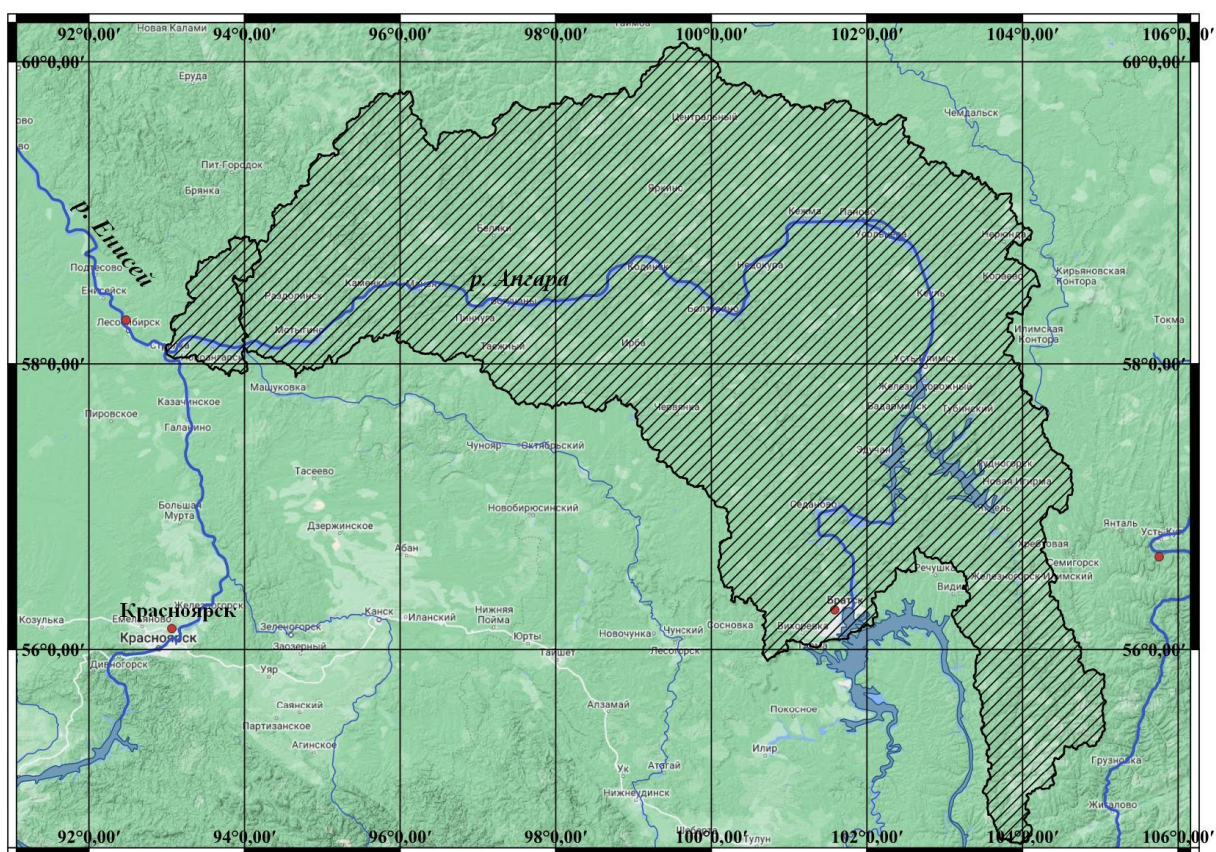


Рисунок 1 – Часть бассейна р. Ангара

Приангарье имеет площадь около 400 тысяч квадратных километров и является одним из самых крупных природных и экономических регионов России, который расположен в Красноярском крае и Иркутской области.

Леса Приангарья представлены преимущественно хвойными породами, такими как сосна, ель, лиственница. Они являются важным ресурсом для

местных экономик и природной среды. Однако, в связи с увеличением давления на леса в виде пожаров, вырубок и распространения вредителей, имеется необходимость разработки эффективных методов контроля за состоянием лесов.

Нижнее Приангарье — один из наиболее нарушенных пожарами и лесозаготовками регионов [6]. Из-за более высоких темпов потепления климата в Сибири количество пожаров, их площадь и интенсивность, а также продолжительность пожароопасного сезона увеличиваются из года в год. Наряду с пожарами росту нарушенных лесов способствуют рубки.

Около 60% древесины, заготавливаемой в Красноярском крае, поступает из Приангарья. Вырубки обычно содержат большое количество древесных остатков, быстрее высыхают, достигают состояния пожарной зрелости и загораются. Такое положение может привести к потерям леса и быстрому сокращению запасов древесины в ближайшем будущем.

Было выяснено, что с 2001 по 2020 годы запасы напочвенных горючих материалов в Приангарье возросли на 8%. Причиной этому стало большое количество древесных материалов, оставшихся после рубок и пожаров. Кроме того, отмечается, что увеличение нарушенности территории привело к усилению природной пожарной опасности.

Природная пожарная опасность лесов, нарушенных сплошными рубками и сильными пожарами, высока из-за разрастания травы и большого количества древесных остатков, которые достигают состояния пожарной зрелости гораздо быстрее, чем в сомкнутом лесу. Весной эти объекты относятся к первому — очень высокому классу пожарной опасности [7]. В летний период пожарная опасность снижается до высокой (второй класс) на участках лесных земель, расположенных на сухих почвах, и до слабой (четвертый класс) во влажных условиях местопрорастания.

Соответственно, вместе с усилением пожаров был обнаружен и рост пирогенной эмиссии углерода. Самые высокие показатели приходятся на лиственничные и сосновые леса, которые широко распространены в Приангарье

и сильно горят. Кроме того, были отмечены тенденции увеличения выбросов углерода на вырубках, а также в темнохвойных лесах.

Лесозаготовки существенно увеличивают запасы напочвенных горючих материалов в лесных районах Сибири и приводят к увеличению пожаров и выбросов углерода. Выявлен значительный рост запасов горючих материалов в Нижнем Приангарье и пожарной опасности в регионе. Более высокие запасы горючих материалов, потенциально доступные для сжигания, могут привести к более интенсивному пожару. Поэтому при оценке пожарной опасности и последствий пожаров следует учитывать как природные, так и антропогенные воздействия. Для прогнозирования поведения и последствий пожаров, а также повышения точности оценок пожарных эмиссий необходимо составлять и регулярно обновлять карты растительности и запасов горючих материалов с учетом всех видов нарушений лесов

Климат Приангарья характеризуется зимней холодной и сухой погодой, а лето короткое и теплое. В связи с этим, зимой происходит уменьшение активности растительности и ее чувствительности к изменениям окружающей среды, что влияет на спектральные свойства лесной растительности.

Территория, рассматриваемая в работе, является важным регионом для лесных ресурсов, однако подвержена большому давлению в виде лесных пожаров и вырубок. Это оказывает серьезное воздействие на экосистемы и природную среду в целом. В связи с этим, использование мультиспектральных снимков и анализ их спектральных признаков и формы гарей и вырубок может быть ключевым инструментом в управлении лесными ресурсами и сохранении природы в Приангарье.

## **1.2 Описание мультиспектральных снимков Landsat 8, 9 уровня 2**

Мультиспектральные снимки Landsat 8, 9 представляют собой данные, полученные от спутниковой системы Landsat, которая была запущена NASA и

USGS. Эти снимки предоставляют информацию о земной поверхности в видимом, ближнем инфракрасном и тепловом диапазонах спектра.

Уровни обработки снимков Landsat включают Level-1 и Level-2.

Level-1 является первоначальной обработкой снимков, включающей в себя коррекцию геометрических и радиометрических искажений. Снимки Level-1 доступны в формате GeoTIFF и содержат калиброванные значения яркости для каждого канала [8].

Level-2 представляет собой более сложную обработку, включающую в себя атмосферную коррекцию, улучшенную калибровку и геометрическую точность и т.д. Снимки Level-2 доступны в формате GeoTIFF и NetCDF [9].

Уровень 2 мультиспектральных снимков Landsat 8, 9 представляет собой продукт, полученный после калибровки сырых данных и атмосферной коррекции. Они содержат геокодированные изображения, а также информацию о качестве снимка и статистику пикселей.

Более подробную информацию об уровнях обработки снимков Landsat можно найти на сайте United States Geological Survey (USGS) [10].

Для нашего исследования были выбраны мультиспектральные снимки Landsat 8, 9 в хорошем качестве и без облачности, полученные летом. Первый летний снимок был получен в июне, а второй - в июле. Оба снимка были получены с использованием инструментов Landsat Collection 2 Level-2, которые обеспечивают высокое качество данных и гарантируют консистентность между снимками во времени.

Ниже приведена таблица 1 с номерами каналов, длиной волн и пространственным разрешением для Landsat 8 OLI.

Таблица 1 – Спектральные каналы Landsat 8, 9

Канал	Длины волн, мкм	Разрешение (размер 1 пикселя)
<b>Диапазоны OLI (Operational Land Imager)</b>		
Канал 1 – Побережья и аэрозоли (Coastal / Aerosol, New Deep Blue)	0,433 – 0,453	30 м
Канал 2 – Синий (Blue)	0,450 – 0,515	30 м
Канал 3 – Зелёный (Green)	0,525 – 0,600	30 м
Канал 4 – Красный (Red)	0,630 – 0,680	30 м
Канал 5 – Ближний ИК (Near Infrared, NIR)	0,845 – 0,885	30 м
Канал 6 – Ближний ИК (Short Wavelength Infrared, SWIR 2)	1,560 – 1,660	30 м
Канал 7 – Ближний ИК (Short Wavelength Infrared, SWIR 3)	2,100 – 2,300	30 м
Канал 8 – Панхроматический (Panchromatic, PAN)	0,500 – 0,680	15 м
Канал 9 – Перистые облака (Cirrus, SWIR)	1,360 – 1,390	30 м
<b>Диапазоны TIRS (Thermal Infrared Sensor)</b>		
Канал 10 – Дальний ИК (Long Wavelength Infrared, TIR1)	10,30 – 11,30	100 м
Канал 11 – Дальний ИК (Long Wavelength Infrared, TIR2)	11,50 – 12,50	100 м

Снимки представляют собой изображения, имеющие для диапазона спектра от 450 до 2300 нм разрешение 30 метров. Это позволяет анализировать спектральные признаки объектов на земной поверхности, такие как гари и вырубки, а также проводить мониторинг изменений в лесных массивах во времени.

Выбранные мультиспектральные снимки Landsat 8, 9 представляют важные данные для нашего исследования и могут быть использованы для анализа спектральных признаков и формы гарей и вырубок в Приангарье.

Для получения мультиспектральных снимков Landsat 8, 9 были использованы данные уровня 2, которые представляют собой предварительно обработанные изображения, содержащие калиброванные и геокодированные данные о яркости и интенсивности излучения в различных диапазонах длин волн с атмосферной коррекцией.

Мультиспектральный снимок Landsat 8, полученный 3 июня 2021 года, содержит 11 каналов с разрешением 30 метров и охватывает область площадью около 185 км<sup>2</sup>. Снимок был получен в качестве TIFF-файла размером 7961 x 8041 пикселей. В нем присутствуют каналы с длинами волн от 443 нм до 2290 нм, включая видимую и инфракрасную области спектра (рисунок 2).



Рисунок 2 – Снимок Landsat 8 за 03.06.2021 (каналы 2,3,4)

Мультиспектральный снимок Landsat 9, полученный 28 июля 2021 года, также содержит 11 каналов с разрешением 30 метров и охватывает область площадью около 185 км<sup>2</sup>. Снимок был получен в качестве TIFF-файла размером 7961 x 8041 пикселей. Как и в предыдущем случае, в нем присутствуют каналы с длинами волн от 443 нм до 2290 нм (рисунок 3).

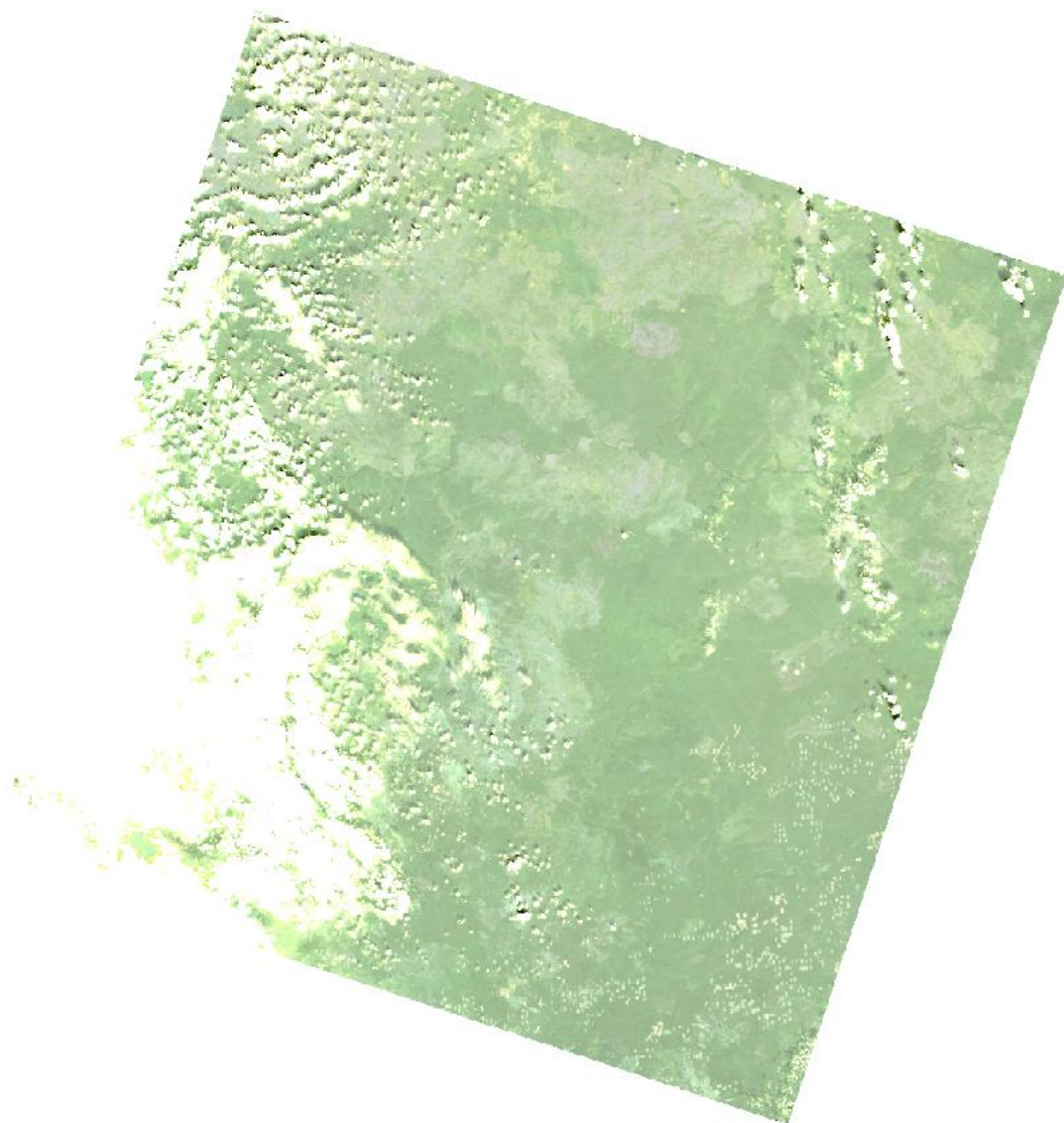


Рисунок 3 – Снимок Landsat 8 за 28.07.2021 (каналы 2,3,4)

### **1.3 Комбинированный продукт MCD64A1 Version 6 Burned Area**

Комбинированный продукт данных MCD64A1 Version 6 Burned Area от Terra и Aqua – это ежемесячный продукт с привязкой к глобальной сетке с



разрешением 500 м, содержащий информацию о площади гари на пиксель и информацию о качестве данных [11]. Для картирования участков гарей в продукте MCD64A1 используются изображения с данными отражения поверхности MODIS с разрешением 500 м в сочетании с данными по активным пожарам MODIS с разрешением 1 км. Алгоритм использует индекс чувствительности к выжиганию растительности (VI) для создания динамических пороговых значений, которые применяются к составным данным. Индекс VI получен из данных каналов 5 и 7 поверхностного отражения с атмосферной коррекцией в коротковолновом инфракрасном диапазоне MODIS и учетом временной текстуры. Алгоритм определяет дату горения для 500-метровых ячеек сетки внутри каждого отдельного тайла MODIS. Дата кодируется в одном слое данных как порядковый день календарного года, в который произошло горение.

Уровни данных, представленные в продукте MCD64A1, включают слой с датой появления гари, неопределённость оценки даты, уровень качества. Собственно, данные – это номер дня, в который появилась гарь.

Документация по работе с данными доступна по ссылке [12].

#### **1.4 Данные проекта Hansen Global Forest Change 2000-2022 Data**

Global Forest Change 2000-2022 Data — это данные, полученные в результате анализа временных рядов изображений Landsat, характеризующие глобальное распределение лесов и их изменения с 2000 по 2022 год [13, 14].

Лаборатория глобального анализа и обнаружения земель (GLAD) Университета Мэриленда в партнерстве с Global Forest Watch (GFW) предоставляет ежегодно обновляемые данные о потерях лесов в глобальном масштабе, полученные с использованием временных рядов изображений Landsat. Эти данные являются относительным индикатором пространственно-временных тенденций в динамике утраты лесов во всем мире [13, 14].

Деревья определяются как растительность высотой более 5 м и выражаются в процентах на ячейку выходной сетки как «2000 Percent Tree Cover». «Forest Cover Loss» определяется как нарушение замещения насаждений или переход от состояния леса к нелесу в период 2000–2019 годов. «Forest Cover Gain» определяется как величина, обратная потере или полному изменению нелесного покрова на лесной за период 2000–2012 годов. «Forest Loss Year» представляет собой разбивку общей «Forest Loss» на годовые шкалы времени [13, 14].

Эталонные изображения 2000 и 2019 годов представляют собой медианные наблюдения из набора наблюдений за вегетационный период, прошедших оценку качества.

## **1.5 Используемое программное обеспечение**

### **1.5.1 Геоинформационная система QGIS**

QGIS является свободной геоинформационной системой с открытым исходным кодом [15]. Данная программа работает на следующих операционных системах: Linux, Unix, Mac OSX, Windows и Android. Также имеется поддержка векторных, растровых форматов, баз данных.

QGIS состоит из двух составных частей. Первая часть является QGIS Desktop. В QGIS Desktop выполняется вся основная работа с геопространственными данными, а именно: создание, редактирование, анализ и публикации геопространственной информации. Второй частью является QGIS Server и QGIS Web Client. С использованием QGIS Web Client имеется возможность публикации в сети проектов, созданных в QGIS Desktop. При выполнении дипломной работы использовался QGIS Desktop. Программное обеспечение QGIS предоставляет пользователям широкий спектр возможностей.

Данное программное обеспечение с использованием модуля Processing позволяет производить векторный анализ пространственных данных в различных форматах, поддерживаемых библиотекой данных OGR. QGIS дает возможность использовать инструменты анализа, выборки, геопроецирования, управления геометрией и базами данных. Помимо этого, имеется возможность использования интегрированных инструментов GRASS.

Программное обеспечение QGIS дает возможность редактировать и создавать новые векторные данные. После полученный результат можно экспортировать в разные форматы данных. Для того чтобы выполнять данные функции с растровыми данными первым шагом необходимо перевести их в GRASS.

В QGIS есть графический интерфейс, благодаря которому можно исследовать пространственные данные и создавать карты.

Программа QGIS предоставляет доступ к библиотеке, благодаря которой можно создавать новые модули в зависимости от задачи, которую необходимо решить. Дополнительные модули открывают новые возможности, также увеличивается спектр применения данной программы. Есть возможность создания отдельных приложений с помощью языков программирования C++ и Python.

Одной из возможностей данного программного обеспечения является возможность просматривать и накладывать друг на друга векторные и растровые данные в различных форматах и проекциях. Данная возможность не имеет необходимости перевода данных во внутренний или общий формат.

В QGIS можно экспортировать данные в map-файлы и публиковать полученный результат в сети с использованием встроенного в программу веб-сервера MapServer. Есть возможность использования программного обеспечения QGIS в качестве клиента WMS (Web Map Service) / WFS (Web Feature Service) или же сервиса WMS (Web Map Service) [16].

Для работы с мультиспектральными снимками в QGIS также можно использовать модуль Semi-Automatic Classification Plugin (SCP). Это бесплатный

плагин для QGIS, который позволяет выполнять обработку и классификацию мультиспектральных изображений [17].

Для установки плагина SCP необходимо выполнить следующие действия:

- открыть менеджер модулей QGIS: Меню "Модули" -> "Управление модулями" (рисунок 4);

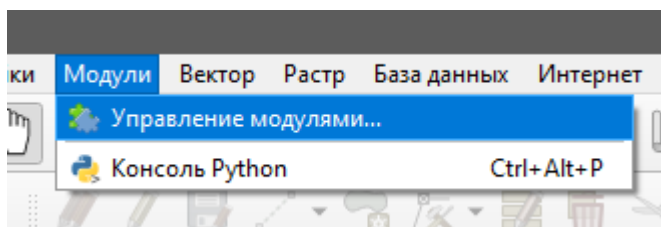


Рисунок 4 – Открытие менеджера модулей QGIS

- в поисковой строке ввести "Semi-Automatic Classification Plugin" и нажать "Установить" (рисунок 5);

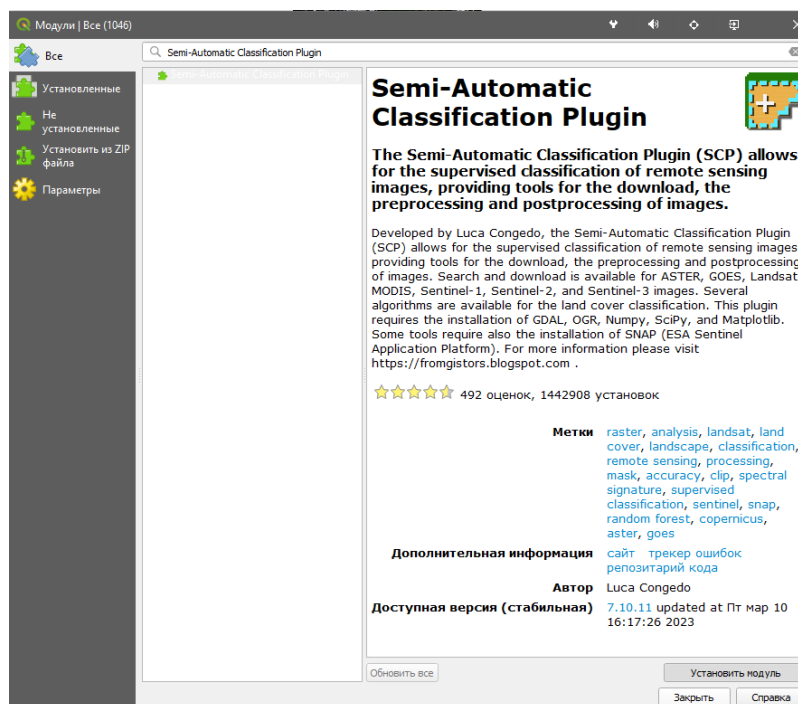


Рисунок 5 – Установка плагина

- после установки плагина SCP появится в меню "Модули" (рисунок 6).

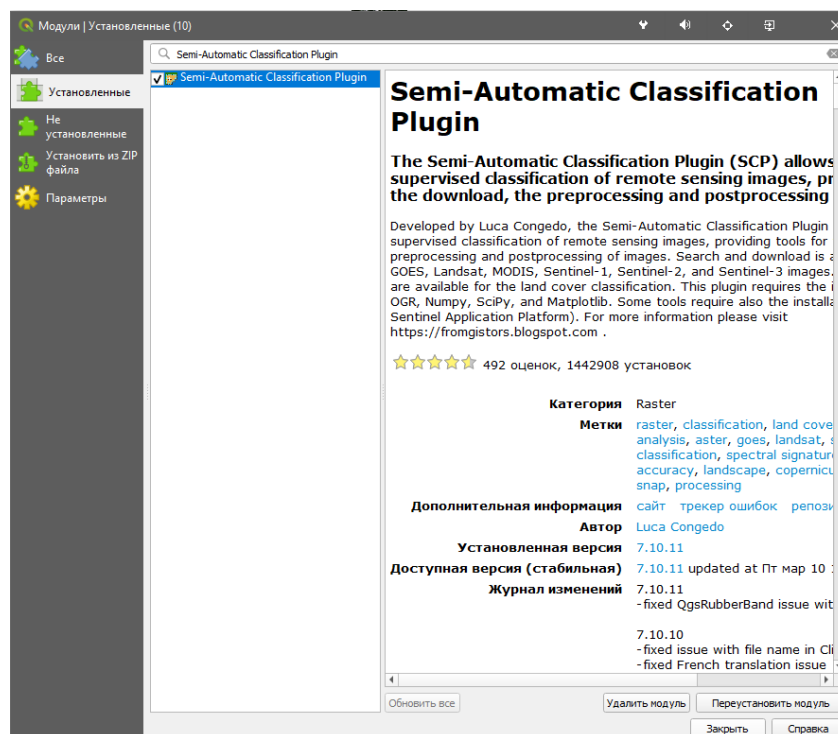


Рисунок 6 – Установленный плагин SCP

## 1.5.2 Облачная платформа Earth Map

Earth Map — это инновационный бесплатный инструмент с открытым исходным кодом [18], разработанный Продовольственной и сельскохозяйственной организацией Объединенных Наций (ФАО) в рамках партнерства ФАО и Google. Он был создан для поддержки стран, научно-исследовательских институтов, фермеров и представителей широкой общественности, имеющих доступ в Интернет, для простого, комплексного и многовременного мониторинга своих земель. Он позволяет каждому визуализировать, обрабатывать и анализировать спутниковые снимки и глобальные наборы данных по климату, растительности, пожарам, биоразнообразию, геосоциальным и другим темам.

В каталоге данных Earth Map содержится большое хранилище общедоступных наборов геопространственных данных, в том числе данные с различных аэрофотосъёмочных и спутниковых систем в микроволновом диапазоне длин волн и оптическом диапазоне, переменные окружающей среды,

прогнозы климата и погоды, в том числе ретроспективные, данные о растительном покрове, социально-экономические и топографические данные. Данные предварительно преобразованы в готовый к использованию формат, обеспечивающий эффективное управление и доступ к ним.

## **2 Описание спектральных признаков и форм объектов на многоспектральных снимках**

### **2.1 Спектральные признаки**

Участки лесной растительности, пройденные пожарами, характеризуются пониженной спектральной яркостью в ближней инфракрасной зоне (NIR). Это объясняется уменьшением содержания хлорофилла в вегетативных органах растительности. Также для гарей характерно повышение спектральной яркости в средней инфракрасной зоне (SWIR). Оно, в свою очередь, объясняется уменьшением содержания влаги в покрове. В видимой зоне спектра для гарей характерна более высокая, чем у здоровой растительности, спектральная яркость. Это также объясняется уменьшением содержания хлорофилла, которое внешне проявляется в дефолиации и дехромации листьев при пожаре. [19]

Отличительной особенностью спектрального образа лесных гарей могут быть более низкие, чем у вырубок, коэффициенты отражения в видимой и в ближней ИК зонах спектра. Это обусловлено наличием продуктов горения (золы) на поверхности почвы. Таким образом, в синтезе NIR-RED-GREEN гари будут иметь голубовато-зеленый оттенок, как и другие нарушения лесного покрова, но они будут значительно темнее вырубок. В синтезе SWIR-NIR-RED гари будут иметь темно-розовый оттенок – более темный, чем у вырубок

Наиболее распространенным способом рубок в лесной хозяйстве России являются сплошные рубки, при которых происходит полное изъятие древостоя или сохраняются отдельные деревья. Дешифрирование сплошных рубок не представляет затруднений по причине сильного контраста яркости в сравнении

с лесными массивами. В синтезе каналов NIR-RED-GREEN свежие сплошные вырубki будут иметь голубовато-зеленый оттенок, а в синтезе SWIR-NIR-RED - ярко-розовый. Это позволяет надежно отделить их от зарастающих вырубok, которые имеют ярко-зеленый цвет в синтезе каналов SWIR-NIR-RED за счет восстановления растительного покрова.

## 2.2 Вегетационные индексы

NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) – это индекс, который используется для определения плотности и здоровья растительности. Он основан на разнице между отражением красной и ближней инфракрасной областей спектра и может принимать значения от -1 до 1. Значения NDVI близкие к 1 указывают на здоровую и плотную растительность, тогда как значения близкие к -1 указывают на отсутствие растительности [20]. NDVI вычисляется по формуле (1):

$$NDVI = \frac{\rho_{nir} - \rho_{red}}{\rho_{nir} + \rho_{red}}, \quad (1)$$

где  $\rho_{red}$  – коэффициент отражения в красной спектральной зоне;

$\rho_{nir}$  – коэффициент отражения в ближней инфракрасной зоне.

NBR (Normalized Burn Ratio) – это индекс горения, используемый для определения ущерба от пожаров. Он основан на разнице между ближней и средней инфракрасной областями спектра и может принимать значения от -1 до 1. Значения NBR близкие к -1 указывают на сильное повреждение растительности в результате пожара [20]. NBR вычисляется по формуле (2):

$$NBR = \frac{\rho_{nir} - \rho_{swir2}}{\rho_{nir} + \rho_{swir2}}, \quad (2)$$

где  $\rho_{nir}$  – коэффициент отражения в ближней инфракрасной зоне;

$\rho_{swir2}$  – коэффициент отражения в средней инфракрасной зоне.

Для dNBR применяется следующая таблица значений (таблица 2):

Таблица 2 – Соответствие степени повреждения огнем растительного покрова значениям dNBR

Степень повреждения растительного покрова	dNBR
Отсутствует	Меньше 0,085
Низкая	0,084 – 0,25
Средняя	0,25 – 0,6207
Сильная	Больше 0,6207

### 2.3 Признаки формы

Гари обычно имеют сложную форму и вытянуты по направлению ветра. Однако соотношение длины и ширины редко превышает 3/1. Гари не имеют прямых углов, за исключением тех случаев, когда пожар прошел через районы активных лесозаготовок.

Важнейшим геометрическим признаком вырубок является наличие прямых углов (часто - вообще прямоугольная форма), причем это более характерно для сплошных вырубок, чем для проходных и выборочных. На участках интенсивной лесозаготовки обычно в шахматном порядке расположены свежие, зарастающие вырубки и сохранившиеся лесные участки. Это обусловлено так называемыми сроками примыкания, т.е. запретом на проведение вырубки леса, примыкающего к сплошной вырубке, в течение нескольких лет. Соблюдение сроков примыкания необходимо для сохранения почвенного покрова и обеспечения лесовосстановления [21].

В QGIS для объектов полигонального слоя можно вычислить некоторые признаки формы с помощью встроенного инструментария ГИС SAGA. На



рисунке 7 приведено рабочее окно QGIS с отображением положения этого инструмента. При выполнении операции в таблицу векторного слоя добавляются поля с характеристиками формы.

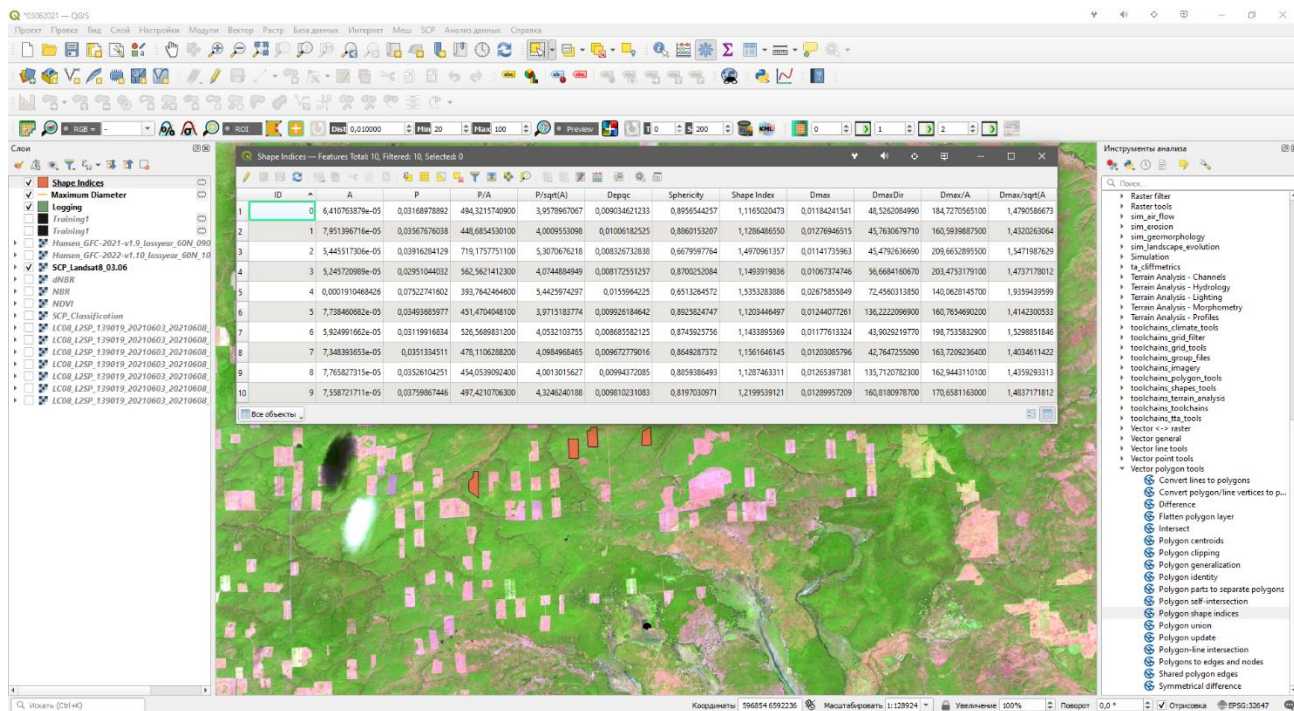


Рисунок 7 – Рабочее окно QGIS с отображением характеристик векторных объектов

Выделяются следующие признаки формы:

- A – площадь;
- P – периметр;
- P/A – признак изрезанности границ;
- P/sqrt(A) – частное периметра и квадратного корня площади;
- Degrc – эквивалентный проектируемый диаметр круга ( $2\sqrt{\frac{A}{\pi}}$ );
- Sphericity – отношение периметра эквивалентного круга к реальному периметру ( $\frac{P}{2\sqrt{A\pi}}$ );
- Shape Index – индекс формы ландшафта;

- $D_{\max}$  – максимальный диаметр, рассчитываемый как максимальное расстояние между вершинами двух частей полигона;
- $D_{\max Dir}$  – направление максимального диаметра;
- $D_{\max}/A$  – частное максимального диаметра и площади;
- $D_{\max}/\sqrt{A}$  – частное максимального диаметра и квадрата площади.

### **3 Определение спектральных и геометрических признаков гарей и вырубок**

#### **3.1 Выделение гарей и вырубок на снимках Landsat 8 OLI**

Гари и вырубки на снимках Landsat 8 можно выделить экспертно, опираясь на вид и форму гарей и вырубок в разной вариации каналов Landsat в режиме RGB, как это было показано в разделе 2. Кроме того, обосновать выбор гарей и вырубок можно по продукту MCD64A1 (спектрорадиометр MODIS).

Для обнаружения гарей был использован ресурс Earth Map, где были выбраны данные MCD64A1 в период с 2000 по 2021 год и отображены в рамках сцен выбранных для работы снимков Landsat 8 за 03.06.2021 (рисунок 8) и 28.07.2023 (рисунок 9).

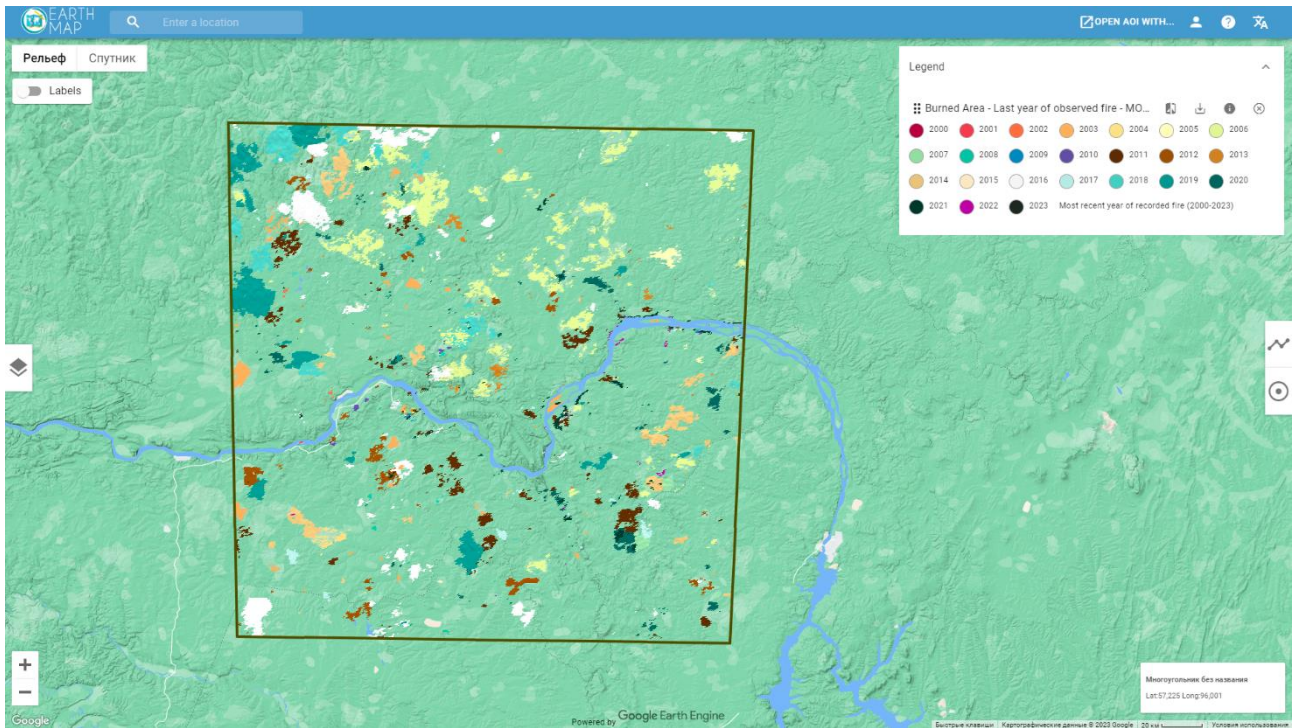


Рисунок 8 – Сцена снимка Landsat 8 за 03.06.2021 с областями гарей за разные года

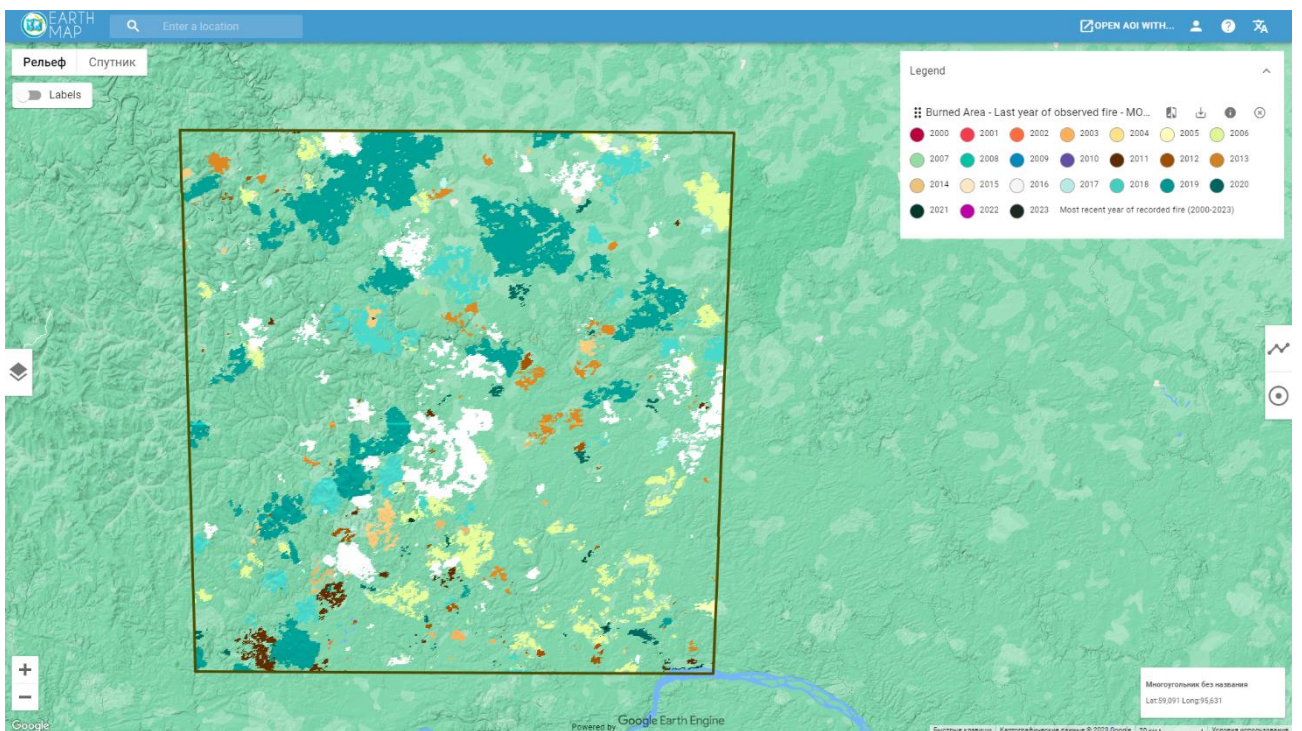


Рисунок 9 – Сцена снимка Landsat 8 за 28.07.2021 с областями гарей за разные года

Таким образом, на снимках Landsat 8 OLI обоснован выбор гарей, вырубки же определяются экспертно визуально по форме.

### 3.2 Спектральные признаки гарей и вырубок

В QGIS с помощью плагина SCP собирается мультиспектральное изображение Landsat. Для этого берутся необходимые для работы каналы снимка Landsat за 03.06.2021 (в данном случае с B2 по B7, так как каналы B1 и B9 предназначены для специфических задач исследования облаков, канал B8 – панхроматический, а не спектральный; каналы B10 и B11 – тепловые, также для специфических задач), загружаются в нужной последовательности в SCP и сохраняются как виртуальный растр (рисунок 10).

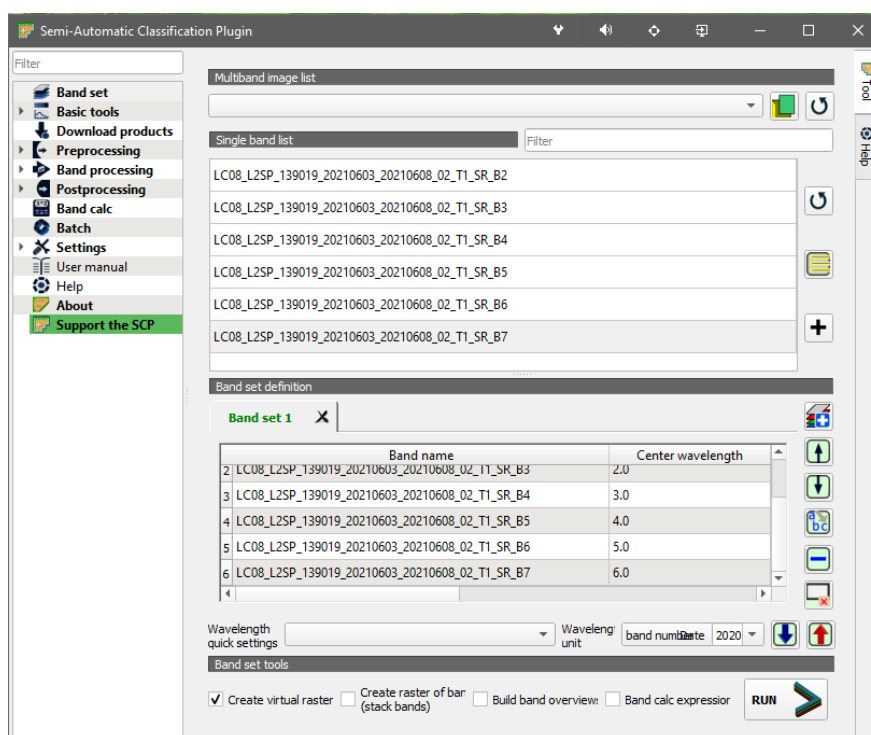


Рисунок 10 – Создание виртуального растра в плагине SCP

Далее с помощью плагина SCP задаются обучающие выборки вырубок и гарей. Для этого в плагине открывается вкладка Training input и создается файл, куда будут вписываться сигнатуры (рисунок 11).

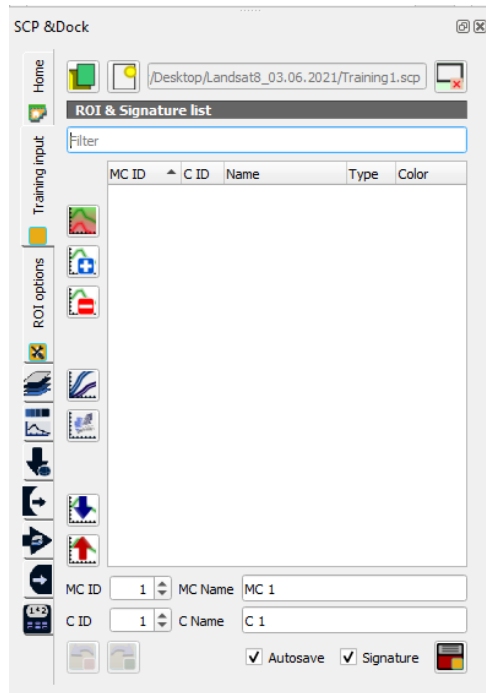


Рисунок 11 – Вкладка Training input

Для набора графических проб (ROI) доступен следующий инструмент на верхней панели QGIS, в котором можно выбрать способ выделения интересующей нас территории на снимке – полигоном или с применением полуавтоматической классификации, для которой также можно настроить дистанцию захвата пикселей и их количество (рисунок 12).

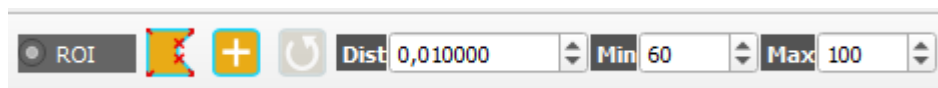


Рисунок 12 – Инструмент набора графических проб SCP

Далее выделяем гари и вырубки на снимке с помощью полуавтоматической классификации (рисунок 13).



Рисунок 13 – Выделение вырубki полуавтоматической классификацией

Были выделены следующие классы и подклассы: вырубki (Logging, 10 подклассов), гари (Burn, 10 подклассов), леса (Forest, 5 подклассов), водные объекты (Water, 5 подклассов) и облака (Cloud, 5 подклассов) (рисунок 14).

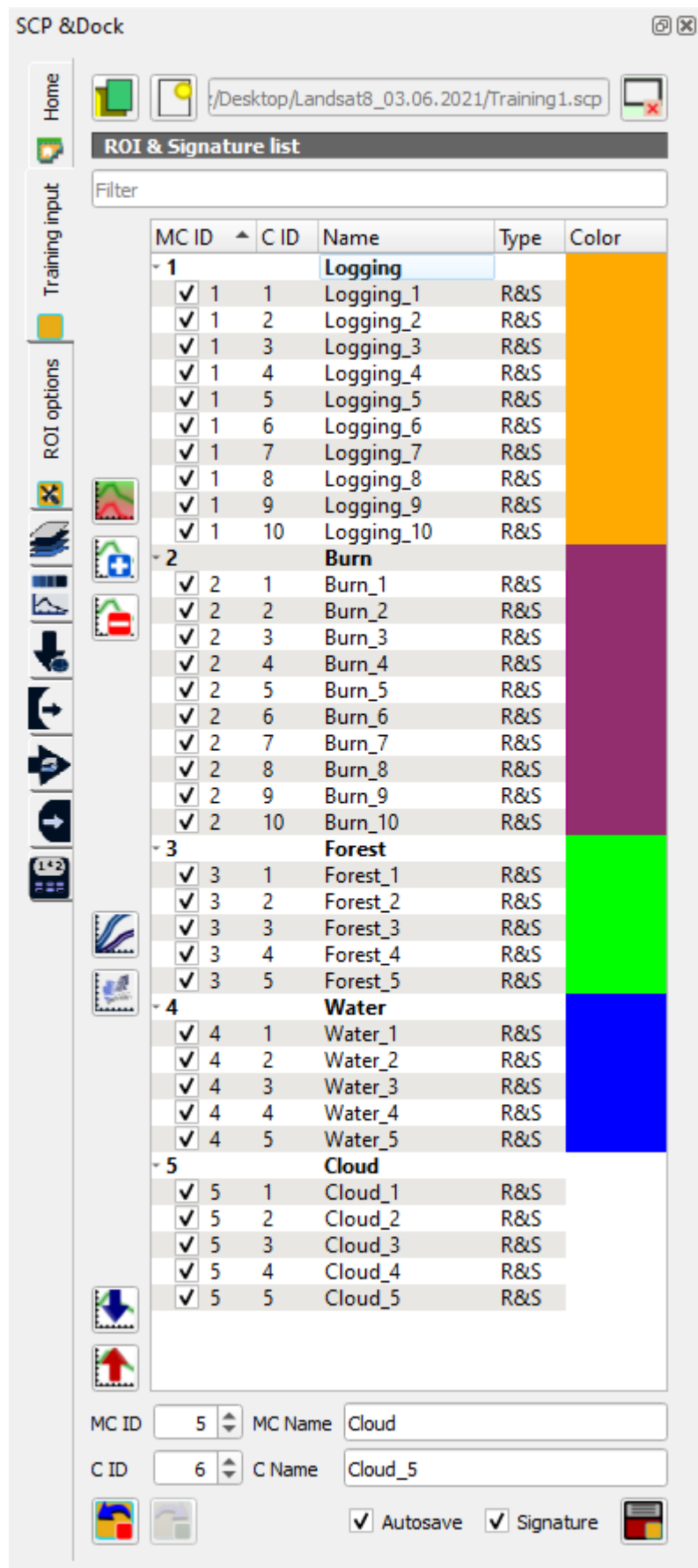


Рисунок 14 – Классы и подклассы, выделенные в процессе классификации

После окончания создания обучающих выборок необходимо открыть вкладку классификации в SCP, выбрать набор данных, ID по которому будут разделяться объекты классификации и способ разделения на классы (рисунок 15).

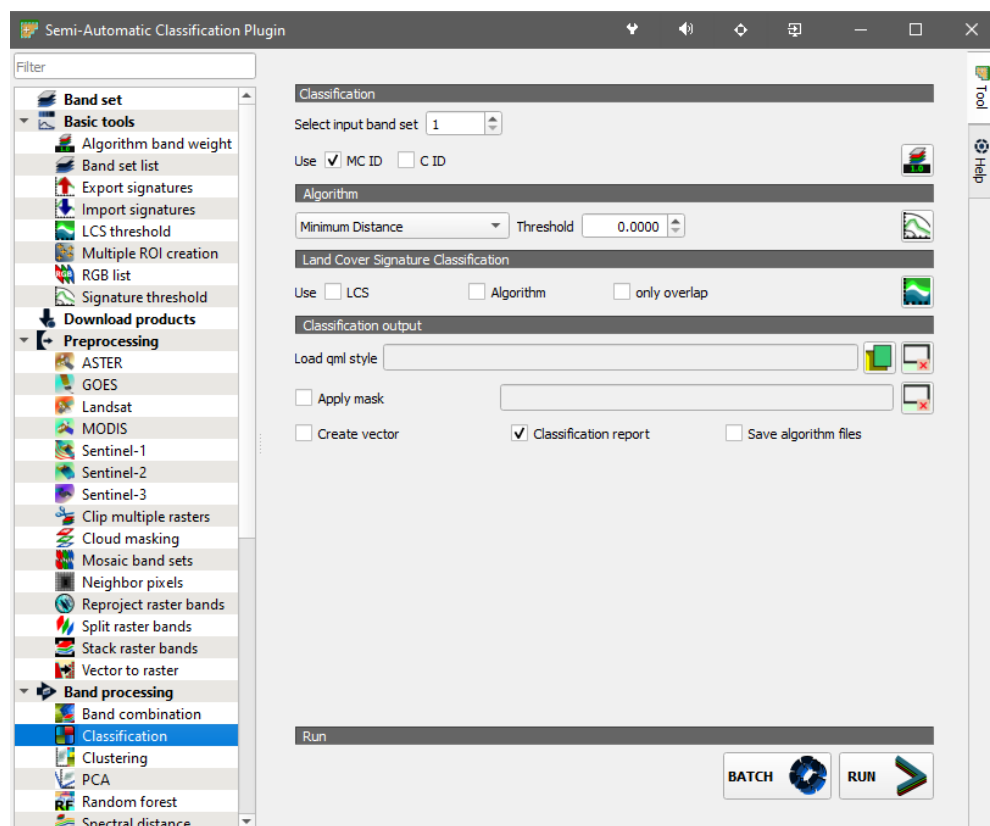


Рисунок 15 – Вкладка классификации в SCP

В результате проведения классификации получен следующий результат (рисунки 16 и 17):



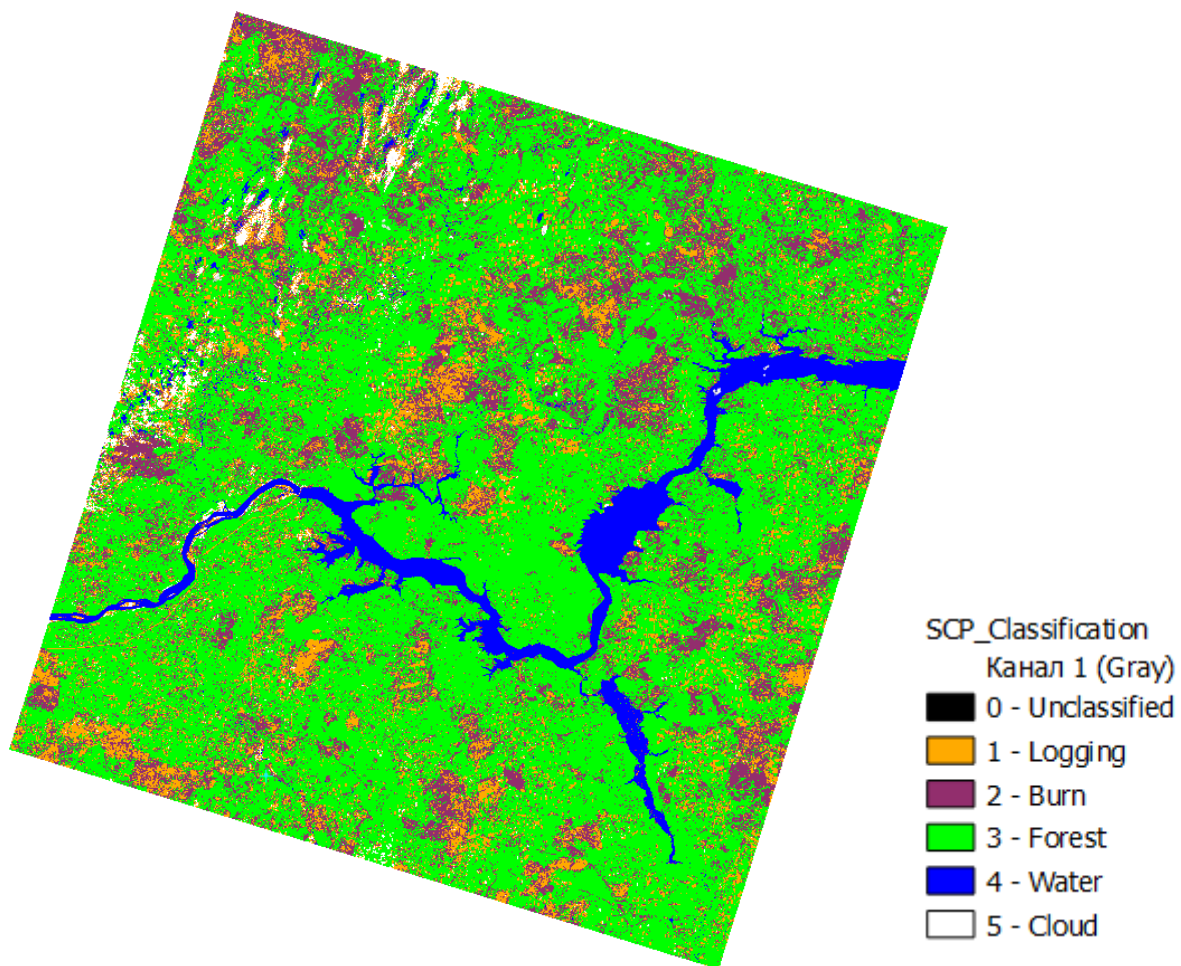


Рисунок 16 – Снимок Landsat 8 за 03.06.2021 с проведённой классификацией



Рисунок 17 – Локальный участок снимка Landsat 8 за 03.06.2021 без классификации (каналы SWIR-NIR-RED) и с классификацией

Ниже приведены статистические характеристики сигнатур вырубок (рисунок 18) и гарей (рисунок 19).

S	MC ID	MC Name	C ID	C Name	verlap MC	Min B1	Max B1	Min B2	Max B2	Min B3	Max B3	Min B4	Max B4	Min B5	Max B5	Min B6	Max B6
1	✓ 1	Logging	1	Logging_1	2-5	8834.0	9168.0	9518.0	10191.0	9875.0	10971.0	12806.0	15598.0	15659.0	17873.0	13023.0	15000.0
2	✓ 1	Logging	2	Logging_2	2-4,2-5,2	8710.0	9167.0	9286.0	9990.0	9516.0	10617.0	12834.0	14258.0	13798.0	17089.0	11840.0	14058.0
3	✓ 1	Logging	3	Logging_3		9061.0	9462.0	9705.0	10229.0	10367.0	11030.0	13651.0	16108.0	16970.0	18955.0	13524.0	15907.0
4	✓ 1	Logging	4	Logging_4		9058.0	9323.0	9825.0	10344.0	10355.0	10929.0	13730.0	16061.0	17444.0	19624.0	13986.0	15967.0
5	✓ 1	Logging	5	Logging_5		9087.0	9301.0	9664.0	9929.0	10059.0	10405.0	12669.0	13416.0	15761.0	16850.0	13059.0	14272.0
6	✓ 1	Logging	6	Logging_6		9076.0	9297.0	9564.0	9987.0	9934.0	10494.0	12373.0	13909.0	15728.0	17316.0	13310.0	14341.0
7	✓ 1	Logging	7	Logging_7		9128.0	9491.0	9630.0	10114.0	10009.0	10635.0	12274.0	14098.0	14990.0	17079.0	12674.0	14125.0
8	✓ 1	Logging	8	Logging_8		9259.0	9417.0	9799.0	10117.0	10286.0	10640.0	13069.0	14181.0	16311.0	17118.0	13219.0	14257.0
9	✓ 1	Logging	9	Logging_9		8714.0	8786.0	9297.0	9545.0	9595.0	9965.0	13423.0	14467.0	15650.0	17713.0	12942.0	14582.0
10	✓ 1	Logging	10	Logging_10		9267.0	9493.0	9953.0	10227.0	10621.0	11188.0	13748.0	14362.0	17123.0	18338.0	14130.0	14997.0

Рисунок 18 – Характеристики сигнатур вырубок

S	MC ID	MC Name	C ID	C Name	verlap MC	Min B1	Max B1	Min B2	Max B2	Min B3	Max B3	Min B4	Max B4	Min B5	Max B5	Min B6	Max B6
11	✓ 2	Burn	1	Burn_1		8540.0	8650.0	8811.0	9198.0	9060.0	9556.0	10508.0	13033.0	13020.0	15229.0	11140.0	12929.0
12	✓ 2	Burn	2	Burn_2		8412.0	8680.0	8670.0	9334.0	8907.0	9754.0	10304.0	13481.0	11929.0	14850.0	10640.0	13524.0
13	✓ 2	Burn	3	Burn_3		8526.0	8680.0	8820.0	9193.0	9067.0	9478.0	10693.0	13550.0	13509.0	15363.0	11442.0	13462.0
14	✓ 2	Burn	4	Burn_4	1-2	8792.0	8991.0	9225.0	9523.0	9470.0	9849.0	12242.0	13744.0	14733.0	15867.0	12465.0	13534.0
15	✓ 2	Burn	5	Burn_5	1-1,1-2	8832.0	9014.0	9158.0	9631.0	9499.0	10093.0	11622.0	13355.0	14810.0	15819.0	12665.0	13697.0
16	✓ 2	Burn	6	Burn_6	1-2	8782.0	9057.0	9192.0	9599.0	9444.0	9984.0	11681.0	12954.0	14357.0	15493.0	12008.0	13316.0
17	✓ 2	Burn	7	Burn_7		8112.0	8172.0	8169.0	8387.0	8219.0	8702.0	8676.0	9652.0	10406.0	11518.0	10475.0	12029.0
18	✓ 2	Burn	8	Burn_8		8100.0	8165.0	8190.0	8338.0	8234.0	8561.0	8742.0	9446.0	10446.0	11697.0	10509.0	12064.0
19	✓ 2	Burn	9	Burn_9		8806.0	8874.0	8959.0	9173.0	9117.0	9384.0	10273.0	11538.0	12659.0	13829.0	11987.0	12828.0
20	✓ 2	Burn	10	Burn_10	1-2	8805.0	8896.0	9029.0	10085.0	9266.0	9893.0	10784.0	12960.0	12869.0	14246.0	11529.0	12830.0

Рисунок 19 – Характеристики сигнатур гарей

Для сигнатур гарей и вырубок с помощью данных Hansen и MODIS64A1 был установлен год их выявления для снимка Landsat 8 за 03.06.2021 (таблица 3) и снимка Landsat 8 за 28.07.2021 (таблица 4).

Таблица 3 – Привязка сигнатур гарей и вырубок снимка Landsat 8 за 03.06.2021 ко времени

Сигнатура	Год	Сигнатура	Год
<b>вырубки</b>		<b>гари</b>	
Logging_1	2018	Burn_1	2018
Logging_2	2018	Burn_2	2018
Logging_3	2012	Burn_3	2017
Logging_4	2013	Burn_4	2011
Logging_5	2019	Burn_5	2015
Logging_6	2019	Burn_6	2013
Logging_7	2019	Burn_7	2020
Logging_8	2019	Burn_8	2020
Logging_9	2010	Burn_9	2019
Logging_10	2019	Burn_10	2019

Таблица 4 – Привязка сигнатур гарей и вырубок снимка Landsat 8 за 28.07.2021 ко времени

Сигнатура	Год	Сигнатура	Год
вырубки		гары	
Logging_1	2018	Burn_1	2020
Logging_2	2018	Burn_2	2016
Logging_3	2018	Burn_3	2014
Logging_4	2018	Burn_4	2013
Logging_5	2017	Burn_5	2013
Logging_6	2017	Burn_6	2013
Logging_7	2020	Burn_7	2016
Logging_8	2020	Burn_8	2016
Logging_9	2019	Burn_9	2019
Logging_10	2019	Burn_10	2019

Также были получены значения среднего и дисперсии для вырубок (рисунок 20) и гарей (рисунок 21) снимка Landsat 8 за 03.06.2021 и для вырубок (рисунок 22) и гарей (рисунок 23) снимка Landsat 8 за 28.07.2021.

MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 1 C_name = Logging_1 ROI_size = 3 pixels						
Wavelength [band number]	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0
Values	9012.464	9740.443	10308.165	13733.907	16615.094	13819.093
Standard deviation	88.67711	119.17275	200.81677	427.88663	422.24362	390.9194

MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 2 C_name = Logging_2 ROI_size = 7 pixels						
Wavelength [band number]	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0
Values	8987.022	9661.863	10150.772	13501.478	15966.875	13267.762
Standard deviation	125.57839	160.06122	256.09442	287.31662	623.1665	473.23456

MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 3 C_name = Logging_3 ROI_size = 2 pixels						
Wavelength [band number]	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0
Values	9220.833	9965.316	10657.134	14442.884	18194.334	15117.616
Standard deviation	113.00372	127.44025	168.02663	475.17255	419.59686	483.5442

MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 4 C_name = Logging_4 ROI_size = 10 pixels						
Wavelength [band number]	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0
Values	9197.712	10109.945	10666.698	15345.548	18621.63	15086.315
Standard deviation	72.37166	122.47459	136.0635	519.7141	434.2995	342.2338

MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 5 C_name = Logging_5 ROI_size = 1 pixels						
Wavelength [band number]	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0
Values	9189.467	9769.267	10229.5	13068.217	16365.616	13683.717
Standard deviation	52.97656	60.72063	81.28643	204.88615	241.52122	216.46564

MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 6 C_name = Logging_6 ROI_size = 7 pixels						
Wavelength [band number]	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0
Values	9197.146	9803.378	10276.915	13206.536	16507.256	13828.927
Standard deviation	61.62576	84.60477	115.60722	365.58588	311.87637	237.7374

MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 7 C_name = Logging_7 ROI_size = 7 pixels						
Wavelength [band number]	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0
Values	9299.1	9874.267	10367.316	13279.316	16419.467	13675.967
Standard deviation	98.05861	111.93985	158.49684	403.32938	420.0619	279.618

MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 8 C_name = Logging_8 ROI_size = 6 pixels						
Wavelength [band number]	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0
Values	9342.887	9967.322	10488.387	13506.387	16767.549	13848.903
Standard deviation	48.39592	62.95615	78.7678	294.2298	198.05219	210.8836

MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 9 C_name = Logging_9 ROI_size = 10 pixels						
Wavelength [band number]	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0
Values	8751.562	9421.4795	9811.123	14091.178	16634.287	13569.356
Standard deviation	21.33489	48.18716	71.3062	226.83133	392.3149	314.3654

MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 10 C_name = Logging_10 ROI_size = 19 pixels						
Wavelength [band number]	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0
Values	9390.233	10087.55	10851.717	14141.95	17901.268	14665.2
Standard deviation	62.98528	64.68266	112.56659	144.58751	233.96516	194.46873

Рисунок 20 – Значения среднего и дисперсии для вырубок снимка Landsat 8 за

03.06.2021

<b>MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 1 C_name = Burn_1 ROI_size = 34 pixels</b>						
<b>Wavelength [band number]</b>	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0
<b>Values</b>	8589.421	8964.651	9311.512	11377.554	14016.836	12236.027
<b>Standard deviation</b>	29.29344	65.17909	86.09363	372.11386	250.29797	269.89035

<b>MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 2 C_name = Burn_2 ROI_size = 58 pixels</b>						
<b>Wavelength [band number]</b>	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0
<b>Values</b>	8506.824	8943.489	9209.844	11651.664	13592.837	11800.783
<b>Standard deviation</b>	67.09903	127.24663	137.04543	695.6691	433.6514	433.88312

<b>MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 3 C_name = Burn_3 ROI_size = 8 pixels</b>						
<b>Wavelength [band number]</b>	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0
<b>Values</b>	8606.645	8998.114	9265.349	11828.839	14255.624	12243.872
<b>Standard deviation</b>	40.76748	78.72606	77.44268	626.6887	387.67477	449.79428

<b>MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 4 C_name = Burn_4 ROI_size = 2 pixels</b>						
<b>Wavelength [band number]</b>	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0
<b>Values</b>	8880.971	9406.559	9645.309	13010.177	15400.779	13191.059
<b>Standard deviation</b>	50.78558	70.07085	77.61808	319.2734	206.88336	228.28961

<b>MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 5 C_name = Burn_5 ROI_size = 15 pixels</b>						
<b>Wavelength [band number]</b>	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0
<b>Values</b>	8906.861	9356.154	9703.431	12104.815	15270.831	13230.169
<b>Standard deviation</b>	45.86398	93.5201	112.00028	371.25467	206.5731	225.14403

<b>MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 6 C_name = Burn_6 ROI_size = 4 pixels</b>						
<b>Wavelength [band number]</b>	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0
<b>Values</b>	8893.717	9390.533	9665.583	12359.333	14994.733	12759.583
<b>Standard deviation</b>	82.35595	99.89635	134.91841	245.07425	281.2276	278.94083

<b>MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 7 C_name = Burn_7 ROI_size = 19 pixels</b>						
<b>Wavelength [band number]</b>	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0
<b>Values</b>	8141.403	8249.051	8317.733	8897.863	10825.885	11376.41
<b>Standard deviation</b>	16.82056	32.82926	68.70106	142.217	197.66304	300.27573

<b>MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 8 C_name = Burn_8 ROI_size = 13 pixels</b>						
<b>Wavelength [band number]</b>	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0
<b>Values</b>	8145.3076	8250.385	8321.066	8914.044	11028.571	11578.3955
<b>Standard deviation</b>	15.11545	26.12976	52.30401	115.03443	220.24152	326.03317

<b>MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 9 C_name = Burn_9 ROI_size = 15 pixels</b>						
<b>Wavelength [band number]</b>	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0
<b>Values</b>	8842.149	9072.269	9270.619	10836.978	13315.985	12361.597
<b>Standard deviation</b>	17.9533	35.01155	53.90273	224.01111	212.12953	161.36424

<b>MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 10 C_name = Burn_10 ROI_size = 3 pixels</b>						
<b>Wavelength [band number]</b>	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0
<b>Values</b>	8852.058	9207.714	9428.543	11353.657	13599.657	12190.286
<b>Standard deviation</b>	27.15715	145.2407	99.66669	423.1704	230.7287	251.3101

Рисунок 21 – Значения среднего и дисперсии для гарей снимка Landsat 8 за  
03.06.2021

	MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 2 C_name = Logging_1 ROI_size = 7 pixels					
Wavelength [band number]	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0
Values	9055.236	9745.417	9491.723	15713.042	15379.75	12020.027
Standard deviation	54.06464	103.88224	253.97125	600.9096	297.76273	419.49152

	MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 3 C_name = Logging_2 ROI_size = 16 pixels					
Wavelength [band number]	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0
Values	9035.504	9782.816	9366.068	16423.877	15350.222	11836.832
Standard deviation	71.06189	97.57579	185.37498	648.35315	519.4387	390.3959

	MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 4 C_name = Logging_3 ROI_size = 11 pixels					
Wavelength [band number]	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0
Values	9237.974	9866.461	9604.145	15802.368	15682.592	12420.685
Standard deviation	64.39863	94.33304	184.17789	577.9475	244.41907	311.37082

	MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 5 C_name = Logging_4 ROI_size = 21 pixels					
Wavelength [band number]	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0
Values	9076.252	9775.442	9429.681	16073.932	15386.293	11998.653
Standard deviation	62.85323	89.9427	223.77504	624.1717	267.92654	392.87863

	MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 6 C_name = Logging_5 ROI_size = 6 pixels					
Wavelength [band number]	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0
Values	9133.803	9741.1045	9361.651	15676.325	15143.175	11881.116
Standard deviation	65.5135	61.73895	129.85625	416.0623	265.81488	302.42776

	MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 7 C_name = Logging_6 ROI_size = 7 pixels					
Wavelength [band number]	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0
Values	8502.65	9406.733	8907.2	16359.0	13967.65	10813.05
Standard deviation	63.80199	72.75596	133.84055	443.17023	416.36322	318.56415

	MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 8 C_name = Logging_7 ROI_size = 21 pixels					
Wavelength [band number]	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0
Values	9174.288	9909.424	9838.792	15878.68	16344.776	12557.112
Standard deviation	141.48146	125.17305	239.9779	370.71347	568.47284	494.9371

	MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 9 C_name = Logging_8 ROI_size = 12 pixels					
Wavelength [band number]	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0
Values	8934.707	9805.183	9690.256	16304.988	15936.402	12130.342
Standard deviation	83.66141	87.05102	171.57823	585.4524	450.86145	251.40756

	MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 10 C_name = Logging_9 ROI_size = 22 pixels					
Wavelength [band number]	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0
Values	8784.825	9689.4	9358.112	16980.375	15392.713	11655.963
Standard deviation	76.69115	88.97628	126.09396	690.3333	334.39798	279.5182

	MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 11 C_name = Logging_10 ROI_size = 2 pixels					
Wavelength [band number]	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0
Values	9089.571	9932.843	9763.328	16677.3	16182.229	12513.0
Standard deviation	93.18516	156.51012	244.17668	516.6594	485.71875	489.1772

Рисунок 22 – Значения среднего и дисперсии для вырубок снимка Landsat 8 за 28.07.2021

MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 2 C_name = Burn_1 ROI_size = 4 pixels						
Wavelength [band number]	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0
Values	9046.184	9253.7	9195.25	12305.15	14078.033	12234.917
Standard deviation	16.38647	26.31052	61.45015	152.18024	183.09415	134.33766

MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 3 C_name = Burn_2 ROI_size = 1 pixels						
Wavelength [band number]	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0
Values	8864.8	9355.547	8877.693	14389.054	13748.667	11024.24
Standard deviation	25.40498	56.21845	51.63564	278.52246	256.33194	142.45232

MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 4 C_name = Burn_3 ROI_size = 3 pixels						
Wavelength [band number]	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0
Values	8475.628	9116.512	8558.721	14305.744	12868.687	10317.023
Standard deviation	66.30077	105.36082	80.84563	852.0731	429.73135	233.63806

MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 5 C_name = Burn_4 ROI_size = 1 pixels						
Wavelength [band number]	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0
Values	8747.333	9286.884	8801.083	14533.8	13740.566	10937.934
Standard deviation	69.16325	77.80962	92.14922	731.3229	348.399	279.17825

MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 6 C_name = Burn_5 ROI_size = 24 pixels						
Wavelength [band number]	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0
Values	8774.406	9356.253	8724.418	14910.11	13476.209	10755.3955
Standard deviation	29.14269	62.60562	55.27257	431.74316	247.37836	133.77666

MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 7 C_name = Burn_6 ROI_size = 21 pixels						
Wavelength [band number]	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0
Values	8752.191	9353.329	8760.452	15058.548	13458.452	10728.685
Standard deviation	103.66591	162.1235	191.6379	1102.9564	597.8702	396.79538

MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 8 C_name = Burn_7 ROI_size = 1 pixels						
Wavelength [band number]	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0
Values	8920.2	9392.938	8910.692	14122.77	13716.062	11078.907
Standard deviation	31.35857	50.4789	62.82575	327.45377	221.60774	133.04155

MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 9 C_name = Burn_8 ROI_size = 3 pixels						
Wavelength [band number]	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0
Values	8764.842	9335.366	8787.146	14825.085	13622.244	10797.402
Standard deviation	53.40857	78.98032	109.57691	1028.0571	278.23526	269.1397

MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 10 C_name = Burn_9 ROI_size = 8 pixels						
Wavelength [band number]	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0
Values	8912.418	9320.985	8904.448	13590.91	13099.642	11028.955
Standard deviation	20.60658	79.71207	53.9456	1135.5883	331.53278	163.16501

MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 11 C_name = Burn_10 ROI_size = 15 pixels						
Wavelength [band number]	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0
Values	8928.85	9276.781	8877.589	13059.918	12903.219	11029.4795
Standard deviation	30.17741	63.53971	58.74576	652.28253	276.58026	199.898

Рисунок 23 – Значения среднего и дисперсии для гарей снимка Landsat 8 за 28.07.2021

Для определения делимости обучающих выборок имеются четыре характеристики:

- расстояние Джеффриса-Матусита;
- значение спектрального угла в радианах;
- евклидово расстояние;
- сходство Брея-Куртиса.

Расстояние Джеффриса-Матусита (Jeffries-Matusita, JM) представляется формулой (3):

$$J_{ij} = \int_x \{ \sqrt{p(x|\omega_i)} - \sqrt{p(x|\omega_j)} \}^2 dx, \quad (3)$$

где  $p(x|\omega_i)$  и  $p(x|\omega_j)$  – условные вероятности появления пикселя  $x$  соответственно в классах  $\omega_i$  и  $\omega_j$ , определяются из обучающих выборок.

Для нормально распределенных классов формула приобретает вид (4):

$$J_{ij} = 2(1 - e^B), \quad (4)$$

$$\text{где } B = \frac{1}{8} (m_i - m_j)^t \left\{ \frac{\Sigma_i + \Sigma_j}{2} \right\}^{-1} (m_i - m_j) + \frac{1}{2} \ln \left\{ \frac{|\Sigma_i + \Sigma_j|}{|\Sigma_i|^{\frac{1}{2}} |\Sigma_j|^{\frac{1}{2}}} \right\}, \quad (5)$$

где  $B$  – расстояние Бхатгачари;

$\Sigma_i, \Sigma_j$  – ковариационные матрицы обучающих выборок для классов  $\omega_i$  и  $\omega_j$ ;

$|\Sigma_i|, |\Sigma_j|$  – детерминанты соответствующих, ковариационных матриц;

степень -1 – обратная матрица;

$t$  – транспонирование.

Также используют формулу вида (6):



$$J_{ij} = \sqrt{2(1 - e^B)} \quad (6)$$

Разделимость изменяется от 0 до  $\sqrt{2}$  и показывает, как попарно статистически разделяются обучающие выборки. Считается, что значения больше, чем 1.3 соответствуют хорошей разделимости. Для пар с низкой разделимостью нужно предпринять меры к улучшению разделимости путем их редактирования или выделения новых обучающих выборок.

Из расстояния JM невозможно вычислить вероятность ошибки классификатора, но можно вычислить ее верхнюю и нижнюю границы по следующей формуле (7):

$$\frac{1}{16} (2 - JM_{ij}^2)^2 \leq P_e \leq 1 - \frac{1}{2} \left(1 + \frac{1}{2} JM_{ij}^2\right), \quad (7)$$

где  $i, j$  – номера сравниваемых сигнатур;

$JM_{ij}$  – расстояние JM между  $i$  и  $j$  сигнатурами;

$P_e$  – ошибка классификатора или вероятность того, что пиксель, отнесенный к классу  $j$ , на самом деле принадлежит классу  $i$ .

Евклидово расстояние вычисляется по формуле (8):

$$d(x, y) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}, \quad (8)$$

где  $x, y$  – точки в  $n$ -мерном пространстве.

Стоит заметить, что параметр Евклидово расстояние не используется в силу ненормированности его значений и трудности интерпретации разделимости.

Признак подобия, сходства Брея-Куртиса (Bray-Curtis similarity) – это статистика, используемая для оценки связей между двумя образцами. Она также используется и для оценки разделимости обучающих выборок и вычисляется по формуле:

$$S(x, y) = 100 - \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - y_i|}{\sum_{i=1}^n x_i + \sum_{i=1}^n y_i} \times 100, \quad (9)$$

где  $x, y$  – точки в  $n$ -мерном пространстве.

Сходство Брея-Куртиса вычисляется в процентах и имеет значения в диапазоне от 0% (полное различие) до 100% (идентичность) [22].

Характеристики разделимости сигнатур для снимка Landsat 8 за 03.06.2021 приведены в приложении А, для снимка Landsat 8 за 28.07.2021 приведены в приложении В.

Наконец, получены графики спектральных кривых снимка Landsat 8 за 03.06.2021 (рисунок 24) и снимка Landsat 8 за 28.07.2021 (рисунок 25):

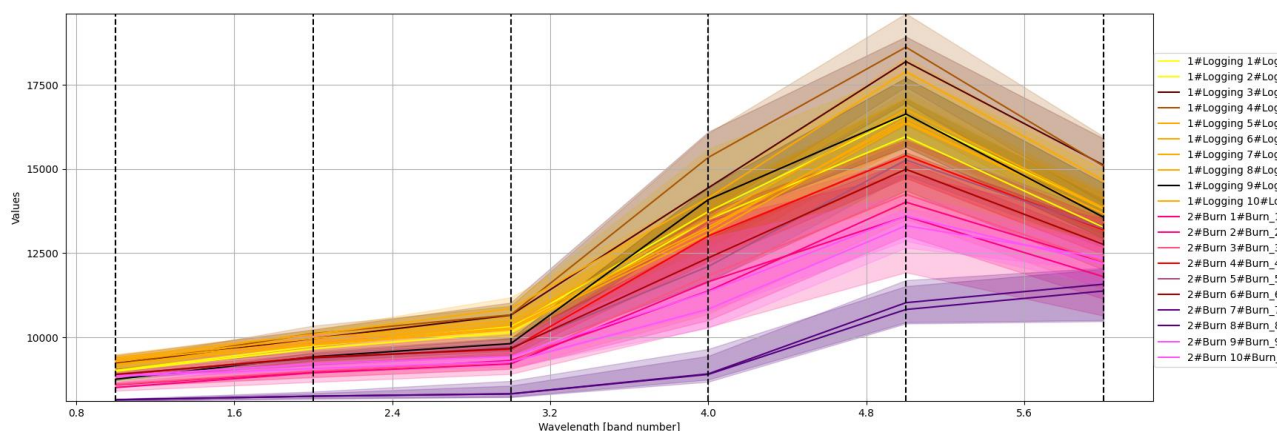


Рисунок 24 – Графики спектральных кривых вырубок и гарей на снимке Landsat 8 за 03.06.2021

Таблицы характеристик разделимости сигнатур представлены в приложении А.

Проанализировав полученные данные, можно говорить о том, что чем раньше год вырубки или гари, тем выше значение отражения в 4 и 5 каналах, а также о разделимости гарей и вырубок с удовлетворительной точностью.

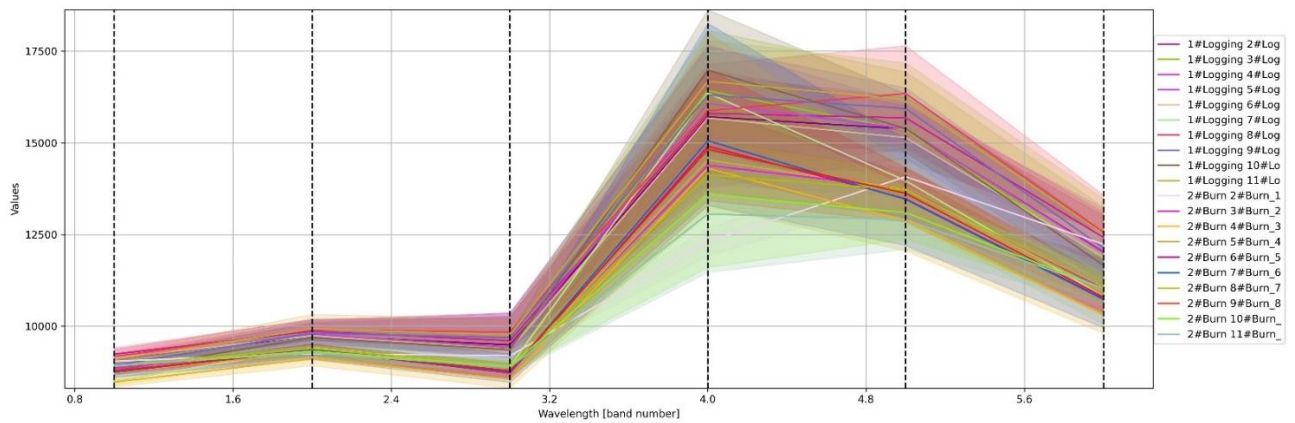


Рисунок 25 – Графики спектральных кривых вырубок и гарей на снимке Landsat 8 за 28.07.2021

Затем с помощью встроенной функции «Калькулятор растров» были построены вегетационные индексы NDVI (рисунок 26) и NBR (рисунок 27).

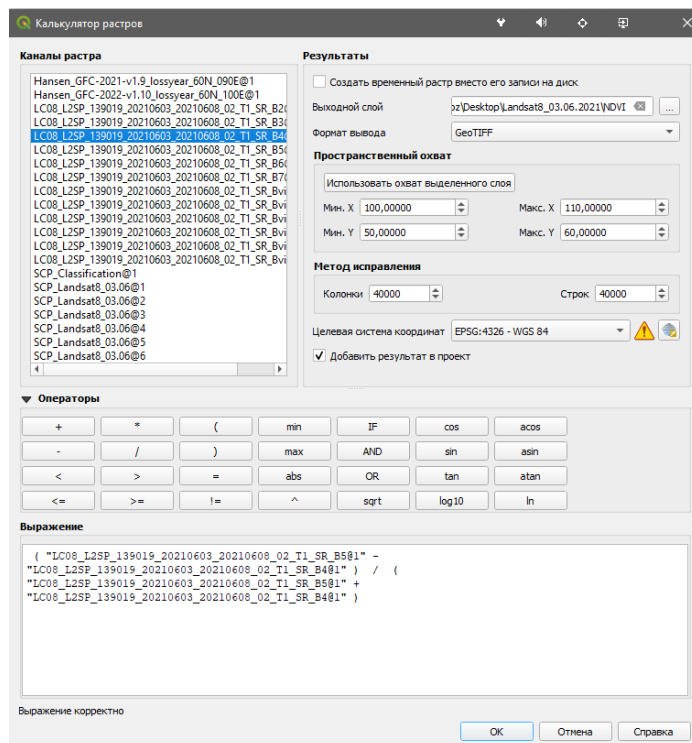


Рисунок 26 – Расчёт индекса NDVI в калькуляторе растров

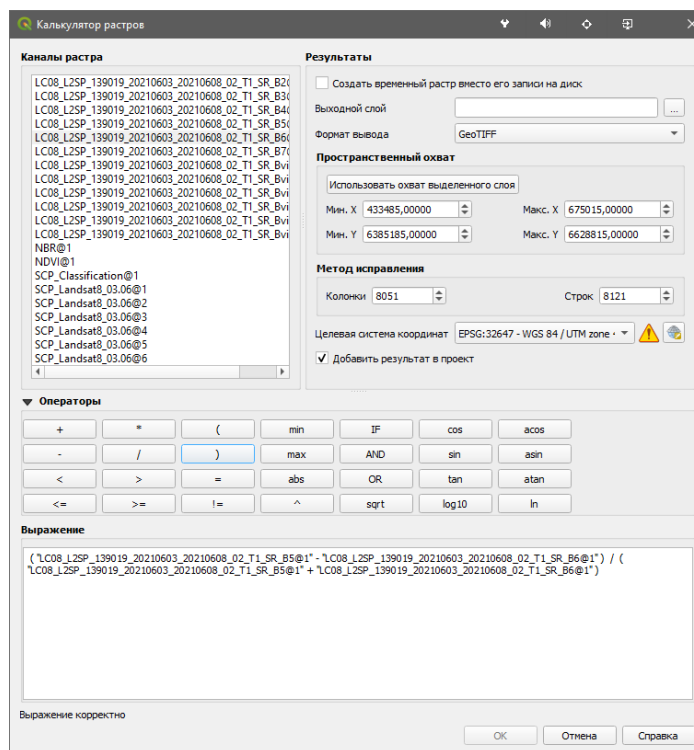


Рисунок 27 – Расчёт индекса NBR в калькуляторе растров

Для расчёта dNBR была получена разность NBR снимков Landsat 7 за 08.07.2001 и Landsat 8 за 03.06.2021, а также снимков Landsat 7 за 15.09.2021 и Landsat 8 за 28.07.2021.

Полученные индексы имеют следующие статистические характеристики на вырубках разных лет и на гарях на снимке Landsat 8 за 03.06.2021 (таблица 5) и на снимке Landsat 8 за 28.07.2021 (таблица 6):

Таблица 5 – Сигнатуры и их значения индексов NDVI и NBR на снимке Landsat 8 за 03.06.2021

Сигнатура	Год	NDVI	dNBR	Сигнатура	Год	NDVI	dNBR
<b>вырубки</b>				<b>гари</b>			
Logging_1	2018	0,125808	0,126647	Burn_1	2018	0,08309	0,158869
Logging_2	2018	0,123541	0,100079	Burn_2	2018	0,102712	0,168594
Logging_3	2012	0,1448435	0,148774	Burn_3	2017	0,106279	0,201156
Logging_4	2013	0,151255	0,136373	Burn_4	2011	0,125138	0,187957
Logging_5	2019	0,182416	0,112888	Burn_5	2015	0,105167	0,171641

## Окончание таблицы 5

Сигнатура	Год	NDVI	dNBR	Сигнатура	Год	NDVI	dNBR
<b>вырубки</b>				<b>гари</b>			
Logging_6	2019	0,108684	0,167138	Burn_6	2013	0,122243	0,147528
Logging_7	2019	0,130674	0,113237	Burn_7	2020	0,0288631	0,218806
Logging_8	2019	0,11719	0,117889	Burn_8	2020	0,0403368	0,257923
Logging_9	2010	0,173288	0,121312	Burn_9	2019	0,0533709	0,198075
Logging_10	2019	0,118083	0,130842	Burn_10	2019	0,0892694	0,1708

Таблица 6 – Сигнатуры и их значения индексов NDVI и NBR на снимке Landsat 8 за 28.07.2021

Сигнатура	Год	NDVI	dNBR	Сигнатура	Год	NDVI	dNBR
<b>вырубки</b>				<b>гари</b>			
Logging_1	2018	0,210691	-0,0143256	Burn_1	2020	0,151312	-0,0923999
Logging_2	2018	0,267253	-0,0454426	Burn_2	2016	0,246687	-0,0543065
Logging_3	2018	0,238214	-0,0198549	Burn_3	2014	0,255945	-0,0946531
Logging_4	2018	0,300468	-0,10885	Burn_4	2013	0,296295	-0,111641
Logging_5	2017	0,272333	-0,0706288	Burn_5	2013	0,273456	-0,0961562
Logging_6	2017	0,278974	-0,0729132	Burn_6	2013	0,24517	-0,0548068
Logging_7	2020	0,258241	-0,0672398	Burn_7	2016	0,238688	-0,0358725
Logging_8	2020	0,256822	-0,0551203	Burn_8	2016	0,294676	-0,110381
Logging_9	2019	0,303716	-0,0564122	Burn_9	2019	0,184371	-0,0900497
Logging_10	2019	0,275955	-0,0672201	Burn_10	2019	0,247842	-0,0427237

Проанализировав полученные результаты, можно сделать вывод, что у вырубок и гарей одного и того же года хорошая делимость по значениям расстояния Джеффриса-Матусита, что говорит о том, что гари и вырубки одного года отличаются друг от друга по спектральным признакам. Вегетационные индексы NDVI и NBR для отделения гарей от вырубок невозможно использовать в виду отсутствия закономерности результатов.

### 3.3 Признаки формы гарей и вырубок

Для получения признаков формы были созданы два векторных слоя для каждого из снимков, для вырубок (рисунок 28) и для гарей (рисунок 29), в каждом слое было оцифровано по 10 полигонов.

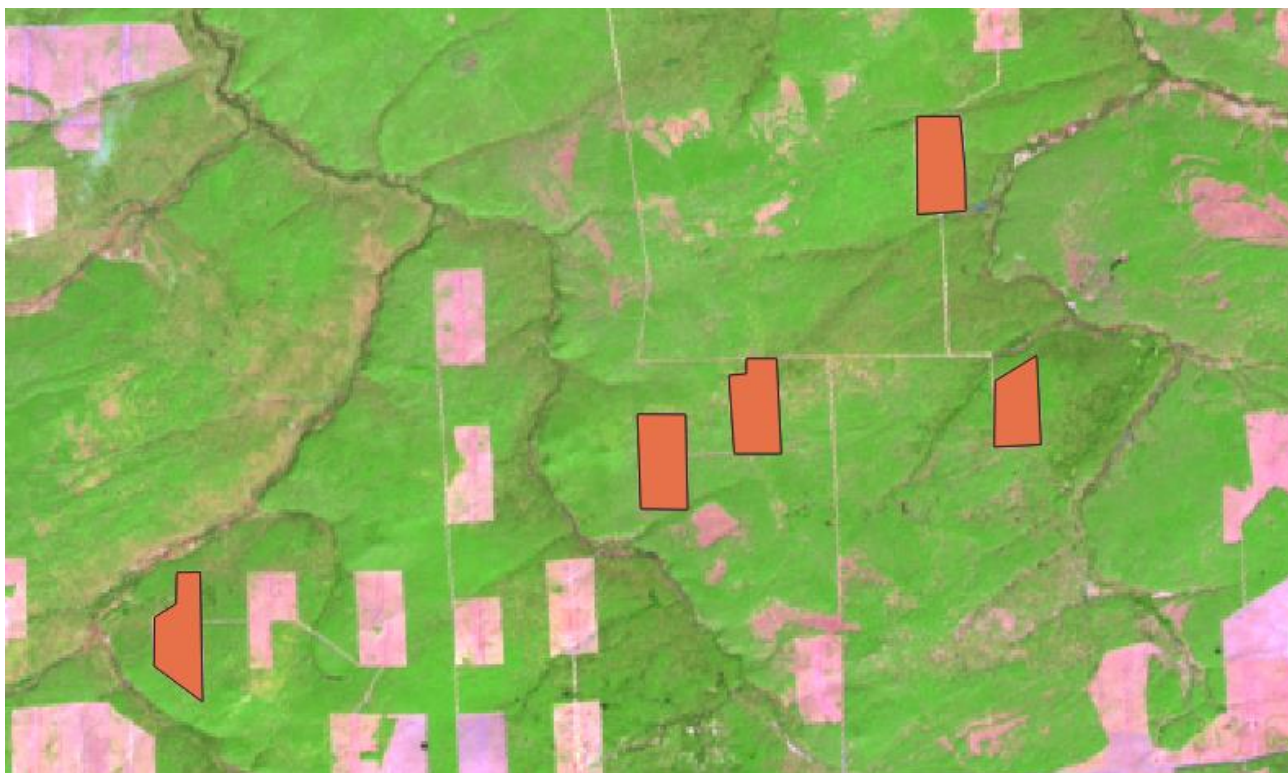


Рисунок 28 – Оцифрованные полигоны вырубок

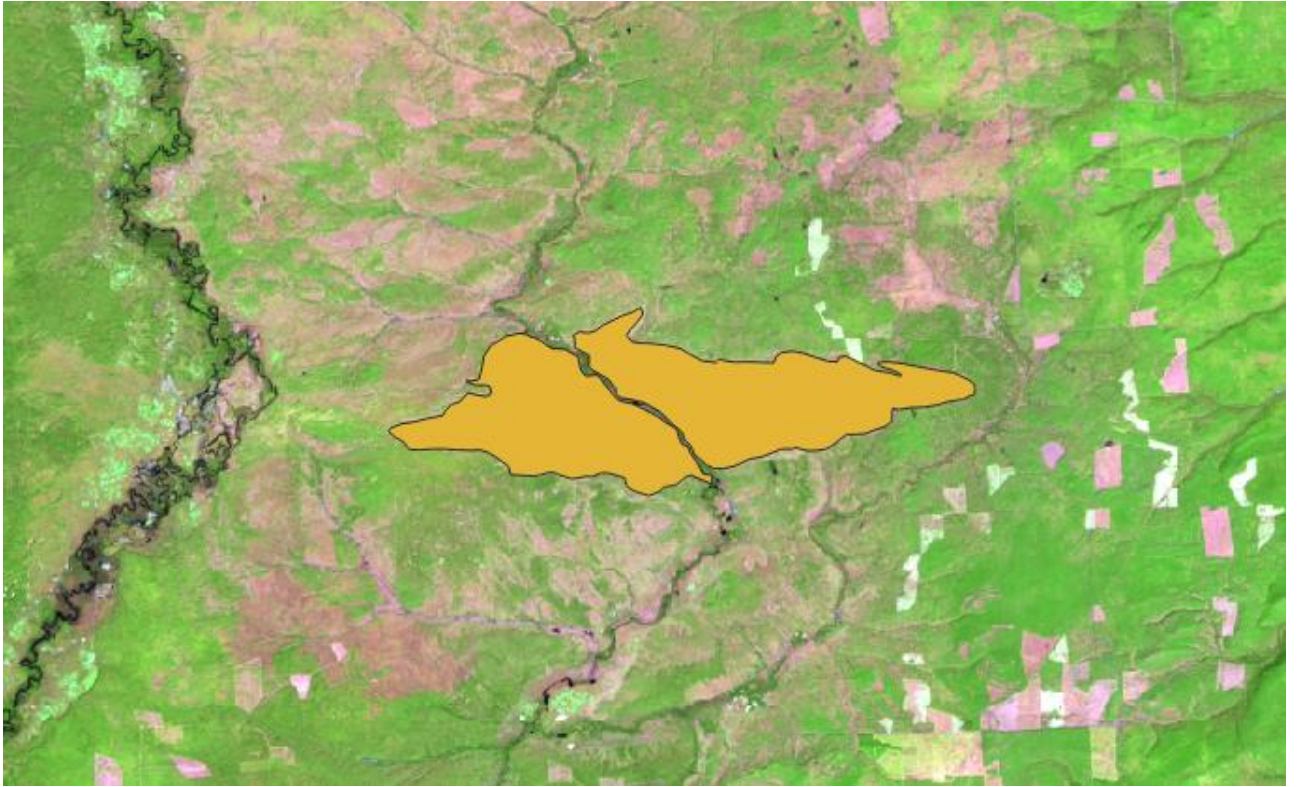


Рисунок 29 – Оцифрованные полигоны гарей

Полученные таблицы индексации для снимка Landsat 8 за 03.06.2021 приведены в приложении Б, для снимка Landsat 8 за 28.07.2021 приведены в приложении Г.

После анализа полученных значений видно, что у всех гарей выше значения  $P/\sqrt{A}$ , Shape Index, значения  $Deqpc$  и  $Dmax/\sqrt{A}$  преимущественно выше. У вырубок выше значение Sphericity. Пороговое значение  $P/\sqrt{A}$ , равное 5.44259743, позволяет разделить гари от вырубок: для гарей значение выше, для вырубок ниже. Для Shape Index пороговым значением является 1.535328389. Пороговое значение Sphericity, равное 0.604758799, позволяет разделить вырубку и гари: для вырубку значение выше, для гарей ниже. На основании этого можно сказать, что гари и вырубку различаются по признакам формы. Полученные граничные значения можно использовать для автоматизации процесса разделения гарей от вырубку.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Поставленные в работе цели и задачи были полностью выполнены.

Исходные данные в виде мультиспектральных спутниковых изображений со спутника Landsat 8 OLI были скачаны и обработаны для дальнейшей работы с ними в ГИС QGIS.

Для снимков Landsat 8 OLI был проведен анализ выделения и расчета признаков поврежденных лесов на лесной территории – на гарях, вырубках – по спектральным признакам и по форме объектов.

Спектральные признаки были рассчитаны по каналам в виде спектральных кривых, а также по вегетационным индексам NDVI и NBR. Признаки формы были рассчитаны с помощью инструментария SAGA в QGIS.

Проведен анализ возможности выделения типов повреждений по спектральным и по геометрическим признакам. У вырубок и гарей одного и того же года хорошая делимость по значениям расстояния Джеффриса-Матусита, что говорит о том, что гари и вырубки одного года отличаются друг от друга по спектральным признакам для проведения классификации методами, аналогичными максимальному правдоподобию. Вегетационные индексы NDVI и NBR для отделения гарей от вырубок невозможно использовать в виду отсутствия закономерности различия значений. В ходе анализа признаков формы было выявлено, что у всех гарей выше значения  $P/\sqrt{A}$ , Shape Index, значения  $Deqrc$  и  $Dmax/\sqrt{A}$  преимущественно выше. У вырубок выше значение Sphericity. Также были получены пороговые значения, позволяющие отделить гари от вырубков, и которые можно использовать для автоматизации процесса разделения. На основании этого можно сказать, что гари и вырубки различаются по признакам формы.

Таким образом, составлен ряд спектральных признаков в виде спектральных кривых, вегетационных индексов и признаков формы, которые позволяют однозначно разделять векторные полигоны гарей и вырубков на лесных территориях.



## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Хамедов, В.А. Сравнение методов обнаружения лесных гарей по оптическим и радиолокационным снимкам / В.А. Хамедов // Вестник СГУГиТ. – 2016. – вып. 3 (35). – С. 43-56.
- 2 Князева, С. В. Оценка состояния растительности в очаге массового размножения сибирского шелкопряда по спутниковым данным / С. В. Князева, Н. В. Королёва, С.П. Эйдлина, Е. Н. Сочилова // Лесоведение. – 2019. – № 5. – С. 385-398.
- 3 Швецов, Е.Г. Мониторинг сплошных вырубок с использованием спутникового продукта глобального изменения лесного покрова / Е.Г. Швецов, Е.И. Пономарёв // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2021. – Т. 18, №4. – С. 140-148.
- 4 Князева, С.В. Методологические подходы к оценке характеристик лесов по данным спутниковой съёмки сверхвысокого пространственного разрешения в оптическом диапазоне / С.В. Князева, А.Д. Никитина, Е.И. Белова, А.С. Плотникова, Е.С. Подольская, К.А. Ковганко // Лесоведение. – 2021. – № 6. – С. 645-672.
- 5 Пестунов, И.А. Информативность систем текстурных признаков для классификации спутниковых изображений с высоким пространственным разрешением / И.А. Пестунов, П.В. Мельников // ИНТЕРЭКСПО ГЕО-СИБИРЬ. – 2012. – Т. 1, №4. – С. 92-98.
- 6 Kukavskaya, E.A. Increasing Fuel Loads, Fire Hazard, and Carbon Emissions from Fires in Central Siberia / E.A. Kukavskaya, E.G. Shvetsov, L.V. Buryak, P.D. Tretyakov, P.Y. Groisman // Fire – 2023. – Vol. 6, 63 – P. 1-16.
- 7 Приказ Федерального агентства лесного хозяйства от 5 июля 2011 г. N 287 "Об утверждении классификации природной пожарной опасности лесов и классификации пожарной опасности в лесах в зависимости от условий погоды" // Система ГАРАНТ : [сайт]. — URL: <https://base.garant.ru/12189021/> (дата обращения: 03.05.2023).

8 Landsat Collection 2 Level-1 Data. — Текст : электронный // United States Geological Survey : [сайт]. — URL: <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-collection-2-level-1-data> (дата обращения: 04.05.2023).

9 Landsat Collection 2 Level-2 Science Products. — Текст : электронный // United States Geological Survey : [сайт]. — URL: <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-collection-2-level-2-science-products> (дата обращения: 04.05.2023).

10 Landsat 8. — Текст : электронный // United States Geological Survey : [сайт]. — URL: <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-8> (дата обращения: 05.05.2023).

11 MCD64A1 v006. MODIS/Terra+Aqua Burned Area Monthly L3 Global 500 m SIN Grid . — Текст : электронный // United States Geological Survey : [сайт]. — URL: <https://lpdaac.usgs.gov/products/mcd64a1v006/> (дата обращения: 05.05.2023).

12 Collection 6 MODIS Burned Area Product User's Guide Version 1.3. — Текст : электронный // United States Geological Survey : [сайт]. — URL: [https://lpdaac.usgs.gov/documents/875/MCD64\\_User\\_Guide\\_V6.pdf](https://lpdaac.usgs.gov/documents/875/MCD64_User_Guide_V6.pdf) (дата обращения: 06.05.2023).

13 Global Forest Change 2000-2022 Data. — Текст : электронный // : [сайт]. — URL: <https://storage.googleapis.com/earthenginepartners-hansen/GFC-2022-v1.10/download.html> (дата обращения: 06.05.2023).

14 High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change / М. С. Hansen, Р. V. Potapov, R. Moore, М. Hancher, S. А. Turubanova, А. Tyukavina, D. Thau, S. V. Stehman, S. J. Goetz, T. R. Loveland, А. Kommareddy, А. Egorov, L. Chini, С. O. Justice, J. R. G. Townshend // Science. — 2013. — Vol. 342. — P. 850-853.

15 QGIS — Текст : электронный // QGIS : [сайт]. — URL: <https://qgis.org/ru/site/> (дата обращения: 07.05.2023).

16 Документация QGIS . — Текст : электронный // QGIS : [сайт]. — URL: <https://www.qgis.org/ru/docs> (дата обращения: 07.05.2023).

17 Semi-Automatic Classification Plugin. — Текст : электронный // QGIS Python Plugins Repository : [сайт]. — URL: <https://plugins.qgis.org/plugins/SemiAutomaticClassificationPlugin/> (дата обращения: 08.05.2023).

18 Earth Map. — Текст : электронный // Earth Map : [сайт]. — URL: <https://earthmap.org> (дата обращения: 08.05.2023).

19 Барталев, С. А. Исследование возможности оценки состояния поврежденных пожарами лесов по данным многоспектральных спутниковых измерений / С.А. Барталев, В.А. Егоров [и др.] // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. — 2010. — Т.7, № 3. — С. 335-342.

20 Хамедов В.А. Разработка методических вопросов создания системы спутникового мониторинга состояния лесных экосистем в условиях воздействия нефтегазового комплекса территории Западной Сибири / В.А. Хамедов, Б.Т. Мазуров // Вестник СГУГиТ. — 2015. — №3 (31). — С. 16-31.

21 Тематическое дешифрирование и интерпретация космических снимков среднего и высокого пространственного разрешения / А. Н. Шихов, А.П. Герасимов, А.И. Пономарчук, Е.С. Перминова. — Пермь: Пермский государственный национальный исследовательский университет. — 2020. — 191 с.

22 Somerfield, P.J. Identification of the Bray-Curtis similarity index: Comment on Yoshioka / P.J. Somerfield // Mar Ecol Prog Ser. — 2008. — Vol. 372. — P. 303-306.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

### Таблицы характеристик разделимости сигнатур на снимке Landsat 8 за 03.06.2021

	MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 1 C_name = Logging_1		MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 2 C_name = Logging_2
	MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 1 C_name = Burn_1		MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 1 C_name = Burn_1
Jeffries-Matusita distance	1.999995735122218	Jeffries-Matusita distance	1.9990543345675162
Spectral angle	2.5992867373499284	Spectral angle	2.2989140232192136
Euclidean distance	4072.2939315637577	Euclidean distance	3275.1688269869387
Bray-Curtis similarity [%]	93.65899117043728	Bray-Curtis similarity [%]	94.8249068252606
	MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 1 C_name = Logging_1		MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 2 C_name = Logging_2
	MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 2 C_name = Burn_2		MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 2 C_name = Burn_2
Jeffries-Matusita distance	1.999570801489323	Jeffries-Matusita distance	1.9808005023239876
Spectral angle	2.6835508953903764	Spectral angle	2.050252537706021
Euclidean distance	4431.756429222505	Euclidean distance	3583.5586322460254
Bray-Curtis similarity [%]	93.0450561704975	Bray-Curtis similarity [%]	94.21009999370531
	MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 1 C_name = Logging_1		MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 2 C_name = Logging_2
	MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 3 C_name = Burn_3		MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 3 C_name = Burn_3
Jeffries-Matusita distance	1.9996446959697909	Jeffries-Matusita distance	1.9885423052429245
Spectral angle	1.970224286063343	Spectral angle	1.5469825371830672
Euclidean distance	3671.635954070475	Euclidean distance	2853.7125341353153
Bray-Curtis similarity [%]	94.19861178126683	Bray-Curtis similarity [%]	95.36522076789632
	MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 1 C_name = Logging_1		MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 2 C_name = Logging_2
	MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 4 C_name = Burn_4		MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 4 C_name = Burn_4
Jeffries-Matusita distance	1.9817114561254672	Jeffries-Matusita distance	1.98819779949221
Spectral angle	1.0619360109030644	Spectral angle	0.8479817105042518
Euclidean distance	1720.7323291325715	Euclidean distance	948.4959121746393
Bray-Curtis similarity [%]	97.41229477847429	Bray-Curtis similarity [%]	98.5816196775082
	MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 1 C_name = Logging_1		MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 2 C_name = Logging_2
	MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 5 C_name = Burn_5		MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 5 C_name = Burn_5
Jeffries-Matusita distance	1.9743335294851883	Jeffries-Matusita distance	1.9678949480450452
Spectral angle	2.0025891380985086	Spectral angle	2.0617711442567335
Euclidean distance	2309.1878388937957	Euclidean distance	1654.2538402666612
Bray-Curtis similarity [%]	96.7158969422783	Bray-Curtis similarity [%]	97.88483862306454
	MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 1 C_name = Logging_1		MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 2 C_name = Logging_2
	MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 6 C_name = Burn_6		MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 6 C_name = Burn_6
Jeffries-Matusita distance	1.9940260667378398	Jeffries-Matusita distance	1.9876437846543842
Spectral angle	1.7299933854613612	Spectral angle	1.3457479380483632
Euclidean distance	2487.374997206895	Euclidean distance	1680.9328728048592
Bray-Curtis similarity [%]	96.3439824554778	Bray-Curtis similarity [%]	97.51267295454173
	MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 1 C_name = Logging_1		MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 2 C_name = Logging_2
	MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 7 C_name = Burn_7		MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 7 C_name = Burn_7
Jeffries-Matusita distance	2.0	Jeffries-Matusita distance	2.0
Spectral angle	7.402767322530988	Spectral angle	7.116869720001206
Euclidean distance	8355.464054384713	Euclidean distance	7567.787183335364
Bray-Curtis similarity [%]	86.49941333725819	Bray-Curtis similarity [%]	87.64966347051588
	MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 1 C_name = Logging_1		MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 2 C_name = Logging_2
	MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 8 C_name = Burn_8		MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 8 C_name = Burn_8
Jeffries-Matusita distance	2.0	Jeffries-Matusita distance	2.0
Spectral angle	7.2613132797781565	Spectral angle	7.027360173576992
Euclidean distance	8147.50510009231	Euclidean distance	7371.1555128203345
Bray-Curtis similarity [%]	86.87587924524831	Bray-Curtis similarity [%]	88.02725292865817
	MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 1 C_name = Logging_1		MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 2 C_name = Logging_2
	MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 9 C_name = Burn_9		MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 9 C_name = Burn_9
Jeffries-Matusita distance	1.999999992658963	Jeffries-Matusita distance	1.9999999926782785
Spectral angle	4.331016600445581	Spectral angle	4.020282865901947
Euclidean distance	4790.884867177984	Euclidean distance	4011.382757067567
Bray-Curtis similarity [%]	93.0404914269181	Bray-Curtis similarity [%]	94.2055284368692
	MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 1 C_name = Logging_1		MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 2 C_name = Logging_2
	MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 10 C_name = Burn_10		MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 10 C_name = Burn_10
Jeffries-Matusita distance	1.9999996874368422	Jeffries-Matusita distance	1.9999972397836414
Spectral angle	3.6435397082915557	Spectral angle	3.1777050241048306
Euclidean distance	4300.549702291442	Euclidean distance	3481.937960687842
Bray-Curtis similarity [%]	93.76383027201129	Bray-Curtis similarity [%]	94.92988597213963

Рисунок А.1 – Таблица характеристик разделимости для сигнатур  
Logging\_1-Logging\_2 и Burn\_1-Burn\_10

	MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 3 C_name = Logging_3 MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 1 C_name = Burn_1		MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 4 C_name = Logging_4 MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 1 C_name = Burn_1
Jeffries-Matusita distance	1.999999999989666	1.999999999997606	1.999999999997606
Spectral angle	3.751584731485619	4.545782931073425	4.545782931073425
Euclidean distance	6193.706712129408	6970.759731272411	6970.759731272411
Bray-Curtis similarity [%]	90.7792692727876	89.87496008415995	89.87496008415995
	MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 3 C_name = Logging_3 MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 2 C_name = Burn_2		MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 4 C_name = Logging_4 MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 2 C_name = Burn_2
Jeffries-Matusita distance	1.9999999934057056	1.9999999990806019	1.9999999990806019
Spectral angle	4.1595170024138985	4.636451010157423	4.636451010157423
Euclidean distance	6604.13904255566	7327.252416228406	7327.252416228406
Bray-Curtis similarity [%]	90.16820510634275	89.26500810893526	89.26500810893526
	MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 3 C_name = Logging_3 MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 3 C_name = Burn_3		MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 4 C_name = Logging_4 MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 3 C_name = Burn_3
Jeffries-Matusita distance	1.999999994119537	1.999999999148412	1.999999999148412
Spectral angle	3.3076790782599756	3.9193660414387614	3.9193660414387614
Euclidean distance	5818.491591300446	6561.862554322288	6561.862554322288
Bray-Curtis similarity [%]	91.31654572070924	90.41131481360773	90.41131481360773
	MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 3 C_name = Logging_3 MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 4 C_name = Burn_4		MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 4 C_name = Logging_4 MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 4 C_name = Burn_4
Jeffries-Matusita distance	1.999999936902192	1.999999887966412	1.999999887966412
Spectral angle	2.4070448477697997	2.8223871767644657	2.8223871767644657
Euclidean distance	3875.5291451414732	4588.915600964569	4588.915600964569
Bray-Curtis similarity [%]	94.51974432025844	93.61010948764246	93.61010948764246
	MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 3 C_name = Logging_3 MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 5 C_name = Burn_5		MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 4 C_name = Logging_4 MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 5 C_name = Burn_5
Jeffries-Matusita distance	1.999999998225285	1.9999998275326951	1.9999998275326951
Spectral angle	2.80607908071422	3.75536451488059	3.75536451488059
Euclidean distance	4353.7453748256785	5172.635767012502	5172.635767012502
Bray-Curtis similarity [%]	93.82511277353336	92.91627420139642	92.91627420139642
	MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 3 C_name = Logging_3 MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 6 C_name = Burn_6		MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 4 C_name = Logging_4 MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 6 C_name = Burn_6
Jeffries-Matusita distance	1.9999999999971	1.9999999884008894	1.9999999884008894
Spectral angle	3.0758448205533817	3.686660959252013	3.686660959252013
Euclidean distance	4643.221372930327	5394.232244133729	5394.232244133729
Bray-Curtis similarity [%]	93.45425625871373	92.5458788087646	92.5458788087646
	MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 3 C_name = Logging_3 MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 7 C_name = Burn_7		MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 4 C_name = Logging_4 MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 7 C_name = Burn_7
Jeffries-Matusita distance	2.0	2.0	2.0
Spectral angle	8.267030333741825	9.21213190653565	9.21213190653565
Euclidean distance	10422.161609013938	11234.145665212689	11234.145665212689
Bray-Curtis similarity [%]	83.66662928217076	82.77947301582446	82.77947301582446
	MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 3 C_name = Logging_3 MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 8 C_name = Burn_8		MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 4 C_name = Logging_4 MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 8 C_name = Burn_8
Jeffries-Matusita distance	2.0	2.0	2.0
Spectral angle	8.0423549277947	9.026563756254005	9.026563756254005
Euclidean distance	10197.905166592764	11017.79450671234	11017.79450671234
Bray-Curtis similarity [%]	84.03989503679163	83.15160985577613	83.15160985577613
	MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 3 C_name = Logging_3 MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 9 C_name = Burn_9		MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 4 C_name = Logging_4 MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 9 C_name = Burn_9
Jeffries-Matusita distance	2.0	2.0	2.0
Spectral angle	5.345490588997405	6.222002046135401	6.222002046135401
Euclidean distance	6874.579706155715	7684.620588723624	7684.620588723624
Bray-Curtis similarity [%]	90.16366252040001	89.26047404547877	89.26047404547877
	MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 3 C_name = Logging_3 MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 10 C_name = Burn_10		MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 4 C_name = Logging_4 MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 10 C_name = Burn_10
Jeffries-Matusita distance	2.0	1.999999999999951	1.999999999999951
Spectral angle	4.9031154992125945	5.612402959715818	5.612402959715818
Euclidean distance	6437.626329406516	7211.720724387005	7211.720724387005
Bray-Curtis similarity [%]	90.88363982087833	89.97914746664311	89.97914746664311

Рисунок А.2 – Таблица характеристик разделимости для сигнатур Logging\_3-Logging\_4 и Burn\_1-Burn\_10

	MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 5 C_name = Logging_5		MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 6 C_name = Logging_6
	MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 1 C_name = Burn_1		MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 1 C_name = Burn_1
Jeffries-Matusita distance	1.9999999999983318	Jeffries-Matusita distance	1.9999999998779827
Spectral angle	1.717031775241559	Spectral angle	1.8607314142018945
Euclidean distance	9510.139496057814	Euclidean distance	3753.5973347293143
Bray-Curtis similarity (%)	94.29116878847744	Bray-Curtis similarity (%)	93.93796253797049
	MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 5 C_name = Logging_5		MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 6 C_name = Logging_6
	MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 2 C_name = Burn_2		MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 2 C_name = Burn_2
Jeffries-Matusita distance	1.9999999883683701	Jeffries-Matusita distance	1.9999998057479145
Spectral angle	2.2198337202615397	Spectral angle	2.342026522418444
Euclidean distance	3927.8461479639204	Euclidean distance	4168.86401837803
Bray-Curtis similarity (%)	93.67674028375231	Bray-Curtis similarity (%)	93.32380369193619
	MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 5 C_name = Logging_5		MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 6 C_name = Logging_6
	MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 3 C_name = Burn_3		MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 3 C_name = Burn_3
Jeffries-Matusita distance	1.9999999999974785	Jeffries-Matusita distance	1.999999964462305
Spectral angle	1.3166751620343213	Spectral angle	1.4427463377034166
Euclidean distance	3150.432236196647	Euclidean distance	3391.2685463276143
Bray-Curtis similarity (%)	94.8311836260859	Bray-Curtis similarity (%)	94.47776245754005
	MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 5 C_name = Logging_5		MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 6 C_name = Logging_6
	MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 4 C_name = Burn_4		MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 4 C_name = Burn_4
Jeffries-Matusita distance	1.9998837670525305	Jeffries-Matusita distance	1.998731898093753
Spectral angle	1.1680604306345006	Spectral angle	1.1330368632171277
Euclidean distance	1320.983393703352	Euclidean distance	1525.1497901701348
Bray-Curtis similarity (%)	98.04644843743581	Bray-Curtis similarity (%)	97.69217539035436
	MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 5 C_name = Logging_5		MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 6 C_name = Logging_6
	MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 5 C_name = Burn_5		MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 5 C_name = Burn_5
Jeffries-Matusita distance	1.986446176271196	Jeffries-Matusita distance	1.9811571372789665
Spectral angle	1.0062846136572074	Spectral angle	1.0972009501386621
Euclidean distance	1691.058985635628	Euclidean distance	1927.2274569149854
Bray-Curtis similarity (%)	97.34981912902042	Bray-Curtis similarity (%)	96.99566848771433
	MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 5 C_name = Logging_5		MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 6 C_name = Logging_6
	MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 6 C_name = Burn_6		MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 6 C_name = Burn_6
Jeffries-Matusita distance	1.98119521459662	Jeffries-Matusita distance	1.9558599463978315
Spectral angle	1.0604949451350492	Spectral angle	1.1899816734554565
Euclidean distance	1945.4486020571192	Euclidean distance	2187.5128126171057
Bray-Curtis similarity (%)	96.97775580019062	Bray-Curtis similarity (%)	96.6236846237079
	MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 5 C_name = Logging_5		MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 6 C_name = Logging_6
	MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 7 C_name = Burn_7		MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 7 C_name = Burn_7
Jeffries-Matusita distance	2.0	Jeffries-Matusita distance	2.0
Spectral angle	6.57053822163059	Spectral angle	6.679108811509055
Euclidean distance	7776.148502116393	Euclidean distance	8014.13744017165
Bray-Curtis similarity (%)	87.12285746406627	Bray-Curtis similarity (%)	86.77446086735534
	MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 5 C_name = Logging_5		MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 6 C_name = Logging_6
	MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 8 C_name = Burn_8		MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 8 C_name = Burn_8
Jeffries-Matusita distance	2.0	Jeffries-Matusita distance	2.0
Spectral angle	6.4132426939257545	Spectral angle	6.5152610707295056
Euclidean distance	7563.925765051149	Euclidean distance	7800.632379515511
Bray-Curtis similarity (%)	87.49994495056478	Bray-Curtis similarity (%)	87.15120467791861
	MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 5 C_name = Logging_5		MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 6 C_name = Logging_6
	MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 9 C_name = Burn_9		MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 9 C_name = Burn_9
Jeffries-Matusita distance	1.999999999999059	Jeffries-Matusita distance	1.999999989691886
Spectral angle	3.457489825287169	Spectral angle	3.5846557606633014
Euclidean distance	4189.578353840754	Euclidean distance	4430.039268359933
Bray-Curtis similarity (%)	93.67217169150094	Bray-Curtis similarity (%)	93.31923720490123
	MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 5 C_name = Logging_5		MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 6 C_name = Logging_6
	MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 10 C_name = Burn_10		MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 10 C_name = Burn_10
Jeffries-Matusita distance	1.999999989535262	Jeffries-Matusita distance	1.999998527633642
Spectral angle	2.8823779757248724	Spectral angle	3.0235989863919084
Euclidean distance	3727.103440472374	Euclidean distance	3970.651488023976
Bray-Curtis similarity (%)	94.3960873769319	Bray-Curtis similarity (%)	94.04283775334548

Рисунок А.3 – Таблица характеристик разделимости для сигнатур Logging\_5-Logging\_6 и Burn\_1-Burn\_10

	MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 7 C_name = Logging_7 MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 1 C_name = Burn_1		MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 8 C_name = Logging_8 MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 1 C_name = Burn_1
Jeffries-Matusita distance	1.9999999251270233	2.0	1.999999999999814
Spectral angle	1.6563429337406825	1.9448110075227771	2.2458912836397698
Euclidean distance	3729.4140648790944	4202.120399828639	4592.983428968583
Bray-Curtis similarity [%]	93.87283011688824	93.19057318761489	92.57703560749283
	MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 7 C_name = Logging_7 MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 2 C_name = Burn_2		MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 8 C_name = Logging_8 MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 2 C_name = Burn_2
Jeffries-Matusita distance	1.9999981234194903	1.999999999999814	1.999999999999814
Spectral angle	1.975161776252834	2.2458912836397698	2.2458912836397698
Euclidean distance	4121.794948818295	4592.983428968583	4592.983428968583
Bray-Curtis similarity [%]	93.25872267513088	92.57703560749283	92.57703560749283
	MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 7 C_name = Logging_7 MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 3 C_name = Burn_3		MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 8 C_name = Logging_8 MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 3 C_name = Burn_3
Jeffries-Matusita distance	1.9999991028053676	2.0	1.999999999999814
Spectral angle	1.1338108145981578	1.4226388369635286	1.4226388369635286
Euclidean distance	3361.3190001435464	3831.096107925512	3831.096107925512
Bray-Curtis similarity [%]	94.41258892770485	93.72987374241372	93.72987374241372
	MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 7 C_name = Logging_7 MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 4 C_name = Burn_4		MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 8 C_name = Logging_8 MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 4 C_name = Burn_4
Jeffries-Matusita distance	1.9998327347307003	1.99999999462400142	1.99999999462400142
Spectral angle	1.021257752706411	1.1098712509082267	1.1098712509082267
Euclidean distance	1503.3873596259234	1945.6735010389082	1945.6735010389082
Bray-Curtis similarity [%]	97.62683599014448	96.94221770925637	96.94221770925637
	MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 7 C_name = Logging_7 MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 5 C_name = Burn_5		MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 8 C_name = Logging_8 MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 5 C_name = Burn_5
Jeffries-Matusita distance	1.9788935698976478	1.9999947306734047	1.9999947306734047
Spectral angle	1.1766572840072502	1.3798158022583205	1.3798158022583205
Euclidean distance	1939.2237940516306	2401.4998489069276	2401.4998489069276
Bray-Curtis similarity [%]	96.93035353307829	96.24602761374089	96.24602761374089
	MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 7 C_name = Logging_7 MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 6 C_name = Burn_6		MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 8 C_name = Logging_8 MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 6 C_name = Burn_6
Jeffries-Matusita distance	1.9706592517446013	1.9997924711514865	1.9997924711514865
Spectral angle	0.8610387045443635	1.1470093855128676	1.1470093855128676
Euclidean distance	2146.336061579128	2618.5249995004815	2618.5249995004815
Bray-Curtis similarity [%]	96.5583853443616	95.87424275495404	95.87424275495404
	MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 7 C_name = Logging_7 MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 7 C_name = Burn_7		MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 8 C_name = Logging_8 MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 7 C_name = Burn_7
Jeffries-Matusita distance	2.0	2.0	2.0
Spectral angle	6.5851344178495195	6.863015610378698	6.863015610378698
Euclidean distance	7997.226534401537	8471.295296584462	8471.295296584462
Bray-Curtis similarity [%]	86.71023468562272	86.03783186867348	86.03783186867348
	MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 7 C_name = Logging_7 MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 8 C_name = Burn_8		MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 8 C_name = Logging_8 MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 8 C_name = Burn_8
Jeffries-Matusita distance	2.0	2.0	2.0
Spectral angle	6.453531952496162	6.723960429350446	6.723960429350446
Euclidean distance	7789.257617330039	8261.963230371073	8261.963230371073
Bray-Curtis similarity [%]	87.08691412305294	86.41381835247408	86.41381835247408
	MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 7 C_name = Logging_7 MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 9 C_name = Burn_9		MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 8 C_name = Logging_8 MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 9 C_name = Burn_9
Jeffries-Matusita distance	1.9999999058881444	2.0	1.999999999999814
Spectral angle	3.4427369161387342	3.7273606259044363	3.7273606259044363
Euclidean distance	4402.150979428354	4877.082623073962	4877.082623073962
Bray-Curtis similarity [%]	93.25415658877358	92.57247395151055	92.57247395151055
	MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 7 C_name = Logging_7 MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 10 C_name = Burn_10		MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 8 C_name = Logging_8 MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 10 C_name = Burn_10
Jeffries-Matusita distance	1.9999957773693717	1.999999999999814	1.999999999999814
Spectral angle	2.7645304740633647	3.058830537877889	3.058830537877889
Euclidean distance	3923.286027202709	4400.225364057392	4400.225364057392
Bray-Curtis similarity [%]	93.97769704727422	93.29534796524227	93.29534796524227

Рисунок А.4 – Таблица характеристик разделимости для сигнатур Logging\_7-Logging\_8 и Burn\_1-Burn\_10

	MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 9 C_name = Logging_9	MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 1 C_name = Burn_1
Jeffries-Matusita distance	1.999999997991696	
Spectral angle	3.844396404291911	
Euclidean distance	4059.207349548955	
Bray-Curtis similarity [%]	94.30964337912766	

	MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 9 C_name = Logging_9	MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 2 C_name = Burn_2
Jeffries-Matusita distance	1.9998799888173469	
Spectral angle	3.7290132640005393	
Euclidean distance	4356.535912580115	
Bray-Curtis similarity [%]	93.69520119276305	

	MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 9 C_name = Logging_9	MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 3 C_name = Burn_3
Jeffries-Matusita distance	1.9999693723815646	
Spectral angle	3.1126159980439128	
Euclidean distance	3609.8797480388803	
Bray-Curtis similarity [%]	94.84966908586016	

	MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 9 C_name = Logging_9	MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 4 C_name = Burn_4
Jeffries-Matusita distance	1.9998913922745518	
Spectral angle	1.9821876047450486	
Euclidean distance	1696.3718228829582	
Bray-Curtis similarity [%]	97.88247077253698	

	MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 9 C_name = Logging_9	MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 5 C_name = Burn_5
Jeffries-Matusita distance	1.99999944193291	
Spectral angle	3.239353904981658	
Euclidean distance	2441.2457516377262	
Bray-Curtis similarity [%]	97.14782609325364	

	MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 9 C_name = Logging_9	MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 6 C_name = Burn_6
Jeffries-Matusita distance	1.9999998906043657	
Spectral angle	2.9044787889768906	
Euclidean distance	2526.955508471544	
Bray-Curtis similarity [%]	96.79369076220638	

	MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 9 C_name = Logging_9	MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 7 C_name = Burn_7
Jeffries-Matusita distance	2.0	
Spectral angle	8.57222469832299	
Euclidean distance	8336.315908525676	
Bray-Curtis similarity [%]	87.1410853550422	

	MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 9 C_name = Logging_9	MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 8 C_name = Burn_8
Jeffries-Matusita distance	2.0	
Spectral angle	8.432147851748205	
Euclidean distance	8133.263098404653	
Bray-Curtis similarity [%]	87.5181905659482	

	MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 9 C_name = Logging_9	MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 9 C_name = Burn_9
Jeffries-Matusita distance	2.0	
Spectral angle	5.532618629849385	
Euclidean distance	4845.815324295825	
Bray-Curtis similarity [%]	93.55739533466603	

	MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 9 C_name = Logging_9	MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 10 C_name = Burn_10
Jeffries-Matusita distance	1.999999999983902	
Spectral angle	4.811706299486395	
Euclidean distance	4336.703485211695	
Bray-Curtis similarity [%]	94.26775919861838	

	MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 10 C_name = Logging_10	MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 1 C_name = Burn_1
Jeffries-Matusita distance	2.0	
Spectral angle	2.9609288050074385	
Euclidean distance	5736.376219961432	
Bray-Curtis similarity [%]	91.13857859047909	

	MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 10 C_name = Logging_10	MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 2 C_name = Burn_2
Jeffries-Matusita distance	1.9999999999986262	
Spectral angle	3.3749329527633436	
Euclidean distance	6144.430061004602	
Bray-Curtis similarity [%]	90.52710046518074	

	MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 10 C_name = Logging_10	MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 3 C_name = Burn_3
Jeffries-Matusita distance	2.0	
Spectral angle	2.5288534426444147	
Euclidean distance	5368.563712940828	
Bray-Curtis similarity [%]	91.67619663722976	

	MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 10 C_name = Logging_10	MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 4 C_name = Burn_4
Jeffries-Matusita distance	1.9999999999990772	
Spectral angle	1.8577805045887286	
Euclidean distance	3447.4575907065205	
Bray-Curtis similarity [%]	94.8809974065306	

	MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 10 C_name = Logging_10	MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 5 C_name = Burn_5
Jeffries-Matusita distance	1.999999981969265	
Spectral angle	2.11080740681273	
Euclidean distance	3900.715463495255	
Bray-Curtis similarity [%]	94.1860815925513	

	MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 10 C_name = Logging_10	MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 6 C_name = Burn_6
Jeffries-Matusita distance	1.999999999975464	
Spectral angle	2.2712341902947673	
Euclidean distance	4170.889584741365	
Bray-Curtis similarity [%]	93.81505898633645	

	MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 10 C_name = Logging_10	MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 7 C_name = Burn_7
Jeffries-Matusita distance	2.0	
Spectral angle	7.698431700030246	
Euclidean distance	9986.90956094602	
Bray-Curtis similarity [%]	84.01944283521169	

	MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 10 C_name = Logging_10	MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 8 C_name = Burn_8
Jeffries-Matusita distance	2.0	
Spectral angle	7.507933192460619	
Euclidean distance	9768.445945617777	
Bray-Curtis similarity [%]	84.39314075012561	

	MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 10 C_name = Logging_10	MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 9 C_name = Burn_9
Jeffries-Matusita distance	2.0	
Spectral angle	4.659344081132795	
Euclidean distance	6409.782317528654	
Bray-Curtis similarity [%]	90.52255470050042	

	MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 10 C_name = Logging_10	MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 10 C_name = Burn_10
Jeffries-Matusita distance	2.0	
Spectral angle	4.129199126449793	
Euclidean distance	5957.583596422548	
Bray-Curtis similarity [%]	91.24301713548289	

Рисунок А.5 – Таблица характеристик разделимости для сигнатур Logging\_9-Logging\_10 и Burn\_1-Burn\_10



## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

### Таблицы признаков формы на снимке Landsat 8 за 03.06.2021

Таблица Б.1 – Признаки формы векторного слоя вырубок

ID	A	P	P/A	P/sqrt(A)	Deqc	Sphericity	Shape Index	Dmax	DmaxDir	Dmax/A	Dmax/sqrt(A)
0	6,41076E-05	0,031689789	494,3215741	3,957896707	0,009034621	0,895654426	1,116502047	0,011842415	48,5262085	184,7270565	1,479058667
1	0,000079514	0,03567676	448,685453	4,00095531	0,010061825	0,886015321	1,128648655	0,012769465	45,76306797	160,5939888	1,432026306
2	5,44552E-05	0,039162841	719,1757751	5,307067622	0,008326733	0,667959776	1,497096136	0,01141736	45,47926367	209,6652896	1,547198763
3	5,24572E-05	0,02951044	562,5621412	4,074488495	0,008172551	0,870025208	1,149391984	0,010673748	56,66841607	203,4753179	1,473717801
4	0,000191047	0,075227416	393,7642465	5,44259743	0,015596423	0,651326457	1,535328389	0,026758559	72,45603139	140,0628146	1,93594396
5	7,73846E-05	0,03493686	451,4704048	3,971518377	0,009926185	0,892582475	1,12034465	0,012440773	136,2222097	160,765469	1,414230053
6	5,92499E-05	0,031199168	526,5689831	4,053210376	0,008685582	0,874592576	1,143389537	0,011776133	43,90292198	198,7535833	1,529885185
7	7,34839E-05	0,035133451	478,1106288	4,098496847	0,009672779	0,864928737	1,156164615	0,012030858	42,76472551	163,7209236	1,403461142
8	7,76583E-05	0,035261043	454,0539092	4,001301563	0,009943721	0,885938649	1,128746331	0,012653974	135,7120782	162,944311	1,435929331
9	7,55872E-05	0,037598675	497,4210706	4,324624019	0,009810231	0,819703097	1,219953912	0,012899572	160,8180979	170,6581163	1,483717181

Таблица Б.2 – Признаки формы векторного слоя гарей.

<b>I D</b>	<b>A</b>	<b>P</b>	<b>P/A</b>	<b>P/sqrt(A)</b>	<b>Deqpc</b>	<b>Sphericity</b>	<b>Shape Index</b>	<b>Dmax</b>	<b>DmaxDir</b>	<b>Dmax/A</b>	<b>Dmax/sqrt( A)</b>
0	0,000508274	0,13215137 8	260,0002567	5,86168851 2	0,025439233	0,60475879 9	1,6535518	0,051503462	99,82604136	101,3301072	2,28448053 5
1	0,0012663375 29	0,23960844 35	189,21372695 00	6,73329091 92	0,040154090 94	0,52647475 72	1,89942629 98	0,096917318 31	87,56897056 40	76,53355923 60	2,72349542 36
2	0,0012633908 75	0,23846937 06	188,75343751 00	6,70909184 94	0,040107346 24	0,52837370 26	1,89259986 83	0,102311906 9	94,72211561 00	80,98198972 40	2,87844086 11
3	0,0014458534 08	0,29723008 22	205,57414778 00	7,81682933 39	0,042905917 25	0,45349687 84	2,20508684 33	0,126878501 4	94,60347959 70	87,75336469 00	3,33676720 87
4	3,205359466e -05	0,04164248 792	1299,1518849 000	7,35526455 50	0,006388419 544	0,48195515 95	2,07488182 31	0,009550734 599	93,98246363 70	297,9614205 800	1,68693522 36
5	0,0005082740 292	0,13215137 8	260,00025667 00	5,86168851 20	0,025439233 35	0,60475879 85	1,65355180 02	0,051503461 88	99,82604136 00	101,3301072 400	2,28448053 52
6	6,044545829e -05	0,05439273 416	899,86469944 00	6,99614903 88	0,008772773 096	0,50669413 73	1,97357720 63	0,018940262 18	104,9554233 300	313,3446699 100	2,43615069 31
7	0,0021604969 26	0,33399167 92	154,59021265 00	7,18553023 17	0,052448356 72	0,49333975 19	2,02700065 45	0,115163926 2	100,7638546 000	53,30436938 10	2,47764817 13
8	0,0001275143 307	0,09024186 525	707,69979132 00	7,99150481 47	0,012741910 7	0,44358450 43	2,25436188 67	0,042160484 93	97,43637952 50	330,6333075 500	3,73358548 59
9	5,611023716e -05	0,07013783 359	1250,0006619 000	9,36335081 08	0,008452323 516	0,37859392 15	2,64135249 73	0,033338742 84	112,2487892 400	594,1650673 600	4,45069841 55

## ПРИЛОЖЕНИЕ В

### Таблицы характеристик разделимости сигнатур на снимке Landsat 8 за 28.07.2021

	MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 2 C_name = Logging_1		MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 3 C_name = Logging_2
	MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 2 C_name = Burn_1		MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 2 C_name = Burn_1
Jeffries-Matusita distance	1.9999999999998985	Jeffries-Matusita distance	1.9999999999178013
Spectral angle	5.446353652731017	Spectral angle	6.731622439130264
Euclidean distance	3699.2075543790456	Euclidean distance	4364.642621390096
Bray-Curtis similarity [%]	95.83929147416308	Bray-Curtis similarity [%]	95.28701095138022
	MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 2 C_name = Logging_1		MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 3 C_name = Logging_2
	MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 3 C_name = Burn_2		MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 3 C_name = Burn_2
Jeffries-Matusita distance	1.999900483450397	Jeffries-Matusita distance	1.9993962795580822
Spectral angle	1.6313665573686962	Spectral angle	2.223903917201595
Euclidean distance	2443.4125837234283	Euclidean distance	2795.710573793361
Bray-Curtis similarity [%]	96.26253101764371	Bray-Curtis similarity [%]	95.99050728360196
	MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 2 C_name = Logging_1		MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 3 C_name = Logging_2
	MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 4 C_name = Burn_3		MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 4 C_name = Burn_3
Jeffries-Matusita distance	1.999997371256537	Jeffries-Matusita distance	1.999991107383097
Spectral angle	2.4532522657436107	Spectral angle	2.235809077057053
Euclidean distance	3576.046327927254	Euclidean distance	3789.9279798692746
Bray-Curtis similarity [%]	94.25174147972074	Bray-Curtis similarity [%]	93.98025219489584
	MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 2 C_name = Logging_1		MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 3 C_name = Logging_2
	MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 5 C_name = Burn_4		MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 5 C_name = Burn_4
Jeffries-Matusita distance	1.9990675816603927	Jeffries-Matusita distance	1.9975949439539458
Spectral angle	1.4217328021404025	Spectral angle	1.790097172788162
Euclidean distance	2455.707946838752	Euclidean distance	2760.3623390343164
Bray-Curtis similarity [%]	96.1022291325542	Bray-Curtis similarity [%]	95.83023992694177
	MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 2 C_name = Logging_1		MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 3 C_name = Logging_2
	MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 6 C_name = Burn_5		MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 6 C_name = Burn_5
Jeffries-Matusita distance	1.999995202121198	Jeffries-Matusita distance	1.999776361204201
Spectral angle	2.179570516726255	Spectral angle	1.8422346654928416
Euclidean distance	2585.83294837819	Euclidean distance	2763.1074968345415
Bray-Curtis similarity [%]	96.06380981980926	Bray-Curtis similarity [%]	95.79182909750119
	MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 2 C_name = Logging_1		MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 3 C_name = Logging_2
	MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 7 C_name = Burn_6		MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 7 C_name = Burn_6
Jeffries-Matusita distance	1.9950547273287786	Jeffries-Matusita distance	1.9685923083368846
Spectral angle	2.336320895314754	Spectral angle	1.8413572354891563
Euclidean distance	2562.7405465661177	Euclidean distance	2702.2958504471717
Bray-Curtis similarity [%]	96.15062596110039	Bray-Curtis similarity [%]	95.87862618349342
	MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 2 C_name = Logging_1		MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 3 C_name = Logging_2
	MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 8 C_name = Burn_7		MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 8 C_name = Burn_7
Jeffries-Matusita distance	1.9999652791665987	Jeffries-Matusita distance	1.9996625733178996
Spectral angle	1.931563114762815	Spectral angle	2.725193907175625
Euclidean distance	2581.2018207466845	Euclidean distance	2985.4128366693276
Bray-Curtis similarity [%]	96.17320986192013	Bray-Curtis similarity [%]	95.90120519465395
	MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 2 C_name = Logging_1		MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 3 C_name = Logging_2
	MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 9 C_name = Burn_8		MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 9 C_name = Burn_8
Jeffries-Matusita distance	1.9999263842022903	Jeffries-Matusita distance	1.998066589539919
Spectral angle	1.8584515076410675	Spectral angle	1.6895537843605177
Euclidean distance	2474.0667152031283	Euclidean distance	2689.0665026131283
Bray-Curtis similarity [%]	96.16605039739044	Bray-Curtis similarity [%]	95.89404727721838
	MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 2 C_name = Logging_1		MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 3 C_name = Logging_2
	MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 10 C_name = Burn_9		MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 10 C_name = Burn_9
Jeffries-Matusita distance	1.9999849634531506	Jeffries-Matusita distance	1.9992266495962674
Spectral angle	2.9452458495171863	Spectral angle	3.736181867221102
Euclidean distance	3351.1180008535957	Euclidean distance	3766.2990676491695
Bray-Curtis similarity [%]	95.19469079667104	Bray-Curtis similarity [%]	94.9229234638411
	MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 2 C_name = Logging_1		MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 3 C_name = Logging_2
	MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 11 C_name = Burn_10		MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 11 C_name = Burn_10
Jeffries-Matusita distance	1.9999900732858158	Jeffries-Matusita distance	1.999499774975601
Spectral angle	3.6566323232102445	Spectral angle	4.574697056356238
Euclidean distance	3842.682760070268	Euclidean distance	4296.733657713527
Bray-Curtis similarity [%]	94.59012201276309	Bray-Curtis similarity [%]	94.31852737868266

Рисунок В.1 – Таблица характеристик разделимости для сигнатур Logging\_1-  
Logging\_2 и Burn\_1-Burn\_10

	MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 4 C_name = Logging_3		MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 5 C_name = Logging_4
	MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 2 C_name = Burn_1		MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 2 C_name = Burn_1
Jeffries-Matusita distance	1.999999946835496	Jeffries-Matusita distance	1.99999999951685
Spectral angle	5.026412924779724	Spectral angle	6.010575890002985
Euclidean distance	3926.7171584002594	Euclidean distance	4037.2217379986705
Bray-Curtis similarity [%]	95.31383977846808	Bray-Curtis similarity [%]	95.57534079642106
	MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 4 C_name = Logging_3		MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 5 C_name = Logging_4
	MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 3 C_name = Burn_2		MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 3 C_name = Burn_2
Jeffries-Matusita distance	1.9999997635430866	Jeffries-Matusita distance	1.9998122438756722
Spectral angle	1.7565561402380034	Spectral angle	1.8014791693595293
Euclidean distance	2935.235163359489	Euclidean distance	2644.962759057678
Bray-Curtis similarity [%]	95.42447566908491	Bray-Curtis similarity [%]	96.02881020784208
	MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 4 C_name = Logging_3		MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 5 C_name = Logging_4
	MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 4 C_name = Burn_3		MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 4 C_name = Burn_3
Jeffries-Matusita distance	1.999999982142476	Jeffries-Matusita distance	1.9999997788881958
Spectral angle	2.785475979471992	Spectral angle	2.268047198134149
Euclidean distance	4101.2004124083	Euclidean distance	3721.0505891960142
Bray-Curtis similarity [%]	93.41542798606217	Bray-Curtis similarity [%]	94.01847806580238
	MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 4 C_name = Logging_3		MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 5 C_name = Logging_4
	MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 5 C_name = Burn_4		MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 5 C_name = Burn_4
Jeffries-Matusita distance	1.9999657145038616	Jeffries-Matusita distance	1.998779411810781
Spectral angle	1.6616031780466318	Spectral angle	1.4532277411712113
Euclidean distance	2966.6187737818623	Euclidean distance	2635.8226052682303
Bray-Curtis similarity [%]	95.2642877735094	Bray-Curtis similarity [%]	95.86853784564013
	MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 4 C_name = Logging_3		MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 5 C_name = Logging_4
	MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 6 C_name = Burn_5		MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 6 C_name = Burn_5
Jeffries-Matusita distance	1.99978529096928406	Jeffries-Matusita distance	1.9999932017090523
Spectral angle	2.523836916756379	Spectral angle	1.9191684716831983
Euclidean distance	3112.3249329850255	Euclidean distance	2704.2222672428843
Bray-Curtis similarity [%]	95.2258964207221	Bray-Curtis similarity [%]	95.83012578725689
	MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 4 C_name = Logging_3		MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 5 C_name = Logging_4
	MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 7 C_name = Burn_6		MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 7 C_name = Burn_6
Jeffries-Matusita distance	1.9978529096928406	Jeffries-Matusita distance	1.9873329867113514
Spectral angle	2.708903343202457	Spectral angle	2.019455388795384
Euclidean distance	3094.194302683981	Euclidean distance	2662.9789110490537
Bray-Curtis similarity [%]	95.31264973323435	Bray-Curtis similarity [%]	95.91692563418236
	MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 4 C_name = Logging_3		MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 5 C_name = Logging_4
	MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 8 C_name = Burn_7		MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 8 C_name = Burn_7
Jeffries-Matusita distance	1.9999975944281245	Jeffries-Matusita distance	1.9997204153472778
Spectral angle	1.9325181754327119	Spectral angle	2.2248478565720555
Euclidean distance	3048.727487592488	Euclidean distance	2807.6054863463282
Bray-Curtis similarity [%]	95.335217497296	Bray-Curtis similarity [%]	95.93950535408504
	MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 4 C_name = Logging_3		MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 5 C_name = Logging_4
	MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 9 C_name = Burn_8		MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 9 C_name = Burn_8
Jeffries-Matusita distance	1.9999988678602652	Jeffries-Matusita distance	1.9996907830108361
Spectral angle	2.202930397728754	Spectral angle	1.658501654852803
Euclidean distance	3001.4274596818095	Euclidean distance	2611.1273367861627
Bray-Curtis similarity [%]	95.3280631391206	Bray-Curtis similarity [%]	95.93234721239006
	MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 4 C_name = Logging_3		MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 5 C_name = Logging_4
	MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 10 C_name = Burn_9		MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 10 C_name = Burn_9
Jeffries-Matusita distance	1.999993114167505	Jeffries-Matusita distance	1.999991735102547
Spectral angle	2.871403935698057	Spectral angle	3.25045837446162
Euclidean distance	3793.704818338533	Euclidean distance	3583.8146866408983
Bray-Curtis similarity [%]	94.35747604652228	Bray-Curtis similarity [%]	94.96118932856007
	MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 4 C_name = Logging_3		MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 5 C_name = Logging_4
	MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 11 C_name = Burn_10		MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 11 C_name = Burn_10
Jeffries-Matusita distance	1.99999736170003	Jeffries-Matusita distance	1.9999838650950088
Spectral angle	3.499146214669049	Spectral angle	4.0341842649696895
Euclidean distance	4260.58244724489	Euclidean distance	4094.4388960837186
Bray-Curtis similarity [%]	93.75346795055762	Bray-Curtis similarity [%]	94.3567683856779

Рисунок В.2 – Таблица характеристик разделимости для сигнатур Logging\_3-Logging\_4 и Burn\_1-Burn\_10

	MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 6 C_name = Logging_5		MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 7 C_name = Logging_6
	MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 2 C_name = Burn_1		MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 2 C_name = Burn_1
Jeffries-Matusita distance	1.9999999999999998	Jeffries-Matusita distance	2.0
Spectral angle	5.555205980169766	Spectral angle	8.533932609763417
Euclidean distance	3591.3024151374743	Euclidean distance	4343.89354216042
Bray-Curtis similarity [%]	95.96386281475404	Bray-Curtis similarity [%]	95.09902239746265

	MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 6 C_name = Logging_5		MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 7 C_name = Logging_6
	MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 3 C_name = Burn_2		MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 3 C_name = Burn_2
Jeffries-Matusita distance	1.9999133221137435	Jeffries-Matusita distance	1.9999998650174697
Spectral angle	1.3167742512279674	Spectral angle	3.5724891885741665
Euclidean distance	2188.878300513816	Euclidean distance	2026.7918752180747
Bray-Curtis similarity [%]	96.59091123198816	Bray-Curtis similarity [%]	97.88180545961174

	MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 6 C_name = Logging_5		MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 7 C_name = Logging_6
	MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 4 C_name = Burn_3		MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 4 C_name = Burn_3
Jeffries-Matusita distance	1.999999846543326	Jeffries-Matusita distance	1.9380199097273891
Spectral angle	2.074362638660654	Spectral angle	2.5821003647656435
Euclidean distance	3311.5225439267733	Euclidean distance	2424.05005979662
Bray-Curtis similarity [%]	94.5795161453633	Bray-Curtis similarity [%]	96.72187389108811

	MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 6 C_name = Logging_5		MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 7 C_name = Logging_6
	MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 5 C_name = Burn_4		MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 5 C_name = Burn_4
Jeffries-Matusita distance	1.9993358014162665	Jeffries-Matusita distance	1.9989265110248033
Spectral angle	1.0453141086324091	Spectral angle	3.1264225347874173
Euclidean distance	2198.2218891127095	Euclidean distance	1866.5509817551201
Bray-Curtis similarity [%]	96.43057082960705	Bray-Curtis similarity [%]	98.02407442178374

	MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 6 C_name = Logging_5		MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 7 C_name = Logging_6
	MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 6 C_name = Burn_5		MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 6 C_name = Burn_5
Jeffries-Matusita distance	1.9999902015070694	Jeffries-Matusita distance	1.999976938432744
Spectral angle	1.772615078354799	Spectral angle	2.3543718263982814
Euclidean distance	2305.742937200826	Euclidean distance	1566.5022640938785
Bray-Curtis similarity [%]	96.39214203435837	Bray-Curtis similarity [%]	98.13143258611807

	MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 6 C_name = Logging_5		MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 7 C_name = Logging_6
	MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 7 C_name = Burn_6		MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 7 C_name = Burn_6
Jeffries-Matusita distance	1.9793287023493291	Jeffries-Matusita distance	1.9968810579645173
Spectral angle	1.9440067226596207	Spectral angle	2.093481902260662
Euclidean distance	2281.551010335787	Euclidean distance	1429.7668111038245
Bray-Curtis similarity [%]	96.47897946506752	Bray-Curtis similarity [%]	98.25185051698415

	MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 6 C_name = Logging_5		MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 7 C_name = Logging_6
	MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 8 C_name = Burn_7		MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 8 C_name = Burn_7
Jeffries-Matusita distance	1.99972817583044	Jeffries-Matusita distance	1.99999929087786
Spectral angle	1.6988057385399273	Spectral angle	4.124162897694151
Euclidean distance	2337.5059583854004	Euclidean distance	2304.1813248271064
Bray-Curtis similarity [%]	96.5015688227402	Bray-Curtis similarity [%]	97.6222497583332

	MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 6 C_name = Logging_5		MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 7 C_name = Logging_6
	MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 9 C_name = Burn_8		MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 9 C_name = Burn_8
Jeffries-Matusita distance	1.9997315509341702	Jeffries-Matusita distance	1.9982757892984926
Spectral angle	1.4555417706819358	Spectral angle	2.534273928719389
Euclidean distance	2200.7018478397404	Euclidean distance	1600.2175628438788
Bray-Curtis similarity [%]	96.49440763193151	Bray-Curtis similarity [%]	98.24848192648597

	MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 6 C_name = Logging_5		MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 7 C_name = Logging_6
	MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 10 C_name = Burn_9		MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 10 C_name = Burn_9
Jeffries-Matusita distance	1.9999623722950486	Jeffries-Matusita distance	1.9999998198128763
Spectral angle	2.7433447355892038	Spectral angle	4.903054297304375
Euclidean distance	3112.186933644772	Euclidean distance	2938.9871064740996
Bray-Curtis similarity [%]	95.52278255385576	Bray-Curtis similarity [%]	96.72452997504978

	MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 6 C_name = Logging_5		MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 7 C_name = Logging_6
	MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 11 C_name = Burn_10		MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 11 C_name = Burn_10
Jeffries-Matusita distance	1.9999145818179553	Jeffries-Matusita distance	1.999999979637433
Spectral angle	3.5109428156819598	Spectral angle	5.811320581341071
Euclidean distance	3616.6547062751933	Euclidean distance	3501.8863343318635
Bray-Curtis similarity [%]	94.9180171976166	Bray-Curtis similarity [%]	96.08753875983942

Рисунок В.3 – Таблица характеристик разделимости для сигнатур Logging\_5-Logging\_6 и Burn\_1-Burn\_10

MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 8 C_name = Logging_7	MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 2 C_name = Burn_1
Jeffries-Matusita distance	1.9999999999999993
Spectral angle	5.03619064579424
Euclidean distance	4344.258396059103
Bray-Curtis similarity [%]	94.57156449262791

MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 9 C_name = Logging_8	MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 2 C_name = Burn_1
Jeffries-Matusita distance	2.0
Spectral angle	6.195447743102047
Euclidean distance	4474.904117172121
Bray-Curtis similarity [%]	94.87402925608266

MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 8 C_name = Logging_7	MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 3 C_name = Burn_2
Jeffries-Matusita distance	1.9998838437823678
Spectral angle	2.553399679543637
Euclidean distance	3554.5376589951893
Bray-Curtis similarity [%]	94.68211804695085

MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 9 C_name = Logging_8	MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 3 C_name = Burn_2
Jeffries-Matusita distance	1.99999999999942737
Spectral angle	2.480893014584333
Euclidean distance	3247.7326409510683
Bray-Curtis similarity [%]	95.29570789130499

MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 8 C_name = Logging_7	MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 4 C_name = Burn_3
Jeffries-Matusita distance	1.9999169798189915
Spectral angle	3.58942658526093
Euclidean distance	4725.541040380773
Bray-Curtis similarity [%]	92.67484899219804

MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 9 C_name = Logging_8	MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 4 C_name = Burn_3
Jeffries-Matusita distance	1.999999997241731
Spectral angle	2.9778965798442614
Euclidean distance	4319.880833915329
Bray-Curtis similarity [%]	93.28695285698234

MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 8 C_name = Logging_7	MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 5 C_name = Burn_4
Jeffries-Matusita distance	1.9992098434309096
Spectral angle	2.483860181411563
Euclidean distance	3585.949794195395
Bray-Curtis similarity [%]	94.52204995479377

MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 9 C_name = Logging_8	MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 5 C_name = Burn_4
Jeffries-Matusita distance	1.9999998633840332
Spectral angle	2.1818967941775456
Euclidean distance	3236.5121661921803
Bray-Curtis similarity [%]	95.13553950847407

MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 8 C_name = Logging_7	MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 6 C_name = Burn_5
Jeffries-Matusita distance	1.9999610943314017
Spectral angle	3.3454297887506566
Euclidean distance	3757.754649495126
Bray-Curtis similarity [%]	94.48368788134142

MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 9 C_name = Logging_8	MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 6 C_name = Burn_5
Jeffries-Matusita distance	1.99999999999964235
Spectral angle	2.6724448668392546
Euclidean distance	3323.971975804733
Bray-Curtis similarity [%]	95.09715293056178

MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 8 C_name = Logging_7	MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 7 C_name = Burn_6
Jeffries-Matusita distance	1.99854671134201824
Spectral angle	3.513367511151691
Euclidean distance	3741.236788384692
Bray-Curtis similarity [%]	94.57037534292971

MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 9 C_name = Logging_8	MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 7 C_name = Burn_6
Jeffries-Matusita distance	1.9999993520825528
Spectral angle	2.742057384768913
Euclidean distance	3280.321756739269
Bray-Curtis similarity [%]	95.18389550737443

MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 8 C_name = Logging_7	MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 8 C_name = Burn_7
Jeffries-Matusita distance	1.99999608230678192
Spectral angle	2.652090393783634
Euclidean distance	3656.6563078666554
Bray-Curtis similarity [%]	94.59292616010934

MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 9 C_name = Logging_8	MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 8 C_name = Burn_7
Jeffries-Matusita distance	1.9999999999999776
Spectral angle	2.833653728914831
Euclidean distance	3402.2605863629847
Bray-Curtis similarity [%]	95.2064605105126

MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 8 C_name = Logging_7	MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 9 C_name = Burn_8
Jeffries-Matusita distance	1.9993408185144845
Spectral angle	3.0076290030044897
Euclidean distance	3636.2027064982217
Bray-Curtis similarity [%]	94.58577716618146

MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 9 C_name = Logging_8	MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 9 C_name = Burn_8
Jeffries-Matusita distance	1.9999999980253553
Spectral angle	2.4035426918624903
Euclidean distance	3222.9425973459406
Bray-Curtis similarity [%]	95.19930702617329

MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 8 C_name = Logging_7	MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 10 C_name = Burn_9
Jeffries-Matusita distance	1.999995229231979
Spectral angle	3.5587858823493916
Euclidean distance	4403.1676247290425
Bray-Curtis similarity [%]	93.61598834530176

MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 9 C_name = Logging_8	MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 10 C_name = Burn_9
Jeffries-Matusita distance	1.9999999997215692
Spectral angle	3.853650507939079
Euclidean distance	4180.779679323224
Bray-Curtis similarity [%]	94.22885072527934

MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 8 C_name = Logging_7	MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 11 C_name = Burn_10
Jeffries-Matusita distance	1.99998388939387
Spectral angle	4.068840783494824
Euclidean distance	4848.482549875915
Bray-Curtis similarity [%]	93.01254770790987

MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 9 C_name = Logging_8	MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 11 C_name = Burn_10
Jeffries-Matusita distance	1.9999999982211822
Spectral angle	4.573932182466037
Euclidean distance	4677.846437329602
Bray-Curtis similarity [%]	93.62493629304426

Рисунок В.4 – Таблица характеристик разделимости для сигнатур Logging\_7-Logging\_8 и Burn\_1-Burn\_10

	MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 10 C_name = Logging_9		MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 11 C_name = Logging_10
	MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 2 C_name = Burn_1		MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 2 C_name = Burn_1
Jeffries-Matusita distance	2.0	Jeffries-Matusita distance	1.9999999999999982
Spectral angle	7.878928531063572	Spectral angle	6.222595086120513
Euclidean distance	4919.95600438317	Euclidean distance	4940.293194144149
Bray-Curtis similarity [%]	94.61583594699032	Bray-Curtis similarity [%]	94.26466765292066

	MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 10 C_name = Logging_9		MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 11 C_name = Logging_10
	MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 3 C_name = Burn_2		MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 3 C_name = Burn_2
Jeffries-Matusita distance	1.9999999995022146	Jeffries-Matusita distance	1.9999999820068226
Spectral angle	3.3144166081421402	Spectral angle	2.555364473529484
Euclidean distance	3188.347842642173	Euclidean distance	3813.5078509479954
Bray-Curtis similarity [%]	95.82878724163425	Bray-Curtis similarity [%]	94.3751835943402

	MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 10 C_name = Logging_9		MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 11 C_name = Logging_10
	MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 4 C_name = Burn_3		MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 3 C_name = Burn_3
Jeffries-Matusita distance	1.999997827463686	Jeffries-Matusita distance	1.9999996648195077
Spectral angle	2.932687879585852	Spectral angle	3.0434662225385436
Euclidean distance	4047.21484167458	Euclidean distance	4890.8643167325745
Bray-Curtis similarity [%]	93.93442923105947	Bray-Curtis similarity [%]	92.36871460038638

	MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 10 C_name = Logging_9		MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 11 C_name = Logging_10
	MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 5 C_name = Burn_4		MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 4 C_name = Burn_4
Jeffries-Matusita distance	1.9999996549037538	Jeffries-Matusita distance	1.9999911355397157
Spectral angle	2.8576706659025644	Spectral angle	2.247865875088763
Euclidean distance	3115.2192013140902	Euclidean distance	3807.5515332395694
Bray-Curtis similarity [%]	95.78432987993502	Bray-Curtis similarity [%]	94.21517020496239

	MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 10 C_name = Logging_9		MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 11 C_name = Logging_10
	MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 6 C_name = Burn_5		MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 6 C_name = Burn_5
Jeffries-Matusita distance	1.999999999941267	Jeffries-Matusita distance	1.999999799591803
Spectral angle	2.5777165772818904	Spectral angle	2.70566039314049
Euclidean distance	3046.747468876152	Euclidean distance	3878.891247295448
Bray-Curtis similarity [%]	95.74592053857783	Bray-Curtis similarity [%]	94.17682147585643

	MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 10 C_name = Logging_9		MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 11 C_name = Logging_10
	MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 7 C_name = Burn_6		MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 7 C_name = Burn_6
Jeffries-Matusita distance	1.9999916499896053	Jeffries-Matusita distance	1.9999170770073709
Spectral angle	2.4471194530824634	Spectral angle	2.7711742425605026
Euclidean distance	2960.7153348335654	Euclidean distance	3831.255827327379
Bray-Curtis similarity [%]	95.8327142812569	Bray-Curtis similarity [%]	94.26347891188766

	MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 10 C_name = Logging_9		MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 11 C_name = Logging_10
	MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 8 C_name = Burn_7		MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 8 C_name = Burn_7
Jeffries-Matusita distance	1.999999999998666	Jeffries-Matusita distance	1.999999997383473
Spectral angle	3.841853515815755	Spectral angle	2.91576946596716
Euclidean distance	3408.292725607793	Euclidean distance	3963.760590474656
Bray-Curtis similarity [%]	95.6591009857854	Bray-Curtis similarity [%]	94.28602199403791

	MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 10 C_name = Logging_9		MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 11 C_name = Logging_10
	MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 9 C_name = Burn_8		MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 9 C_name = Burn_8
Jeffries-Matusita distance	1.999999980479719	Jeffries-Matusita distance	1.9999989636157163
Spectral angle	2.552581219154347	Spectral angle	2.4608902781171245
Euclidean distance	2994.7794612263187	Euclidean distance	3787.1967324325774
Bray-Curtis similarity [%]	95.84813478823017	Bray-Curtis similarity [%]	94.27887544885837

	MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 10 C_name = Logging_9		MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 11 C_name = Logging_10
	MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 10 C_name = Burn_9		MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 10 C_name = Burn_9
Jeffries-Matusita distance	1.999999998631877	Jeffries-Matusita distance	1.999999339497401
Spectral angle	4.8083284842052105	Spectral angle	3.9123817749426233
Euclidean distance	4183.01413338516	Euclidean distance	4730.112436154874
Bray-Curtis similarity [%]	94.6904018560849	Bray-Curtis similarity [%]	93.3094479614231

	MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 10 C_name = Logging_9		MC_ID = 1 MC_name = Logging C_ID = 11 C_name = Logging_10
	MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 11 C_name = Burn_10		MC_ID = 2 MC_name = Burn C_ID = 11 C_name = Burn_10
Jeffries-Matusita distance	1.999999990506656	Jeffries-Matusita distance	1.9999994068391764
Spectral angle	5.674537824521057	Spectral angle	4.636268066220098
Euclidean distance	4730.95603805111	Euclidean distance	5222.927756704112
Bray-Curtis similarity [%]	94.06078685974643	Bray-Curtis similarity [%]	92.70626136896063

Рисунок В.4 – Таблица характеристик разделимости для сигнатур Logging\_9-Logging\_10 и Burn\_1-Burn\_10

## ПРИЛОЖЕНИЕ Г

### Таблицы признаков формы на снимке Landsat 8 за 03.06.2021

Таблица Г.1 – Признаки формы векторного слоя вырубок

ID	A	P	P/A	P/sqrt(A)	Deqpc	Sphericity	Shape Index	Dmax	DmaxDir	Dmax/A	Dmax/sqrt(A)
0	7,87609E-05	0,040923122	519,586879	4,611194786	0,010014064	0,768761214	1,300794033	0,017307343	124,5463444	219,7454063	1,950181794
1	0,00006596	0,0338018	512,4592228	4,161975977	0,009164216	0,851736704	1,174071747	0,012357698	135,1724092	187,3514584	1,521588908
2	2,47642E-05	0,023140483	934,4321707	4,650076531	0,005615228	0,762333196	1,311762371	0,009478088	62,10531658	382,7331804	1,904620405
3	6,24122E-05	0,031712137	508,1079875	4,014123817	0,008914353	0,883108709	1,132363422	0,01150061	130,2507145	184,2686279	1,455747806
4	4,81088E-05	0,028638973	595,2953183	4,129000662	0,007826499	0,858538904	1,164769582	0,010599433	120,499517	220,3218894	1,528164592
5	7,79889E-05	0,03533131	453,0297136	4,000766565	0,009964869	0,88605712	1,128595411	0,012587213	135,1859581	161,3974046	1,425322271
6	7,03003E-05	0,038851663	552,6527322	4,633732588	0,009460927	0,765022071	1,30715183	0,017701338	63,21283475	251,795988	2,11119064
7	6,81271E-05	0,032679026	479,6772474	3,959215225	0,009313546	0,89535615	1,116873995	0,011612147	130,5954304	170,4482441	1,406865318
8	7,53793E-05	0,034814849	461,8622885	4,009945883	0,009796728	0,884028814	1,131184849	0,012879935	133,288256	170,8683643	1,483500409
9	6,24122E-05	0,031712137	508,1079875	4,014123817	0,008914353	0,883108709	1,132363422	0,01150061	130,2507145	184,2686279	1,455747806



Таблица Г.2 – Признаки формы векторного слоя гарей

ID	A	P	P/A	P/sqrt(A)	Deqpc	Sphericity	Shape Index	Dmax	DmaxDir	Dmax/A	Dmax/sqrt(A)
0	0,002332125	0,381984786	163,7926234	7,909885597	0,054491771	0,448161691	2,231337531	0,113724646	100,9833502	48,76439784	2,354933941
1	0,001506061	0,326331645	216,6789045	8,408875268	0,043790141	0,421567402	2,372099918	0,092443206	104,4614386	61,3807851	2,382065605
2	0,016309624	1,002015476	61,43706866	7,846075044	0,14410433	0,4518065	2,213336906	0,297778952	76,55952567	18,2578676	2,331696522
3	0,003024055	0,359254269	118,7988686	6,532916708	0,062051156	0,542622516	1,842901778	0,106866585	72,0987416	35,3388406	1,943332499
4	0,001934331	0,276337495	142,8594926	6,283107054	0,049627273	0,56419661	1,772431776	0,074956022	74,98323899	38,75036673	1,704280885
5	0,000859367	0,315596019	367,2422477	10,76569513	0,0330784	0,329278106	3,036946525	0,061458245	74,21696728	71,51568052	2,096479961
6	0,00012844	0,074812648	582,472233	6,601233988	0,012788069	0,537006825	1,862173727	0,027413577	84,09378137	213,4351331	2,418888275
7	0,000360324	0,155383555	431,2330474	8,18575128	0,021419117	0,433058321	2,309157803	0,044912886	77,99857258	124,6458833	2,366052891
8	0,000653973	0,310870449	475,3567354	12,15624785	0,028855922	0,291611996	3,429214206	0,082216579	80,23037179	125,7186229	3,214989134
9	0,009848007	1,177207164	119,5375992	11,86256794	0,111977107	0,298831393	3,346368634	0,200152071	75,07467075	20,32411862	2,016907146

Министерство науки и высшего образования РФ  
Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Институт космических и информационных технологий  
Кафедра систем искусственного интеллекта

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

Г.М. Цибульский  
инициалы, фамилия

подпись

« 26 » 06 2023 г.

### БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Анализ спектральных признаков и формы гарей и вырубок на  
мультиспектральных снимках

09.03.02 – Информационные системы и технологии

Научный руководитель/

руководитель Фед 26.06 доцент кафедры Б-ГИС, к.б.н. Е.В. Федотова  
подпись, дата должность, ученая степень инициалы, фамилия

Выпускник

Казанцев 26.06.23  
подпись, дата

П.Ю. Казанцев  
инициалы, фамилия

Нормоконтролер

Федотов 26.06.23 Е.В. Федотова  
подпись, дата инициалы, фамилия

Красноярск 2023