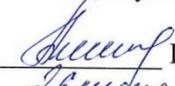


МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«ТЮМЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ИНСТИТУТ НАУК О ЗЕМЛЕ  
Кафедра социально-экономической географии и природопользования

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

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

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**  
(магистерская диссертация)

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ РАСТИТЕЛЬНЫХ СООБЩЕСТВ  
НА ЕСТЕСТВЕННЫХ ПЕСЧАНЫХ ОБНАЖЕНИЯХ В СЕВЕРНОЙ ТАЙГЕ  
ЗАПАДНОЙ СИБИРИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ  
ТЕХНОЛОГИЙ И СПЕКТРОЗОНАЛЬНОЙ СЪЕМКИ

05.04.06 «Экология и природопользование»  
Магистерская программа «Геоэкология нефтегазодобывающих регионов»

Выполнила работу  
Студентка 2 курса  
очной формы обучения



Чубик  
Дарья  
Сергеевна

Научный руководитель  
д.б.н, профессор



Соромотин  
Андрей  
Владимирович

Рецензент  
Начальник отдела охраны  
окружающей среды, здоровья,  
охраны труда АО "ЕВРАКОР"



Чупрунов  
Юрий  
Николаевич

г. Тюмень, 2019

## ОГЛАВЛЕНИЕ

АННОТАЦИЯ.....	3
ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1 ФОРМИРОВАНИЯ И ГЕНЕЗИСА ЕСТЕСТВЕННЫХ ПЕСЧАНЫХ ОБНАЖЕНИЙ НА СЕВЕРЕ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ.....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
1.1 Особенности рельефа .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
1.2 Геология и геоморфология .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
1.3 Растительность .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
1.4 Техногенная нагрузка.....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
Выводы.....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
ГЛАВА 2 МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	7
2.1 Вегетационные индексы.....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
2.2 Использование индекса NDVI.....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
2.3 Особенности фотоаппарата Agrosam и программного обеспечения.....	7
2.4 Характеристики космических систем Landsat-8 и Sentinel-2 .....	11
2.5 Описание модельного песчаного раздува .....	15
Выводы.....	17
ГЛАВА 3 ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ РАСТИТЕЛЬНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ МЕЗОРЕЛЬЕФА ПЕСЧАНЫХ ДЮН.....	19
3.1 Характеристика модельных площадок .....	19
3.2 Зависимость значений NDVI от состояния растительного покрова различных элементов мезорельефа песчаных дюн.....	21
3.3 Сравнительный анализ спектрзональной съемки с данными ДЗЗ спутников Landsat - 8 и Sentinel - 2.....	28
Выводы.....	29
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	31
СПИСОК ИСТОЧНИКОВ И ЛИТЕРАТУРЫ.....	32

## АННОТАЦИЯ

Фотографии полученные с камеры Agrosam и обработанные с помощью специального программного обеспечения имеют достоверный индекс NDVI, их можно оформить в наглядный картографический материал. Результаты данного исследования можно предложить в качестве нового способа мониторинга растительности и оценки эффективности рекультивации земель труднодоступных нефтегазодобывающих территорий.

**Ключевые слова:** камера Agrosam, индекс NDVI, мониторинг растительности, нефтегазодобывающие территории, оценка состояния растительности, дистанционный метод, картографический материал.

Photos taken from the Agrosam camera and processed using a special program have a reliable NDVI index. It can be arranged in a visual cartographic material. The results of this study can be proposed as a new way to monitor vegetation and assess the effectiveness of land reclamation in oil and gas producing territories.

**Keywords:** Agrosam camera, NDVI index, vegetation monitoring, oil and gas producing territories, assessment of vegetation condition, remote method, cartographic material.

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность:** В связи с интенсивным освоением территорий Крайнего Севера и местностей, приравненных к ним, возрастает необходимость получения информации о состоянии природных сред дистанционно. Это объясняется тем, что основными наблюдениями этого региона является производственный экологический контроль или изыскания при проектировании на лицензионных участках. Данные исследования не всегда достоверны и не отображают реальной картины состояния окружающей среды, так как не являются общедоступными и не соединены в единую сеть наблюдений. Но даже на лицензионных участках проведение мониторинга затрудняется отсутствием дорог и инфраструктуры, высокой заболоченностью и суровым климатом. На помощь науке должны прийти новые методы. Методы, используемые для получения данной информации должны отвечать двум основным требованиям: отражать достоверные данные и иметь низкую себестоимость. Одним из таких методов может стать спектральная съемка камерой Agrosam.

**Гипотеза:** если полученные и обработанные фотографии с камеры Agrosam будут иметь достоверный индекс NDVI, и данные можно будет оформить в картографический материал, то результаты данного исследования можно предложить в качестве нового способа мониторинга растительности и оценки эффективности рекультивации техногенно-нарушенных земель.

**Объект исследования:** растительный покров природного песчаного раздува в районе города Надыма (ЯНАО).

**Предмет исследования:** оценка состояния растительного покрова на различных формах мезорельефа песчаных дюн.

**Цель:** оценить состояние естественных растительных сообществ на природных песчаных обнажениях в северной тайге Западной Сибири с использованием наземной спектральной съемки.

### **Задачи:**

1. Описать условия формирования и генезиса естественных песчаных обнажений на севере Западной Сибири;
2. Изучить возможность использования спектральной съемки для оценки состояния растительности;

3. Отработать методику обработки полученных спектрзональных снимков камеры Agrosam для расчета значений NDVI растительного покрова различных элементов мезорельефа песчаных дюн и составить картосхемы отснятых площадок.

4. Выявить зависимость значений NDVI от состояния растительного покрова различных элементов мезорельефа песчаных дюн.

5. Сравнить полученные результаты наземной съемки камерой Agrosam с данными ДЗЗ спутниками Landsat 8 и Sentinel 2.

**Защищаемые положения:**

- наземная спектрзональная съемка позволяет проводить оценку состояния растительного покрова на малых площадях, что невозможно сделать ДЗЗ со спутников;

- состояние растительного покрова песчаного раздува зависит от приуроченности к элементам мезорельефа дюн, что подтверждается значениями NDVI, рассчитанными по наземным спектрзональным снимкам.

**Научная новизна:** впервые применен метод наземной спектрзональной съемки с помощью специализированной камеры AgroCam для оценки состояния растительного покрова естественных песчаных раздувов в северной тайге Западной Сибири с расчетом вегетационного индекса. Полученные данные позволили выявить инструментальным методом закономерности состояния локальных фитоценозов различных элементов мезорельефа дюн песчаного раздува.

**Методика исследования:** Фотоаппарат Agrosam обладает ближним инфракрасным (NIR) и синим фильтром, что позволяет ему получить наглядные результаты (высокий контраст на изображениях NDVI) благодаря тому, что канал NIR и видимые каналы разделены [26].

Съемка с использованием этой камеры может вестись непрерывно и охватывать большие территории, что позволяет оценить состояние растительного покрова в пространстве.

AgroCam является проектом the Norward Expert LLC's Aerial Farming, и имеет собственный онлайн софт, позволяющий обрабатывать полученные данные с фотоаппарата Agrosam (<https://www.agrosam.eu/>). Для получения полноценной картинки необходимо минимум 70-100 снимков, перекрывающих друг друга не менее чем на 60 %. После обработки полученных снимков получается "сшитое" изображение [26].

С помощью программного обеспечения после обработки снимков можно получить снимок в формате TIFF, в котором содержится информация о географических координатах, снятой территории, времени и дате съемки. Каждый пиксель TIFF-изображения содержит информацию о значении индекса NDVI. На базе Esri Arcgis

оформляем полученные значения NDVI, для наглядности, в классификацию, обозначив наибольшие значения NDVI зеленым цветом, а значения стремящиеся к нулю – светло-желтыми.

**Информация о публикациях:** по результатам исследований опубликованы тезисы в сборнике XIII Всероссийской научно-исследовательской конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Географическое изучение территориальных систем». Исследование было отмечено дипломом II степени на 70 Студенческой научной конференции ТюмГУ 2019г.

**Структура работы:** магистерская диссертация состоит из аннотации, введения, трех глав, заключения и списка литературы. Текст работы изложен на 52 страницах печатного текста, содержит 29 рисунков, 1 таблицу. Список использованной литературы включает в себя 27 источников. В первой главе рассматриваются особенности рельефа, геология и геоморфология, растительность и техногенная нагрузка территории. Во второй главе описываются вегетационные индексы, и возможность их применения, особенности фотоаппарата Agrosat и программного обеспечения , дается характеристика космических систем Landsat-8 и Sentinel-2, описывается модельный песчаный раздув. В третьей главе дается характеристика модельных площадок , оценивается зависимость значений NDVI от состояния растительного покрова различных элементов мезорельефа песчаных дюн, дается сравнительный анализ спектральной съемки с данными ДЗЗ спутников Landsat - 8 и Sentinel - 2.

## ГЛАВА 2 МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

### 2.3 Особенности фотоаппарата Agrosam и программного обеспечения

На труднодоступных участках заболоченной местности тяжело оценить состояние растительности, с помощью натуральных исследований. Необходимо использовать дистанционные методы. Одним из таких методов является съемка фотоаппаратом Agrosam.

Фотоаппарат Agrosam обладает ближним инфракрасным (NIR) и синим фильтром, что позволяет ему получить наглядные результаты (высокий контраст на изображениях NDVI) благодаря тому, что канал NIR и видимые каналы разделены.

Если использовать беспилотные устройства в тандеме с фотоаппаратом Agrosam - съемка может вестись непрерывно и охватывать большие территории, что позволяет оценить состояние растительного покрова в пространстве [26].

AgroCam является проектом the Norward Expert LLC's Aerial Farming, и имеет собственный онлайн софт, позволяющий обрабатывать полученные данные с фотоаппарата Agrosam (Рисунок 1) [26].

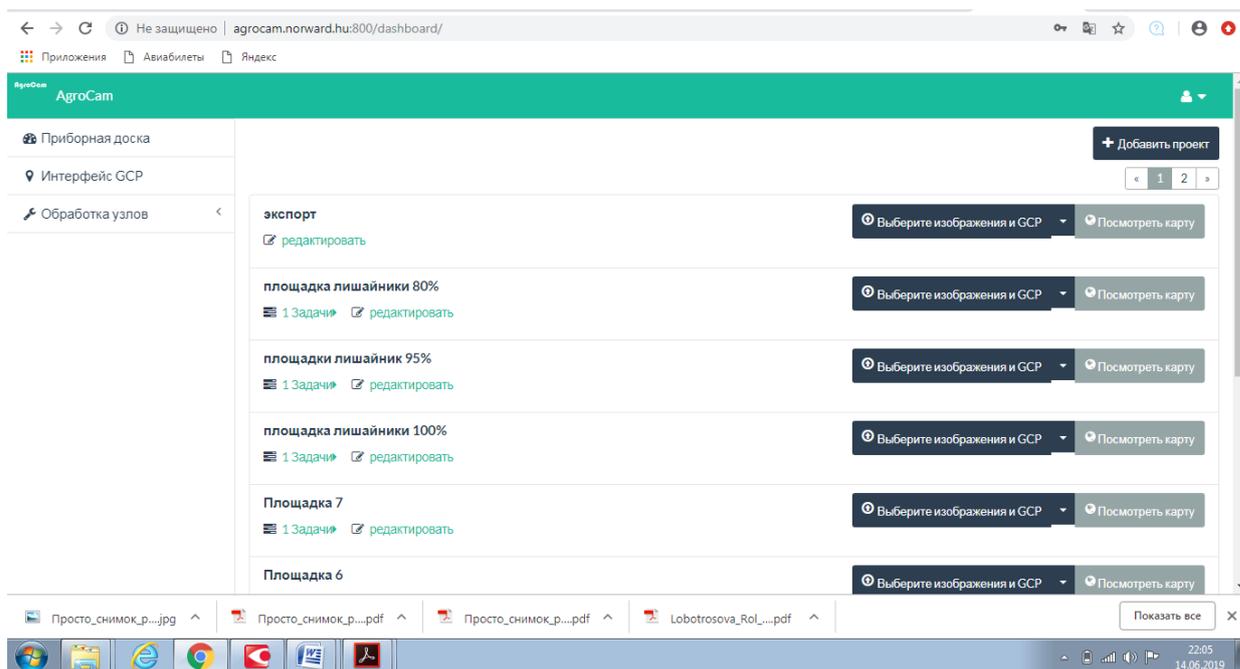


Рисунок 1 – Программа обработки спектрзональных снимков, разработанная специально для Agrosam [26]

Для получения полноценной картинки необходимо минимум 70-100 снимков, перекрывающих друг друга не менее чем на 60 %. Фотографии подгружаются онлайн, после чего программа их обрабатывает и выдает ряд данных, которые не ограничиваются только картой со значениями NDVI (Рисунок 2). С помощью программы также можно

получить 3D модель местности, ортофото и многое другое. В нашей работе, мы преследовали цель получения изображения в формате TIFF, которую мы получили после выгрузки архивов.

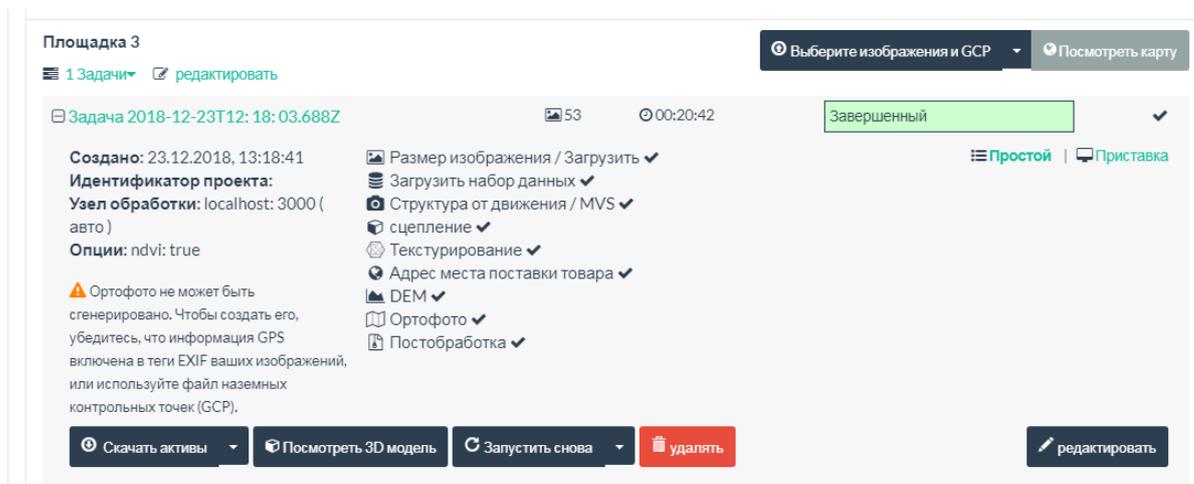


Рисунок 2 – Результаты обработки спектрональных снимков, посредством программного обеспечения Agrosam [26]

После обработки полученных снимков получается "сшитое" изображение – ортофото, на примере модельной площадки №2 (Рисунок 3).

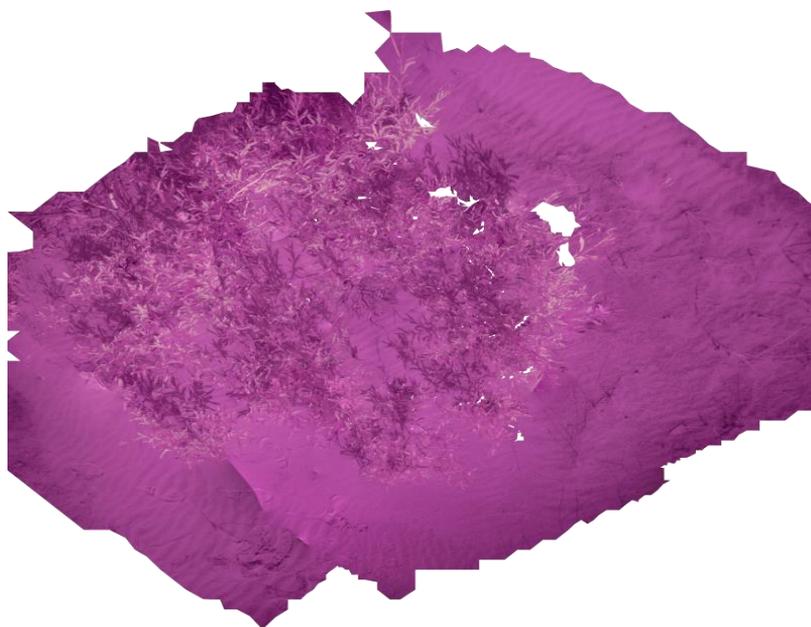


Рисунок 3 - Изображение модельной площадки №2, после объединения снимков, сделанных фотоаппаратом Agrosam

Как упоминалось ранее, с помощью программного обеспечения после обработки снимков можно получить снимок в формате TIFF, в котором содержится информация о геопривязки снятой территории, времени и дате съемки. Каждый пиксель TIFF-изображения содержит информацию о значении индекса NDVI.

С помощью Esri Arcgis оформим полученные значения NDVI, для наглядности, в классификацию, обозначив наибольшие значения NDVI зеленым цветом, а значения стремящиеся к нулю – светло желтым (Рисунок 4).

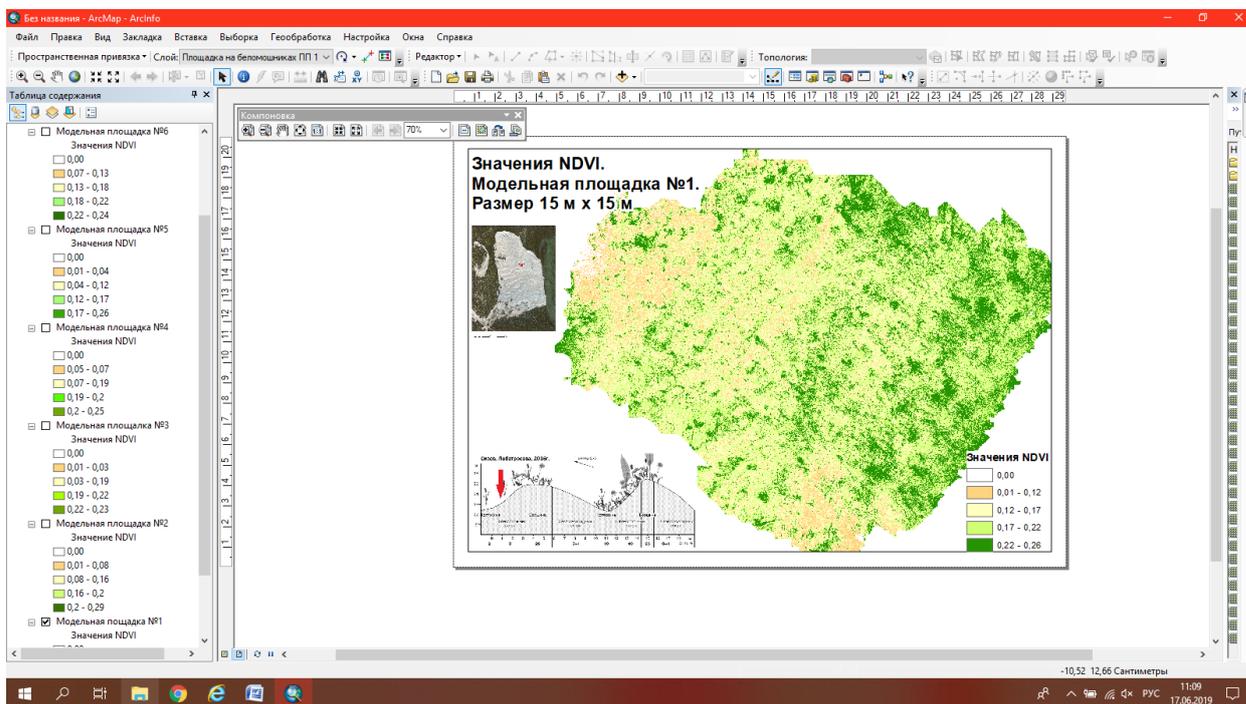


Рисунок 4 – Компоновка карты – схемы в программе Arcgis на основе TIFF – изображения

Рассмотрим детально спецификацию фотоаппарата AgroCam Pro NDVI.

С помощью данного оборудования можно получать мультиспектральные изображения и карты необходимого Вам района исследований с помощью одной (NDVI) или двойной (NIR + RGB) систем камер [26].

AgroCam является подпроектом проекта Aerial Farming от Norward Expert LLC, который посвящен разработке специализированных беспилотных летательных аппаратов и сенсорных технологий в сельском хозяйстве и не только [26].

Эти камеры оснащены превосходным фильтром NDVI-7, они чувствуют ближний и синий свет с минимальными помехами между каналами. Эти камеры могут быть использованы для однокамерной съемки NDVI. Оборудование хорошо тем, что оно доступно за небольшие деньги – примерно 350 \$.

Расчетные показатели:

$$\text{NDVI: } (\text{NIR} - \text{синий}) / (\text{NIR} + \text{синий})$$

$$\text{ENDVI: } ((\text{NIR} + \text{зеленый}) - (2 \times \text{синий})) / ((\text{NIR} + \text{зеленый}) + (2 \times \text{синий}))$$

С подробной характеристикой фотоаппарата Agrosam можно ознакомиться из таблицы №1 представленной ниже [26].

Таблица №1

Характеристика фотоаппарата Agrosam

Датчики и объектив	
Процессор изображения	Novatek NTK96660 высокопроизводительный процессор
Датчик изображения	16MP Sony EXMOR R CMOS BSI датчик изображения
Объектив	70° Стекланный объектив со сверхнизким искажением / диафрагма F2.8
G сенсор	G-сенсор высокой производительности
Дисплей	1,5 "ЖК-дисплей
Размер и вес	
Размеры	59 мм x 30 мм x 41 мм (аналогично GoPro)
Вес	64 g
Аккумулятор	
	Перезаряжаемая литий-ионная батарея высокой плотности (950 мАч)
	До 90 минут записи на 1080p 60fps
	Зарядка через USB-порт
Порты	
	Micro USB порт
	Micro HDMI порт
	Слот для карты Micro SD
Связь	
	Compatible with Micro SD card (up to 64GB) Class 10 and above
Connectivity	
	WiFi (радиус действия: до 100 м)
	Bluetooth 4.0 (радиус действия: до 10 м)
Формат видео и разрешения	
Формат сжатия видео	Кодирование изображения
Формат видео	MP4
Разрешение	2160P при 24 кадрах в секунду

	1440P при 30 кадрах в секунду
	1080P при 60/48/30/24 к / с
	960P при 60/48 кадр / с
	720P при 120/60/48 к / с
	480P при 240 к / с
Аудио	
	Встроенный микрофон
	Поддерживается внешний микрофон
Фото	
	16 мегапикселей
	4608 x 3456 Максимальное разрешение
	2 - 60-часовой режим покадровой
Характеристики	
	Внешний триггер через микро HDMI (RC сигнал сервопривода ШИМ)
	AV выход
	RAW выход
	Ручной баланс белого
	Гироскопическая стабилизация изображения

## 2.4 Характеристики космических систем Landsat-8 и Sentinel-2

Космический сегмент миссии SENTINEL-4 состоит из ультрафиолетового, видимого, ближнего инфракрасного (UVN) светового спектрометра, запущенного на спутнике «Метеозат третьего поколения» (MTG-S).

Airbus Defense and Space является главным подрядчиком, ответственным за разработку SENTINEL-4 [25].

Услуги Sentinel Hub обеспечивают долгосрочный анализ эффективным способом. Мы поддерживаем наш демонстрационный инструмент EO Browser, чтобы сделать эти функции доступными практически каждому.

С помощью Sentinel Hub можно сравнивать данные [24]:

**Для сравнения данных необходимо выполнить 4 простых шага (Рисунок 5):**

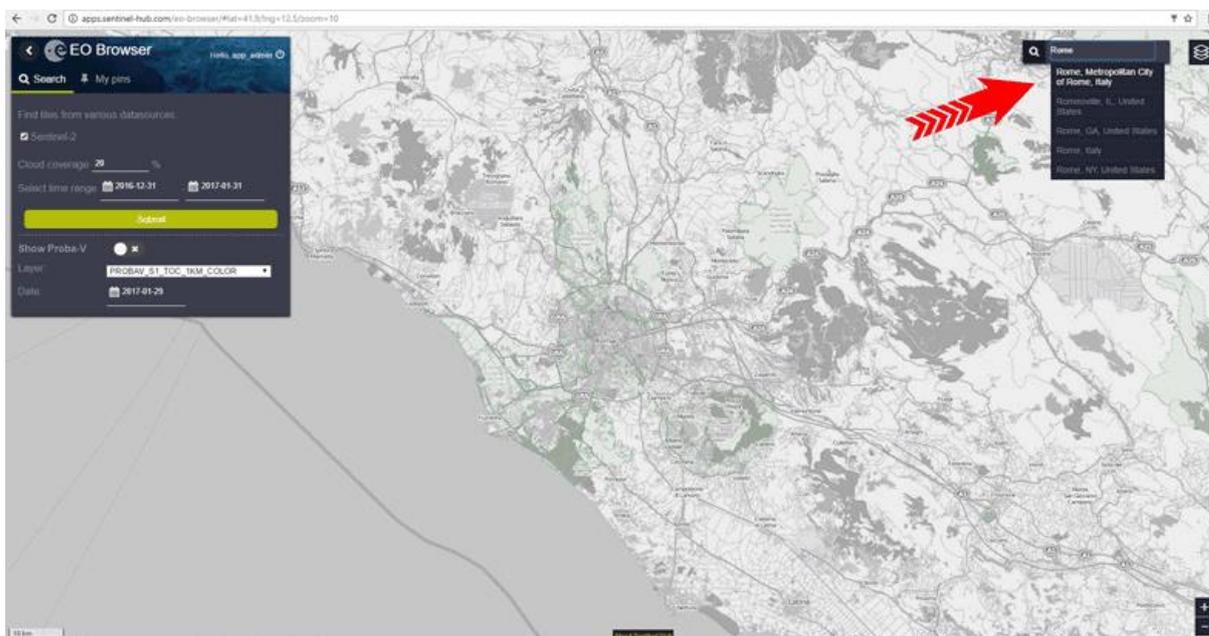


Рисунок 5 – Сравнение данных в интернет – ресурсе Sentinel Hub [24]

**Шаг 1:** Найдите интересующую вас область.

**Шаг 2:** Выберите критерии, такие как временной диапазон и облачный охват.

**Шаг 3:** Проверьте полученные данные из разных источников.

**Шаг 4:** Прикрепите ваши любимые результаты и сравните их.

Процесс в фоновом режиме заботится о выборе подходящих сцен, загрузке и обработке данных, а также создании мозаики [24].

Инструмент визуального сравнения позволяет наблюдать за изменениями в земле с 1984 года.

### **Промежуток времени**

Перейдите в интересующую вас область, выберите соответствующий источник данных (например, Sentinel-2, Landsat-8, MODIS) и настройку визуализации (истинный цвет, ложный цвет, NDVI). Затем нажмите кнопку «Создать Gif», где вы можете выбрать временной диапазон. EO Browser найдет все доступные для данной области сцены в соответствии с требованиями облачного покрытия и представит их в виде «кадров».

Затем вы можете просмотреть промежуток времени в правой части окна. Обратите внимание, что условие облачного покрытия применяется на полном уровне сцены (например, 100 км x 100 км), поэтому могут быть некоторые кадры со слишком большим количеством облаков. Просто снимите аномальные рамки слева (Рисунок 6) [24].

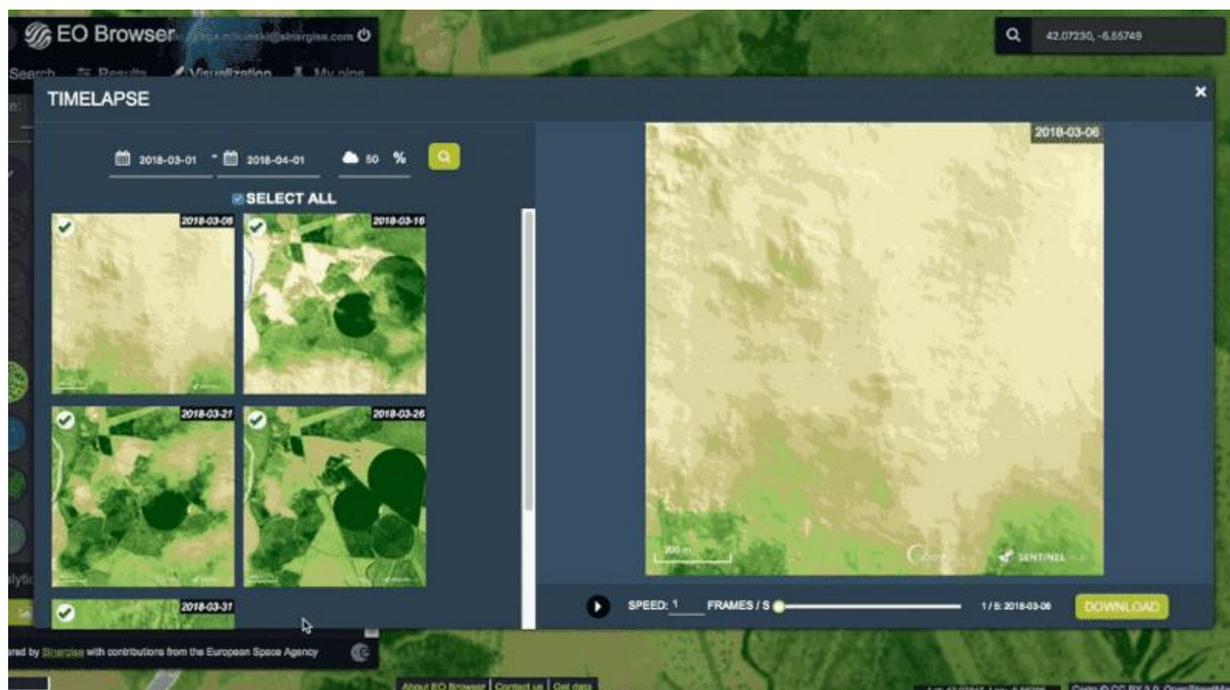


Рисунок 6 – Сравнение разновременных данных в интернет – ресурсе Sentinel Hub [24]

На основе программного обеспечения Sentinel Hub можно исследовать космические снимки с различных спутников и выделять на снимках интересующую нас информацию, например значения NDVI растительности на определенных участках в интересующий нас промежуток времени. Так на основе Sentinel Hub мы исследовали космоснимки Sentinel – 2 и Landsat – 8 на предмет величины значений NDVI в период июль – август 2018 года. На рисунках ниже представлены изображения исследуемого нами песчаного раздува в указанный период времени полученные посредством космических систем Sentinel – 2 и Landsat – 8 (Рисунок 7, 8).

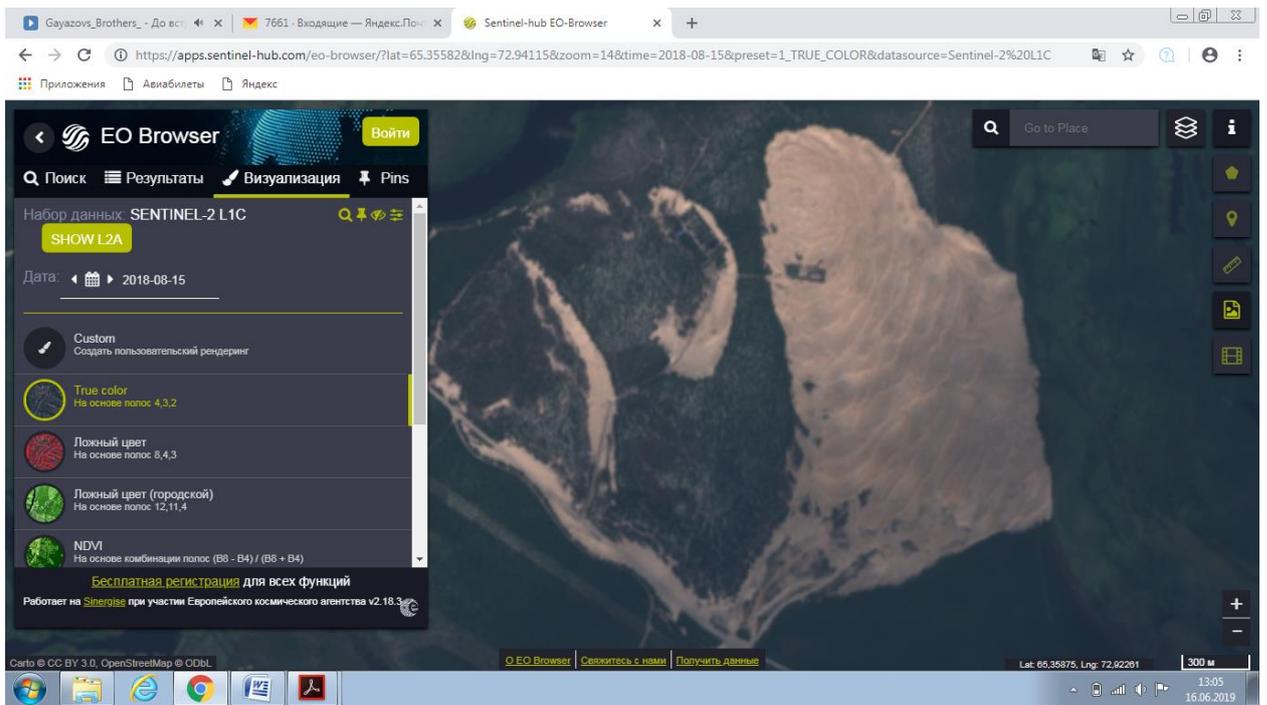


Рисунок 7 – Космический снимок Sentinel – 2 в Sentinel Hub

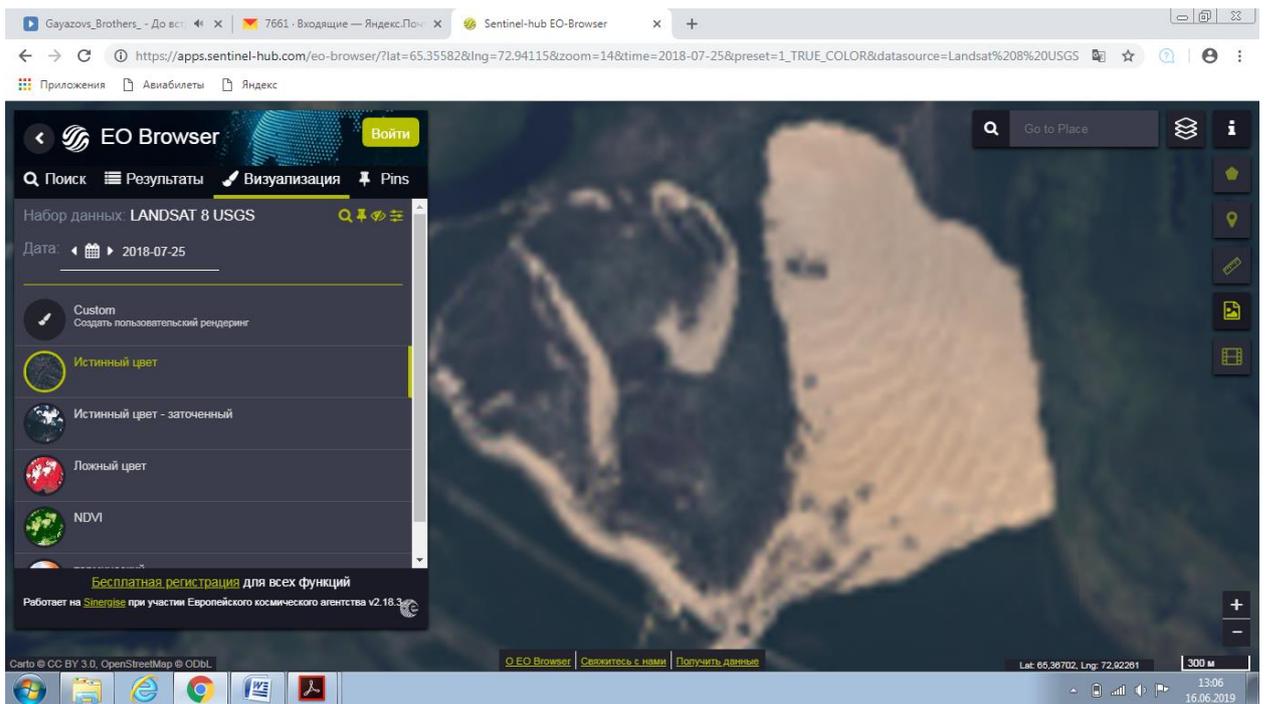


Рисунок 8 - Космический снимок Landsat - 8 в Sentinel Hub

## 2.5 Описание модельного песчаного раздува

Исследуемый участок расположен на территории Ямало–Ненецкого Автономного округа вблизи г. Надым. Территория характеризуется суровым климатом, малой изучимостью, редкой сетью дорог и опорных точек, крайне малой плотностью населения.

Район исследования находится в 40 км к юго-востоку от города Надым в центральной части Надымского района Ямало-Ненецкого автономного округа (Рисунок 9). Изучаемый эоловый массив размещается в подзоне северной тайги Западно-Сибирской равнины.

Располагается эоловый массив на территории второй надпойменной террасы реки Надым. Подобное природное образование также встречается вблизи рек Надым, Пякупур и Пур. Данный песчаный раздув был выбран в качестве эталона, который обладает всеми особенностями, которые встречаются на других эоловых образованиях (Рисунок 10) [5].



Рисунок 9 – Местоположение модельного песчаного раздува



Рисунок 10 – Подробная схема модельного песчаного раздува

Эоловые массивы на севере Западно-Сибирской равнины развиты довольно хорошо. Приурочены они чаще всего к долинам крупных рек.

Распределение растительности по территории исследованной модельной котловины выдувания зависит от многих экологических факторов. Для крупных песчаных массивов наиболее значимыми являются скорость и направление ветра. С помощью ветра на модельной котловине выдувания формируются три генерации дюн под действием северо-западных, северо-восточных и юго-западных ветров. Благодаря действию сильных ветров формируется специфический мезорельеф модельной котловины выдувания [14].

На поверхности изучаемого песчаного раздува можно выделить четыре формы рельефа дюн. На рисунке 11 показаны основные формы рельефа модельного раздува. Первая форма дюны - это комплексные дюны. Они представляют собой песчаные гряды кольцевидной формы, развевающиеся в разные стороны по кругу. Высота гряд составляет в среднем до 1 м, достигая максимальных значений во внешних грядах до 1,5 м. Площадь в рамках модельного раздува данной формы дюн составляет около 6 га или 13 % от площади песчаного раздува [14].

Степень зарастания песчаного раздува зависит от местоположения растительного покрова. Так, наиболее интенсивно зарастает подветренная сторона и котловина песчаной

дюны. Разреженной растительностью занята вершина раздува. На наветренной стороне практически отсутствует растительный покров [14]. Данные особенности отображены на рисунке 12.

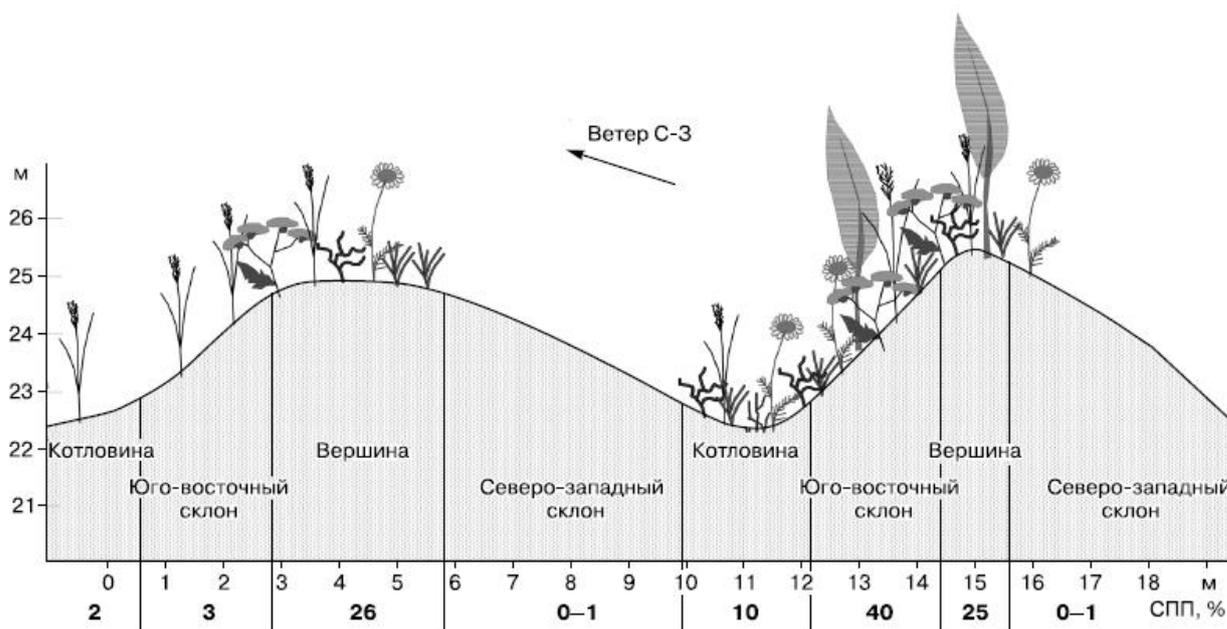


Рисунок 12 – Поперечный профиль песчаной дюны [17]

Если оценивать среднее проективное покрытие в %, то наибольшее значение приобретает подветренный склон, а так же котловина песчаного раздува. Наименьший процент проективного покрытия имеет наветренный склон. Средними значениями отличается вершина песчаного раздува.

## Выводы

Среди множества вегетационных индексов - индекс NDVI является наиболее подходящим для оценки состояния растительного покрова. NDVI возможно рассчитать на базе различных фотоснимков, при помощи специализированных программ. Результаты расчета данного вегетационного индекса легко представить в картографический материал. По мнению авторов статей, упомянутых выше, применение NDVI имеет много преимуществ над другими вегетационными индексами.

На труднодоступных участках заболоченной местности тяжело оценить состояние растительности, с помощью натуральных исследований. Возникает необходимость использования дистанционных методов. Одним из таких методов является съемка фотоаппаратом Agrosam.

Определение NDVI методом обработки фотографий, сделанных камерой Agrosat, удобно доступно и понятно благодаря тому, что фотоаппарат имеет низкую цену, высокие технические характеристики, простой интерфейс. Agrosat обладает собственным программным обеспечением, позволяющим сшивать сделанные снимки, определять вегетационный индекс, строить 3D модели и многое другое.

Для подтверждения полученных данных, методом обработки фотографий Agrosat необходимо сравнить их с другими надежными источниками. Для этого используются космоснимки Landsat – 8 и Sentinel – 2. Снимки обладают высоким разрешением и являются общедоступными. Определение NDVI выполняется через интернет-ресурс <https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser/>, в котором есть возможность подобрать необходимый космический спутник и интересующее время осуществления съемки.

Модельная площадка – песчаный раздув в 40 км к юго-востоку от города Надым. На поверхности песчаного раздува выделяются четыре формы рельефа – вершина, подветренный склон, котловина, наветренный склон. Степень зарастания раздува зависит от местоположения растительных сообществ.

## ГЛАВА 3 ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ РАСТИТЕЛЬНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ МЕЗОРЕЛЬЕФА ПЕСЧАНЫХ ДЮН

### 3.1 Характеристика модельных площадок

Для оценки состояния растительных сообществ на естественных песчаных обнажениях в северной тайге Западной Сибири, с помощью съемки фотоаппаратом Agrosat, были заложены 6 модельных площадок. Пространственное расположение площадок обозначено на Рисунке 13.

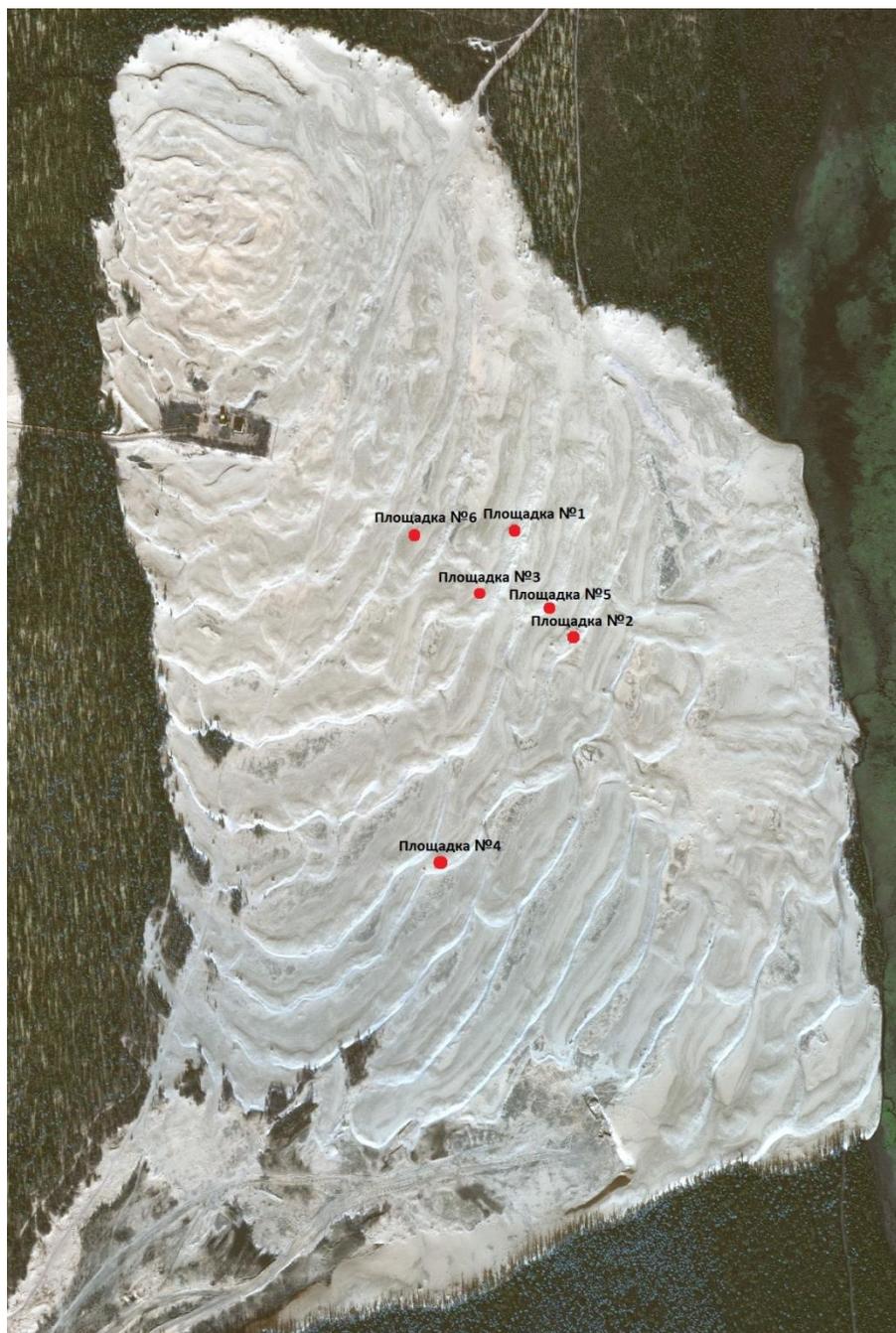


Рисунок 13 – Местоположение модельных площадок по периметру песчаного раздува

Относительно мезорельефа дюны модельные площадки расположены неоднородно – отсняты были территории на вершине песчаной дюны, на подветренном склоне, в котловине песчаного обнажения, а также на наветренной стороне. Расположение площадок показано на поперечном профиле песчаной дюны - рисунок 14.

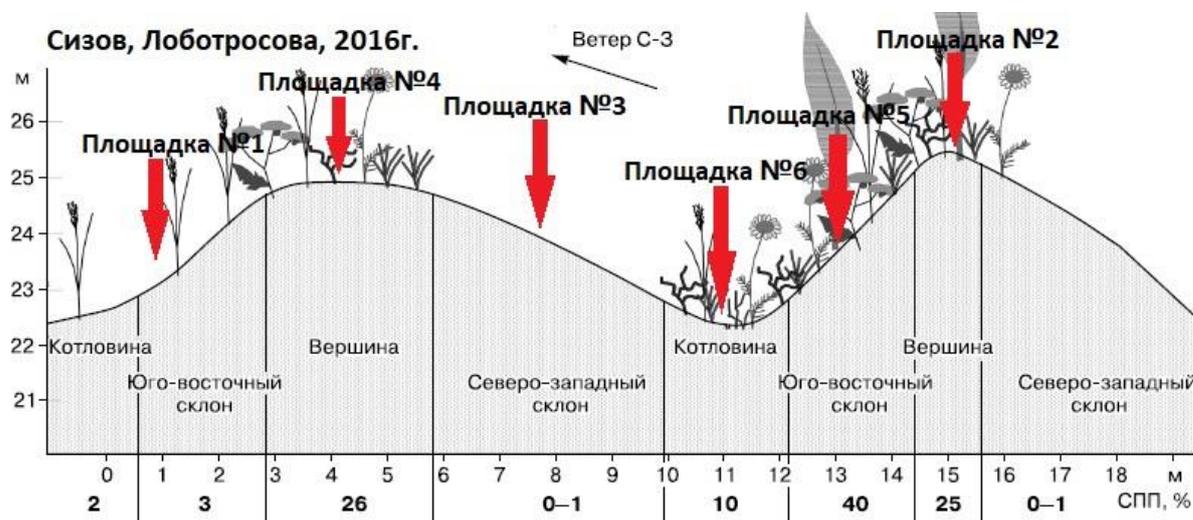


Рисунок 14 – Местоположение модельных площадок в поперечном профиле дюны [17]

Местоположение модельных площадок подобрано не случайно. Площадки закладывались в наиболее наглядных местах, с учетом пространственной дифференциации растительности. Полевые данные, полученные в момент исследования дюны, заносились в полевой дневник, были сделаны обзорные фотографии, и сняты координаты площадок.



Рисунок 15 – Модельная площадка № 4 август, 2018 г.



Рисунок 16 – Фотографии площадка №1 август, 2018 г.

После обработки спектрональных фотографий были получены наглядные карты-схемы с числовыми значениями NDVI для каждой модельной площадки.

### **3.2 Зависимость значений NDVI от состояния растительного покрова различных элементов мезорельефа песчаных дюн**

Модельная площадка №1 представлена разреженной травянистой растительностью. Расположена площадка на пологой подветренной стороне дюны, в центральной части песчаного раздува, чуть ближе к северной стороне. Размер площадки 15 м x 15 м. Для полного покрытия данной площадки было выполнено 75 спектрональных фотографий фотоаппаратом Agrosat, описана местность, сделаны фотографии и определены координаты. Среднее проективное покрытие территории составляет 10-15 %. Плотность растительных сообществ на один квадратный метр увеличивается по мере приближения площадки к вершине раздува. Это заметно в правой части карты – схемы (Рисунок 17). Максимальное значение NDVI – 0,26, оно также достигается по мере приближения к вершине склона. Минимальное значение NDVI принимает 90 % исследуемой территории.

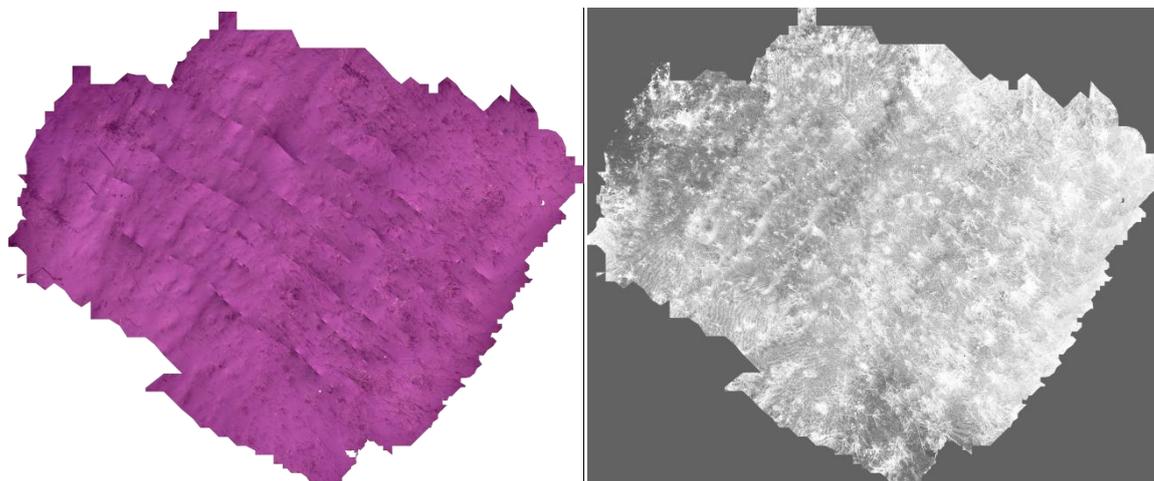


Рисунок 16 – Ортофото и TIFF-изображение модельной площадки №1

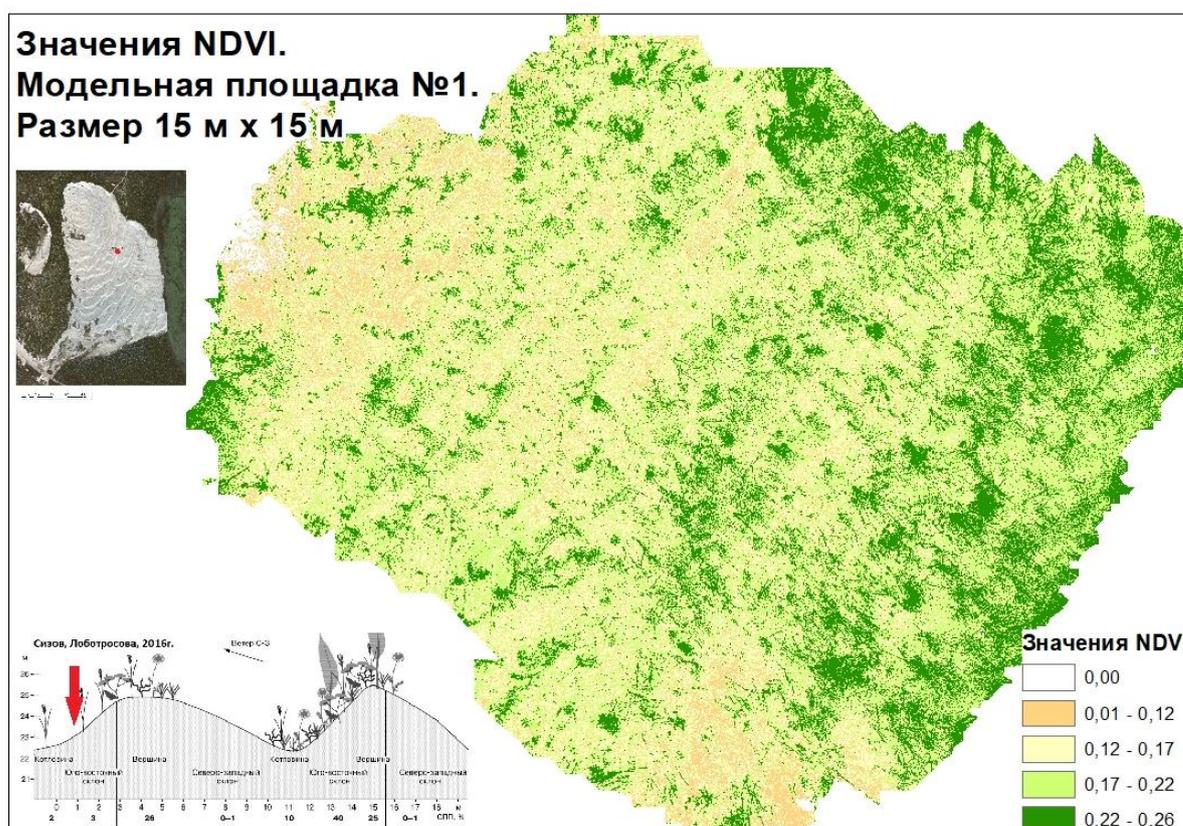


Рисунок 17 – Модельная площадка №1. Значения NDVI

Территорию модельной площадки №2 занимает кустарничковая растительность, плотно укоренившаяся на вершине песчаного раздува. Размер исследуемой площадки 20 м x 20 м. Площадка также располагается в центральной части песчаной дюны, ближе к восточному ее краю. Для охвата всей территории площадки было выполнено 56 спектозональных фотографий, описана местность, сделаны фотографии и определены

координаты. Значения NDVI на этой территории достигают максимальных значений – 0,29. Приурочены они к центральной и северо-западной части карты-схемы (Рисунок 19).

Плотность растительного покрова составляет 35-40 % всей модельной площадки. Примечательно, что кроме кустарничков на данной площадке встречается небольшое количество травяной растительности. Значение NDVI которой стремится к 0,16 – травянистая растительность разреженная, скудная. Примерно 25 % территории отмечены минимальными значениями NDVI.

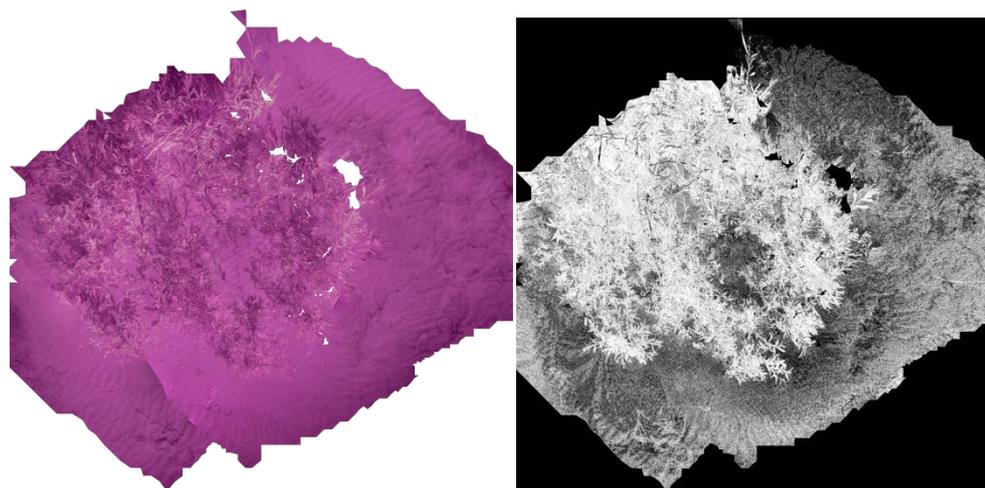


Рисунок 18 – Ортофото и TIFF-изображение модельной площадки №2

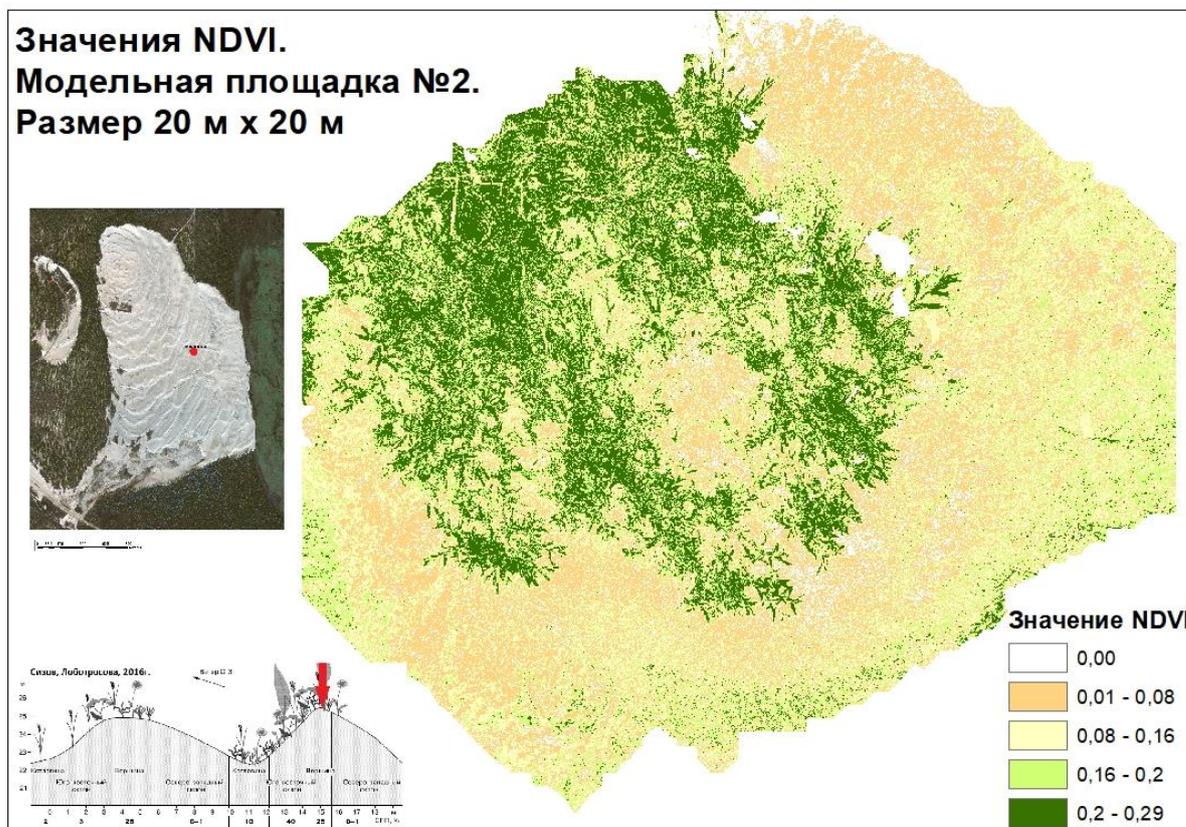


Рисунок 19 – Модельная площадка №2. Значения NDVI

Модельная площадка №3 расположена на наветренном склоне песчаной дюны. Ее размер составляет - 20 м x 20 м. Площадка находится в центральной части дюны. Для покрытия площадки выполнено 65 спектральных фотографий, сшитых впоследствии во единое фото, описана местность, сделаны фотографии и определены координаты.. Территория отличается скудной растительностью. Значения NDVI на данной территории наименьшие по сравнению с другими площадками – 0,23. Минимальное количество растительности связано со значительным ветровым переносом, который вносит коррективы в распространение растительных сообществ. Постоянные ветра засыпают песком вновь выросшие растения, малый % выживает. Проективное покрытие площадки колеблется около 1%. Минимальными значениями NDVI заняты 99 % территории (Рисунок 21).

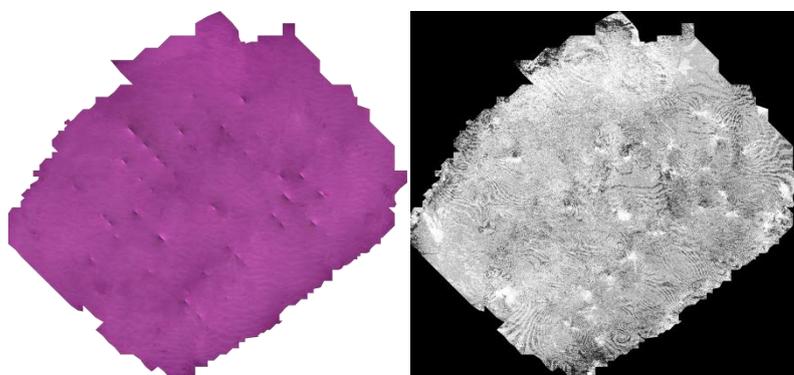


Рисунок 20 – Ортофото и TIFF-изображение модельной площадки №3

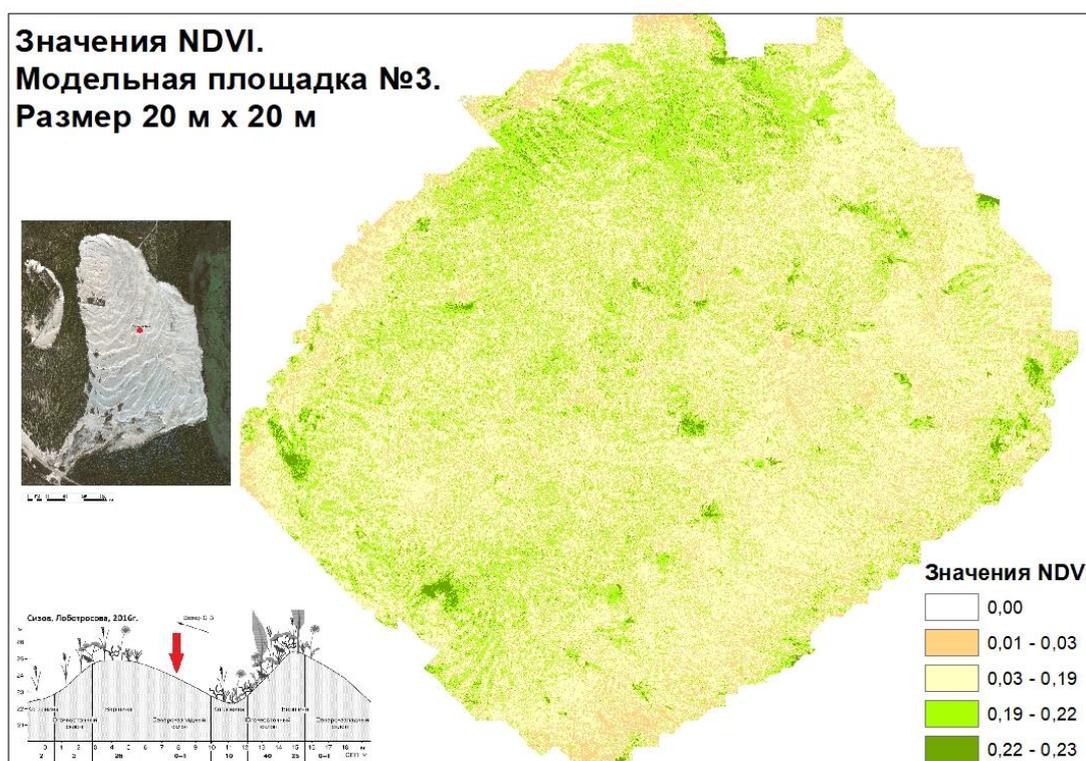


Рисунок 21 – Модельная площадка №3. Значения NDVI

Модельная площадка №4 расположена в центральной части песчаного раздува, ближе к южному краю дюны. Размер площадки составляет 20 м x 20 м. Для определения NDVI на всей территории площадки было выполнено 60 спектральных фотографий, описана местность и определены координаты. Плотность растительности увеличивается по мере приближения к вершине песчаной дюны. Заметна продольная слоистость в структуре растительных сообществ и их пространственном распространении. Значения NDVI на этой площадке достигают 0,25. Проективное покрытие площадки составляет примерно 30 %. Остальной процент территории занят минимальными значениями NDVI. Территория также отличается бедной растительностью, что характерно для песчаного раздува, однако процент проективного покрытия на вершине дюны выше, чем на наветренном склоне. Наглядно все это изображено на карте – схеме (Рисунок 23).

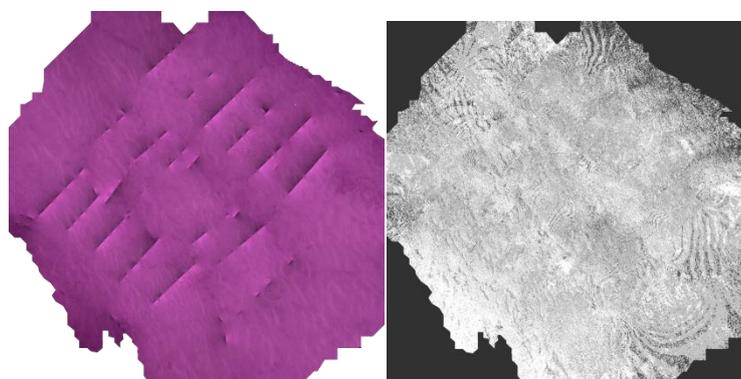


Рисунок 22 – Ортофото и TIFF-изображение модельной площадки №4

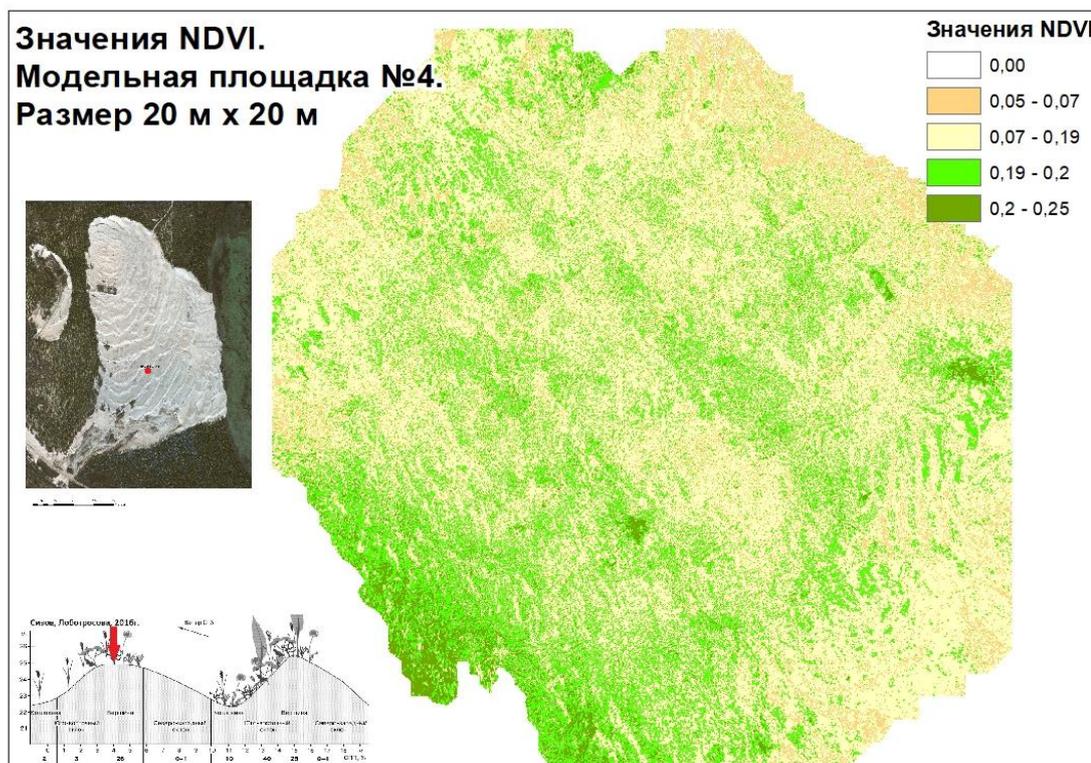


Рисунок 23 – Модельная площадка №4. Значения NDVI

Площадка №5 расположена в центральной части песчаного раздува, ближе к его восточному краю. Размер исследуемой площадки 20 м x 20 м. Для составления карты - схемы со значениями NDVI, было подготовлено 117 спектрональных фотографий. Особенностью площадки является относительно густая растительность. Среднее проективное покрытие площадки более 35 %. Самый высокий показатель среди всех исследуемых площадок. На карте-схеме хорошо заметна пространственная дифференциация растительности и ее концентрация в северо-восточной части карты - схемы. Значение NDVI для данной площадки достигает 0,26. Территория занятая минимальными значениями NDVI примерно 40 % (Рисунок 25).

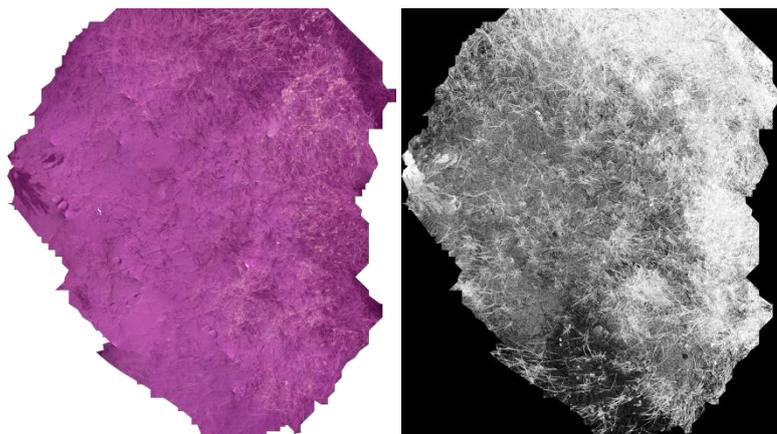


Рисунок 24 – Ортофото и TIFF-изображение модельной площадки №5

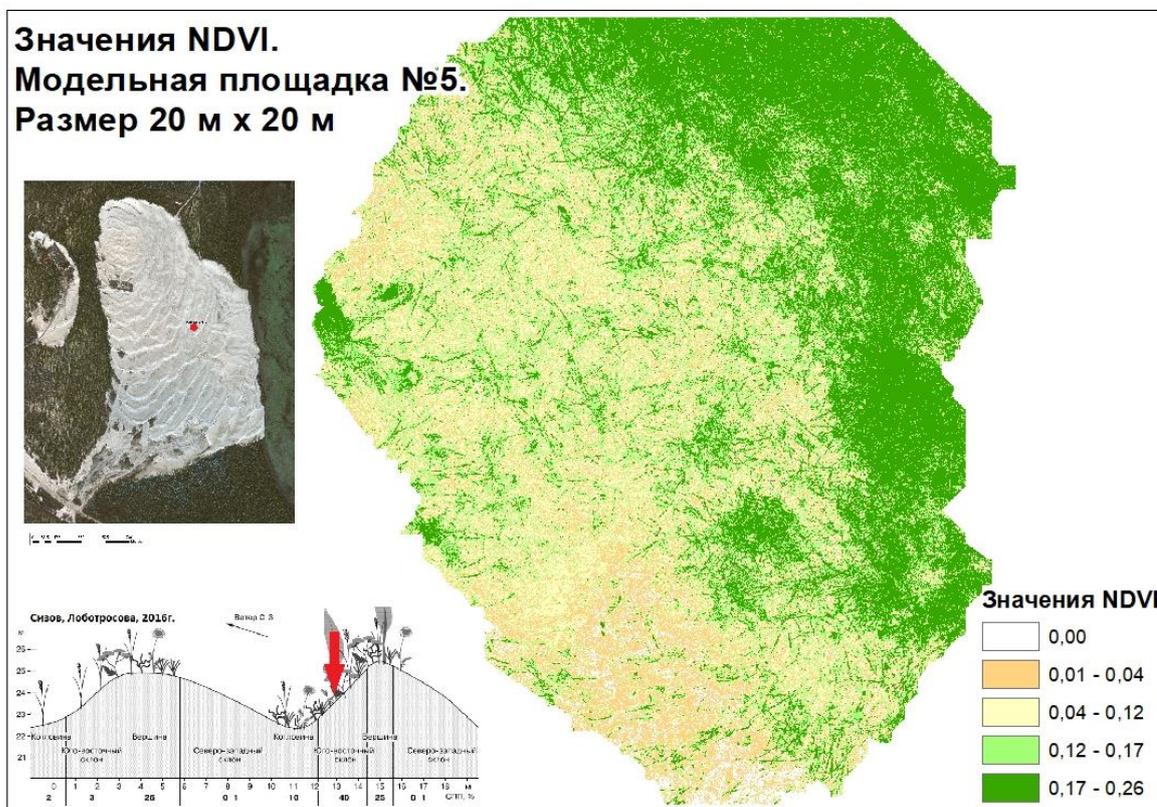


Рисунок 25 – Модельная площадка №5. Значения NDVI.

Модельная площадка №6 расположена в центральной части раздува ближе к северной стороне. Размер площадки 15 м x 15 м. Для определения значений NDVI было сделано 90 спектральных фотографий фотоаппаратом Agrosat. Площадка находится в котловине песчаного раздува. В наиболее защищенном от ветра месте. Растительность по территории площадки расположена неравномерно, наиболее густые участки находятся ближе всего к склону. Микроклимат наиболее влажный, но проективное покрытие составляет порядка 10-15 % всей площади. Максимальные значения NDVI на площадке №6 – 0,24. Минимальными значениями заняты порядка 60 % от общей площади площадки (Рисунок 27).

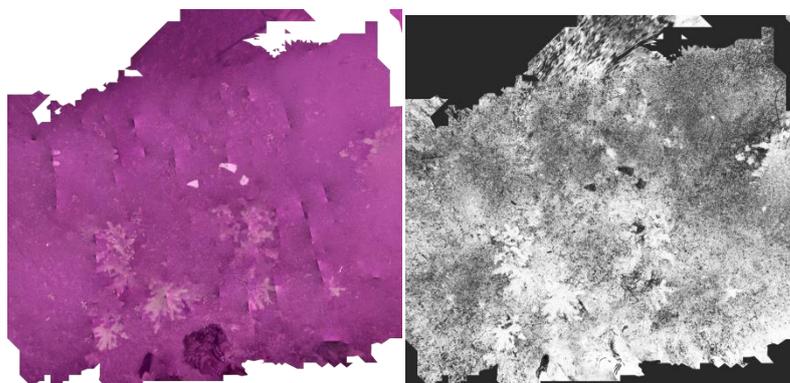


Рисунок 26 – Ортофото и TIFF-изображение модельной площадки №6

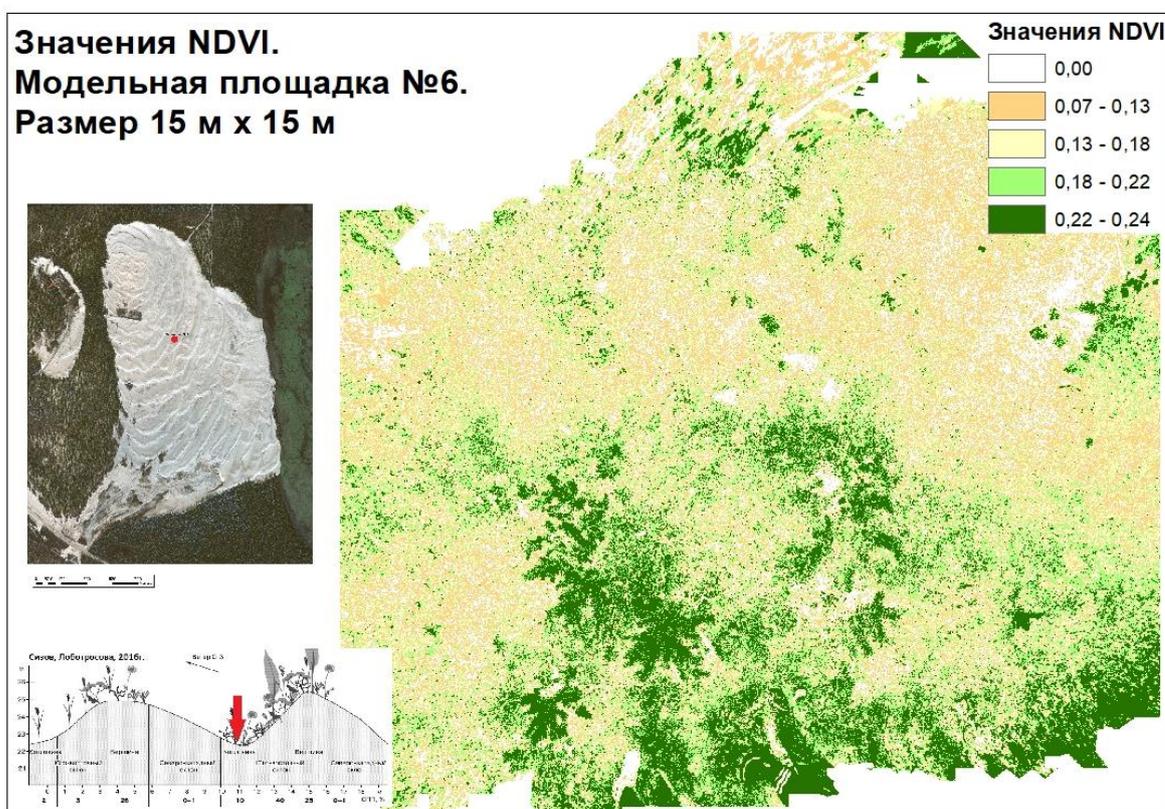


Рисунок 27 – Модельная площадка №6. Значения NDVI

Проанализировав полученные результаты можно сделать вывод, что значения NDVI находятся в прямой зависимости от среднего проективного покрытия площадок. Это подтверждается во всех шести случаях. На графике (Рисунок 28) видно, чем выше проективное покрытие площадок, тем больше значение NDVI. Наиболее ярко выражена данная зависимость среди значений площадок № 2, 3 и 5. Площадка №3 имеет наименьший % проективного покрытия – 1. А наибольшее значение NDVI приобретает растительность на площадке №2, это обусловлено наибольшим % проективного покрытия.

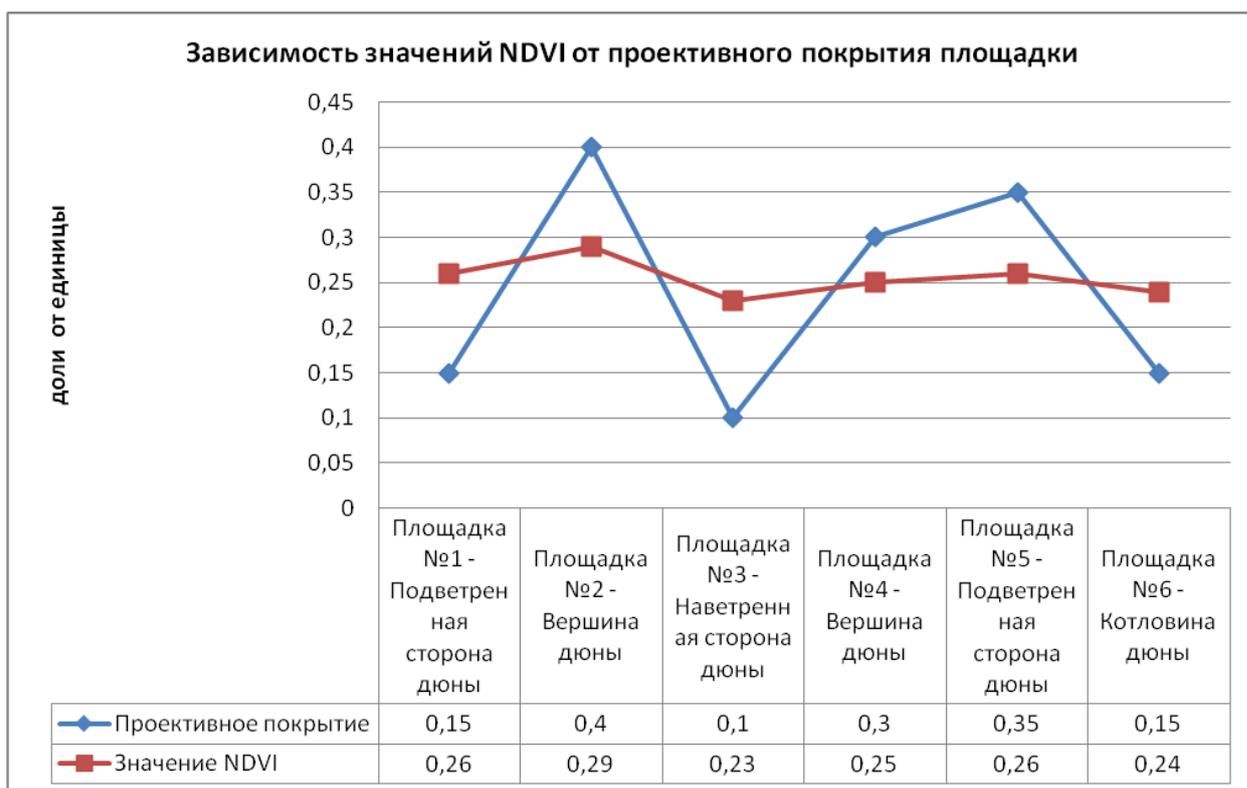


Рисунок 28 – График зависимости значений NDVI от проективного покрытия

### 3.3 Сравнительный анализ спектрозональной съемки с данными ДЗЗ спутников Landsat - 8 и Sentinel – 2

Для подтверждения данных, полученных в ходе работы с камерой AgroCam и программным обеспечением с сайта – разработчика, обратимся к авторитетным источникам для сравнения полученных индексов NDVI. Для примера возьмем готовый индекс NDVI с сайта <https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser/>, чтобы данные получились репрезентативными находим снимки той же даты, что и сделанные нами камерой AgroCam, с минимальной облачностью (Рисунок 29).

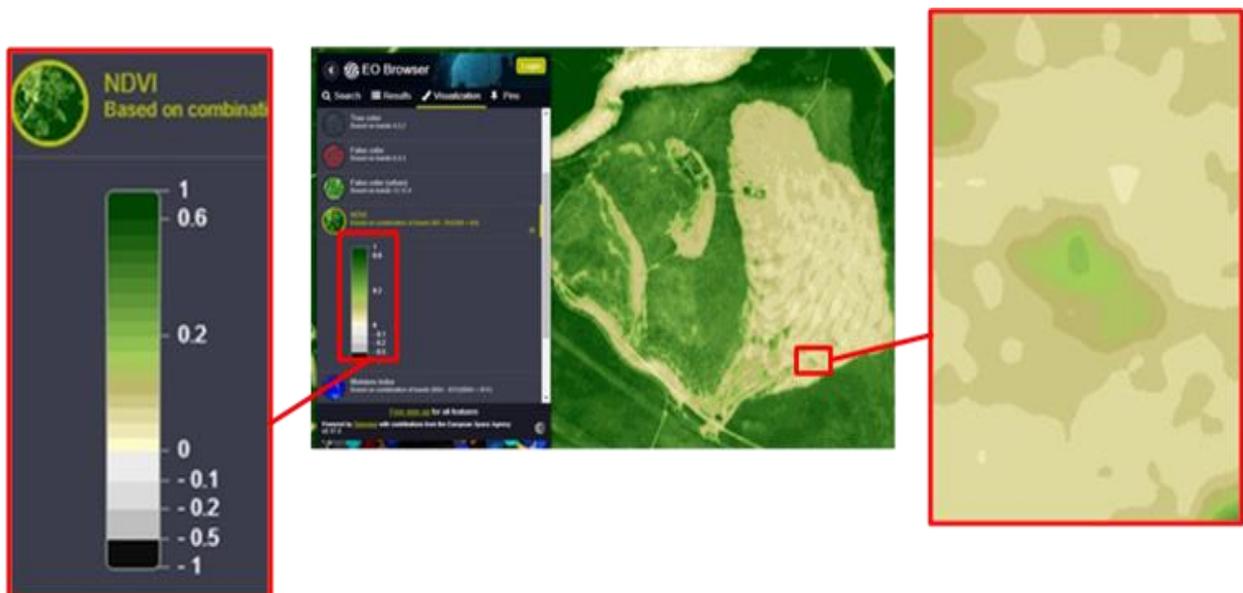


Рисунок 29 - Значение индекса NDVI, на исследуемой территории по данным <https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser/>

Значение индекса NDVI, по данным <https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser/>, варьируется в пределах от 0.1 до 0.25. В полученным нами данных с помощью фотоаппарата AgroCam значение индекса изменяется в тех же пределах для тех же характерных точек.

Использование метода с применением камеры AgroCam выгодно тем, что позволяет произвести детальный анализ растительности, так как каждый пиксель изображения содержит свое уникальное значение индекса NDVI, а возможность большого охвата территории помогает оценить состояние растительных сообществ в целом.

Сравнительный анализ с другими источниками, содержащими значения NDVI, показал репрезентативность полученных результатов. Возможность дистанционной съемки (с использованием дополнительного оборудования) является выгодным преимуществом перед другими методами, позволяющими получить детальную оценку состояния растительных сообществ на труднодоступных территориях.

## Выводы

Для оценки состояния растительных сообществ на различных элементах мезорельефа заложено 6 модельных площадок с разной степенью проективного покрытия. Выполнена спектрозональная съемка. После обработки спектрозональных фотографий были получены наглядные карты-схемы с числовыми значениями NDVI для каждой модельной площадки.

На различных площадках значения NDVI и проективное покрытие отличаются. Но общая тенденция такова – значения NDVI находятся в прямой зависимости от среднего проективного покрытия площадок. Это подтверждается во всех шести случаях.

Сравнительный анализ с другими источниками, содержащими значения NDVI, показал репрезентативность полученных результатов

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На севере Западносибирской равнины под торфяными залежами располагаются песчаные материнские породы. Морфология песка, залегающего под торфяниками, не однозначна - встречаются зерна эолового типа, зерна низкого класса окатанности, плохо заматированные и глянцевые. Формирование песчаных толщ происходило в условиях морских трансгрессий, когда большую роль играл привнос отложений, поступавших от ледников и айсбергов, выдвигавшихся с запада и востока. Все это свидетельствует о том, что на большей части Западной Сибири была аридная пустыня вплоть до 9-8 тыс. лет до н.э.

Среди множества вегетационных индексов - индекс NDVI является наиболее подходящим для оценки состояния растительного покрова. NDVI возможно рассчитать на базе различных фотоснимков, при помощи специализированных программ. Результаты расчета данного вегетационного индекса легко представить в картографический материал.

Методика определения NDVI методом обработки фотографий, сделанных камерой Agrosam, отработана опытным путем. Данный метод достоверен. Фотоаппарат имеет высокие технические характеристики, простой интерфейс. С помощью программного обеспечения Agrosam были сняты полученные снимки, определен вегетационный индекс, составлены карты схемы.

Значения NDVI находятся в прямой зависимости от среднего проективного покрытия площадок. Это подтверждается во всех шести случаях. Чем выше проективное покрытие площадок, тем больше значение NDVI. Наиболее ярко выражена данная зависимость среди значений площадок № 2, 3 и 5. Площадка №3 имеет наименьший % проективного покрытия – 1 %. А наибольшее значение NDVI приобретает растительность на площадке №2, это обусловлено наибольшим % проективного покрытия.

Значение индекса NDVI, по данным <https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser/>, для космоснимков сделанных в те же даты, что и спектральная съемка, варьируется в пределах от 0.1 до 0.25. В полученным нами данных с помощью фотоаппарата AgroCam значение индекса изменяется в тех же пределах для тех же характерных точек.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ И ЛИТЕРАТУРЫ

### ЛИТЕРАТУРА

1. Антропогенные изменения экосистем Западно-Сибирской газоносной провинции. Под ред. Н.Г. Москаленко. Коллектив авторов // Институт криосферы Земли СО РАН, Тюмень. 2006. С.357.
2. Архипов С. А., Зольников И. Д., Зыкина В. С., Круковер А. А. Эоплейстоцен и плейстоцен. Гл. 4: Западная Сибирь // Изменение климата и ландшафтов за последние 65 миллионов лет (кайнозой: от палеоцена до голоцена) / Отв. ред. А. А. Величко. М., 1999. С. 94—105.
3. Атлас Тюменской области / Отв. ред. И. П. Заруцкая. — М.; Тюмень: ГУГК, 1971. -Вып. 1. - Л. 11–13..
4. Бакулин В.В., Козин В.В. География Тюменской области: Учеб. пособие. Екатеринбург: Сред.-Урал. кн. изд-во, 1996. – С. 103.
5. Бродт Л.В. Оценка антропогенной трансформации естественных ландшафтов лесотундровой зоны (Уренгойского НГКМ) с использованием вегетационных индексов // Актуальные проблемы обеспечения устойчивого развития тюменского региона [Электронный ресурс]: материалы 67-й студенческой научной конференции, г. Тюмень, 21 апреля 2016 года. Вып. 2 / сост. канд. геогр. наук, доцент И. Д. Ахмедова. Тюмень: Издательство Тюменского государственного университета, 2016. – С.138-143.
6. Величко А. А., С. Н. Тимирёва "Западная Сибирь — Великая позднеледниковая пустыня", Природа. 2005. №5. С. 54–62.
7. Величко А. А., Тимирева С. Н. Морфоскопия и морфометрия песчаных кварцевых зерен из лессов и погребенных почв // Пути эволюционной географии (итоги и перспективы) / Отв. ред. И. И. Спас-ская. М., 2002. С. 170—185.
8. Волкова В. С., Кулькова И. А. Палеоген и неоген. Гл. 4. Западная Сибирь // Изменение климата и ландшафтов за последние 65 миллионов лет

(кайнозой: от палеоцена до голоцена) / Отв. ред. А. А. Величко. М., 1999. С. 85—94.

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

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

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

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

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

14. Лоботросова С.А., Сафонов Ю. С. Соромотин А.В., Сизов О.С. Роль мезорельефа в зарастании естественных песчаных дюн в подзоне Северной тайги Западной Сибири // "Актуальные вопросы биогеографии" Материалы Международной конференции 9-12 октября 2018 г. Санкт-Петербург, Россия

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

16. Природные условия освоения Тазовского нефтегазоносного района. Ответственный. ред. Б.Н. Лиханов. Коллектив авторы // М.: ИГАН СССР, 1972. – С. 223.
17. Сизов О.С. Лоботросова С.А, Особенности Восстановления растительности в пределах участков распеваемых песков северотаежной подзоны Западной Сибири // Криосфера Земли. 2016 т. XX №3.-С. 3-13.
18. Соромотин А.В. Бродт Л.В. Мониторинг растительного покрова при освоении нефтегазовых месторождений по данным многозональной съемки LANDSAT, Вестник ТюмГУ. Экология и природопользование. 2018. Том 4. № 1. С. 37-49
19. Соромотин А.В. Экологические последствия различных этапов освоения нефтегазовых месторождений в таежной зоне Тюменской области // Сибирский экологический журнал. 2011. Т. 18. № 6. С. 813-822.
20. Стыщенко Ф.В. Разработка и применение методики и автоматизированной технологии оценки пирогенной гибели лесов на основе спутниковых данных. // дисс.к-та техн. наук. 2016.
21. Фисенко Е.Ф. Совершенствование методов автоматизации дешифрования почвенно-растительного покрова на основе расширения признакового пространства с использованием мультииндексной обработки эталонных спектральных признаков объектов для данных синхронного наземного и космического дистанционного зондирования» // Известия высших учебных заведений раздел геодезия и аэрофотосъемка № 1 выпуск №6 / М.: Издание Московского Государственного Университета Геодезии и Картографии (МИИГАиК), 2013. — С. 81-86.
22. Черепанов А.С., Дружинина Е.Г. Спектральные свойства растительности и вегетационные индексы. // Геоматика №3. 2009 – Москва: Совзонд, 2009. – С. 28-32.
23. Шарая Л.С. «Прогнозное картографирование лесных экосистем (ландшафтно-экологический подход)» // Известия Самарского научного центра РАН. 2013. №3 С.38-47.

## ЛИТЕРАТУРА НА ИНОСТРАННЫХ ЯЗЫКАХ

24. Browse available data using EO Browser [<https://www.sentinel-hub.com/explore/eobrowser>] (Перевод автора).
25. Copernicus observing the earth [[http://www.esa.int/Our\\_Activities/Observing\\_the\\_Earth/Copernicus/Overview4](http://www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/Copernicus/Overview4)] (Перевод автора).
26. Detailed specification - AgroCam Pro NDVI [<https://www.agrocam.eu/specification-agrocam-pro-ndvi>] (Перевод автора).
27. Landsat Missions [<https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat>] (Перевод автора).

«      » \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
(ПОДПИСЬ)

\_\_\_\_\_  
(Ф.И.О.)