

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

« _____ » _____ 2018 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Методика обнаружения участков лесозаращения объектов электросетевого
комплекса по данным дистанционного зондирования Земли

09.04.02 «Информационные системы и технологии»

09.04.02.01 «Информационно-управляющие системы»

Научный руководитель _____ доцент, канд. техн. наук Р. В. Брежнев
подпись, дата

Выпускник _____ Т. В. Пахомова
подпись, дата

Рецензент _____ доцент, канд. биол. наук Е. В. Федотова
подпись, дата

Нормоконтролер _____ Р. В. Брежнев
подпись, дата

Красноярск 2018

Продолжение титульного листа магистерской диссертации по теме:
«Методика обнаружения участков лесозарастания объектов электросетевого
комплекса по данным дистанционного зондирования Земли»

Нормоконтролер

подпись, дата

Р. В. Брежнев

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
1. Обзор существующих спутниковых программ.....	6
1.1 Обзор спутниковых съемочных систем.....	8
1.2 Выбор данных ДЗЗ для обнаружения участков лесозарастания.....	10
2. Основные этапы подготовки данных ДЗЗ к дешифрированию	14
2.1 Этапы первичной обработки данных ДЗЗ	14
2.2 Форматы представления данных ДЗЗ	18
2.2.1 Содержание метаданных.....	18
2.2.2 Требования к функциональности.....	19
3 Детектирование данных ДЗЗ для локализации участков лесозарастания	20
3.1 Обзор вегетационных индексов для локализации участков лесозарастания.....	21
3.2 Выбор вегетационного индекса для локализации участков лесозарастания по данным спутниковой системы <i>WorldView-2</i>	24
3.2.1 Диапазоны значений вегетационных индексов.....	25
3.2.1 Сегментация участков лесозарастания.....	31
3.2.2 Расчет показателей точности выделения лесозарастания	35
Заключение	41
Список использованных источников	42
Приложение А Плакаты презентации.....	46

ВВЕДЕНИЕ

Методы дистанционного зондирования и дешифрирования космических снимков используются в различных отраслях хозяйственной деятельности человека как на уровне различных организаций и предприятий, так и на государственном уровне. Примером может служить применение дистанционного зондирования земель сельскохозяйственного назначения, выявление несанкционированных установленными порядками и разрешениями сооружений и объектов инфраструктуры, мониторинг чрезвычайных ситуаций. Не исключением являются и объекты государственной энергосетевой инфраструктуры, в частности, мониторинг просек в местах прохождения высоковольтных линий электропередачи.

Одной из задач мониторинга является контроль состояния древесной растительности в буферной зоне просеки и выявление фактов лесозарастания. Данная задача к настоящему времени решается с применением кадровых бригад, осуществляющих регулярные выезды для осмотра участков просеки, что является затратным и неоптимальным с точки зрения времени способом контроля. Таким образом, использование космической съемки и современных методов обработки данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) позволит дистанционно контролировать состояние просек на протяженных территориях и выработать рекомендации для осуществления точечной расчистке просек.

Системы получения информации на основе данных дистанционного зондирования для дешифрирования лесных массивов активно развиваются. Основополагающие научные разработки направления исследований представлены, например, трудами таких авторов: Барталев С. А., Гордиенко А. С., Гук А. П., Кашкин В. Б., Пяткин В. П., Сухинин А. И.

В настоящее время разработаны различные методы дешифрирования снимков лесных массивов и соответствующие специализированные

программные продукты, такие, как *ENVI*, *Quantum GIS (QGIS)*, *ERDAS Imaging* и другие.

Несмотря на большое количество разработанных и используемых алгоритмов и методик, в области автоматизации дешифрирования существует ряд нерешенных проблем, связанных с отсутствием необходимого и достаточного набора дешифровочных признаков для оценки объектов и их состояния по снимкам при распознавании большинства естественных объектов.

Целью работы является разработка методики обнаружения участков лесозарастания объектов электросетевого комплекса по данным ДЗЗ, позволяющей выполнить пространственную локализацию обнаруженных участков для оказания информационной поддержки лиц, принимающих решения.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- 1) Обзор и выделение критериев релевантности данных ДЗЗ для выявления фактов лесозарастания.

- 2) Разработка методики обнаружения участков лесозарастания объектов электросетевого комплекса по данным ДЗЗ.

- 3) Проведение практической апробации разработанной методики на экспериментальной территории с использованием высокодетальных данных ДЗЗ. Создание картосхемы состояния просек для детектирования фактов зарастания.

Практическая значимость работы — программно-методический комплекс для обнаружения участков лесозарастания, позволяющий оказывать информационную поддержку лицам, принимающим решения.

Предмет исследования — методика для обнаружения участков лесозарастания, позволяющая оказывать информационную поддержку лицам, принимающим решения.

Объект исследования — наземные объекты электросетевого комплекса в зоне зарастания.

1. Обзор существующих спутниковых программ

В современном мире существует множество сфер использования спутниковых снимков. Данные спутниковой съемки используются для анализа состояния просек в лесных массивах, изучения состояний ледников, оползней, мониторинга наводнений и лесных пожаров, обнаружения и картографирования лесных пожаров и гарей, для информационной поддержки и мониторинга крупных проектов возведения объектов рекреации. Для того чтобы обеспечить бесперебойную поставку электроэнергии, необходимо следить за состоянием просек в лесных массивах в местах прохождения электросетевого комплекса, для этого прибегают к использованию данных. Известны такие действующие российские специализированные системы мониторинга окружающей среды, как Система спутников мониторинга (Росгидрометцентр), Система мониторинга состояния воздушных линий электропередачи (Совтест АТЕ), Система мониторинга сельскохозяйственных земель (МСХ РФ), Система дистанционного мониторинга лесных пожаров (Рослсхоз). Для каждой из возможных сфер использования важную роль играет подготовка снимков к анализу или обработке и их тематическая обработка. Именно поэтому в последнее время остро встал вопрос о предварительной подготовке спутниковых снимков и их тематической обработке.

Одной из главных причин, вследствие которой создание действенного метода предварительной обработки становится актуальной проблемой, является высокая вовлеченность различных специалистов в проблемы и задачи, связанные с анализом и тематической обработкой спутниковых снимков.

Например, в учебном пособии Токаревой О. С. «Обработка и интерпретация данных дистанционного зондирования Земли» [1] изложены основы получения, обработки и интерпретации данных дистанционного зондирования Земли из космоса. Рассмотрены современные системы дистанционного зондирования и основные характеристики получаемых с их

помощью данных. Приведены основные методы предварительной и тематической обработки космических снимков.

Также в учебном пособии Лурье И.К. и Косикова А.Г. «Теория и практика цифровой обработки изображений» [2] изложены основные теоретические положения получения, предварительной обработки аэрокосмических снимков и компьютерной классификации объектов, изобразившихся на снимках. Рассматриваются основные типы систем получения изображений земной поверхности, классификация снимков по параметрам разрешения, способы улучшения яркостных свойств изображений, геометрической коррекции и трансформирования в выбранную систему координат, методы создания производных признаков, контролируемой и неконтролируемой классификации объектов, алгоритмические процедуры географического анализа с использованием снимков.

В статье [3] рассматривается процесс предварительной обработки данных дистанционного зондирования земли космического аппарата SPOT - 4 (HRVIR) на базе Региональной системы ДЗЗ, разработанной в Институте Космических и Информационных Технологий Сибирского Федерального Университета.

В статье [4] рассматриваются вопросы, связанные с адекватным дешифрированием (классификацией) данных дистанционного зондирования Земли. Обсуждаются проблема смешанных векторов признаков и один из способов ее решения — нечеткая классификация. Анализируются алгоритмы контролируемой классификации и кластерного анализа.

Как правило, тематическая обработка спутниковых снимков заключается в однообразной работе на протяжении большого периода времени при условии обработки большого количества спутниковых снимков. И так как уже определено, что предварительная подготовка к анализу является трудоемким однообразным процессом, создание методов и алгоритмов предварительной подготовки и тематической обработки станет очень полезной технологией, позволяющей сократить затраты и время на однообразную работу, увеличив

количество времени, которое будет потрачено на сам анализ. Тем самым увеличится производительность труда и качество работы.

В настоящее время существует немалое количество разновидностей спутниковых снимков и не меньшее количество различных программных продуктов, с помощью которых производится тематическая обработка спутниковых снимков.

1.1 Обзор спутниковых съемочных систем

Информацию о расположенных на земной поверхности объектах и их свойствах можно получить, измеряя параметры собственного излучения Земли и отраженного электромагнитного излучения Солнца, которые зависят от физических, химических и биологических свойств изучаемых объектов. Измерения проводят с помощью сенсоров, которые устанавливают на стационарных или движущихся платформах. Поскольку характеристики получаемых данных зависят от комбинации «сенсор — платформа», для решения разных прикладных задач используют различные сенсоры, а платформами для их размещения могут служить искусственные спутники Земли или воздушные летательные аппараты.

Спутники на солнечно-синхронных орбитах используют в основном для картографирования территорий. Вместе с тем возможность проведения с помощью этих спутников периодической обзорной съемки обширных территорий делает их незаменимыми при решении многих задач мониторинга окружающей среды [5].

Для проведения анализа многолетних изменений тех или иных природных условий, объектов и экосистем существуют отечественные и зарубежные архивные фонды материалов космических съемок. Одним из таких архивных фондов является Управление государственной геологической службы США, в котором хранятся в свободном доступе рассекреченные данные с космических спутников Земли: *Landsat-5*, *SPOT*, *IKONOS*, *WorldView-1*,

WorldView-2, QuickBird, GeoEye-1. В российских фондах содержатся снимки, полученные с космических аппаратов серии «Ресурс-ДК», «Монитор-Э», «Океан-О», «Алмаз», станции «Мир» и другие. Примером современной наземной приемной станции служит «УниСканТМ», созданная Инженерно-техническим центром «СканЭкс». Комплекс «УниСканТМ» предназначен для приема и обработки информации, передаваемой с низкоорбитальных искусственных спутников Земли: *Terra, Aqua, SPOT-4, IRS-P5, IRS-P6, Radarsat-1, Envisat-1* и другие [6]. Со станцией поставляется программное обеспечение для управления станцией и приемом данных, ведения электронного архива данных, генерации продуктов изображений. Станции «УниСканТМ» установлены в Национальном минерально-сырьевом университете «Горный» и Санкт-Петербургском государственном университете.

Использование космических снимков является необходимым условием проведения регулярных наблюдений за современным состоянием природных экосистем. Сравнение полученных сведений с результатами съемок, выполненных в прошлые десятилетия, позволяет точно зафиксировать изменения на тех или иных объектах наблюдения. Научные исследования локального уровня, где они имеют целью выявление и оценку происходящих изменений, также проводятся на основе данных ДЗЗ.

Обработка цифровых снимков — важнейшая составляющая дистанционного зондирования Земли, назначение которой состоит в том, чтобы цифровые снимки могли быть пригодны для большинства областей их применения. В процессе обработки снимков используются численные методы, основанные на анализе яркостных и спектральных характеристик земного покрова, проявляющихся на снимке в виде вариаций тона и цвета пикселей [7].

Дистанционное зондирование является экономически эффективным. Применение данных ДЗЗ при обновлении карт и планов позволит экономить время и средства, вести оперативный аэрокосмический мониторинг природных

объектов, а также даст возможность рационально планировать затраты на восстановление и текущее содержание природных ресурсов.

В дистанционном зондировании роль дешифрирования превалирующая. Знания, приобретенные при изучении методов дистанционного зондирования Земли, позволяют специалистам, работающим в области землеустройства, формирования кадастра объектов недвижимости, мониторинга землепользования и охраны окружающей среды, получать или квалифицированно заказывать и использовать цифровые кадастровые планы и карты, а также сопутствующие специальные карты.

1.2 Выбор данных ДЗЗ для обнаружения участков лесозаращения

Задачу определения растительного покрова внутри просеки невозможно выполнять по данным среднего пространственного разрешения порядка 15 метров и хуже, так как невозможно оценить даже местонахождение просеки.

Тем самым подтверждается, что для решения задачи обнаружения фактов ее зарастания деревьями требуются данные космической съемки высокого и сверхвысокого пространственного разрешения.

К космическим снимкам сверхвысокого разрешения относятся данные, пространственное разрешение которых находится в диапазоне от 0,3 м до 1 м. По таким снимкам можно распознавать городские объекты и отдельно стоящих людей. Они позволяют составлять детальные карты городов 1: 5 000 масштаба. Подробные карты составляются по снимкам высокого разрешения (1 м — 2,5 м) [8].

В качестве исходных данных можно использовать космические снимки аппаратов, представленных в таблице 1.

Таблица 1 — Оптические спутники [9]

№	Прибор	Спектральные каналы, мкм	Пространственное разрешение, м	Доступность получения снимков
1	<i>SPOT 6</i>	синий 0.455 – 0.525 зелёный 0.530 – 0.590 красный 0.625 – 0.695	1,5 – 8	закрытые
2	<i>WorldView-2</i>	Панхроматический: 0,45–0,80 Фиолетовый: 0,42–0,45 Синий: 0,45–0,51 Зеленый: 0,51–0,58 Желтый: 0,58–0,62 Красный: 0,63–0,69 «Крайний красный»: 0,70–0,74 Ближний ИК 1: 0,77–0,90 Ближний ИК 2: 0,86–1,04	0,46 – 1,84	закрытые
3	<i>IKONOS</i>	Панхроматический: 0,53–0,93 Синий: 0,45–0,52 Зеленый: 0,51–0,60 Красный: 0,63–0,70 Ближний ИК: 0,76–0,85	0,82 – 3,28	закрытые
4	<i>GeoEye-1</i>	Панхроматический: 0,45–0,8 Синий: 0,45–0,51 Зеленый: 0,51–0,58 Красный: 0,65–0,69 Ближний инфракрасный: 0,78–0,92	0,46 – 1,65	закрытые
5	<i>SPOT-5</i>	Панхроматический: 0,48–0,71 В1 (зеленый): 0,50–0,59 В2 (красный): 0,61–0,68 В3 (ближний ИК): 0,78 – 0,89 В4 (дальний ИК): 1,58–1,75	2,5, 5, 10, 1000	закрытые
6	<i>RapidEye</i>	Синий: 0,44–0,51 Зеленый: 0,52–0,59 Красный: 0,63–0,69 Крайний красный: 0,69–0,73 Ближний ИК: 0,76–0,85	6,5	открытые
7	<i>Pleiades</i>	0,43–0,55 (синий) 0,49–0,61 (зеленый) 0,60–0,72 (красный) 0,79–0,95 (ближний ИК) Панхроматический: 0,48–0,83	Панхроматический: 0,7 (после обработки — 0,5) Мультиспектраль- ный: 2,8 (после обработки — 2,0)	закрытые

Каналы спутниковых снимков.

Одной из первых задач обработки спутниковых снимков является объединение каналов снимка, снятых в различных спектрах в один растр. Снимки со спутников *WorldView-2* и *SPOT 6* разложены по нескольким каналам — по отдельности каждый из каналов представляет собой монохромное изображение. Объединение различных каналов в различных порядках позволяет получить различную по своей гамме итоговую картину растра. В настоящее время для каждой области Земли существуют в свободном доступе снимки со спутников *WorldView-2* и *SPOT 6*, детальность съемки которых в среднем составляет 0,98 метров на пиксел, а это означает, что масштаб полученного изображения будет составлять приблизительно 1:2000. На рисунках 1 и 2 представлены спутниковые снимки в неестественных и естественных цветах, полученные сложением различных каналов, реализованные в программном комплексе *ArcMap*.

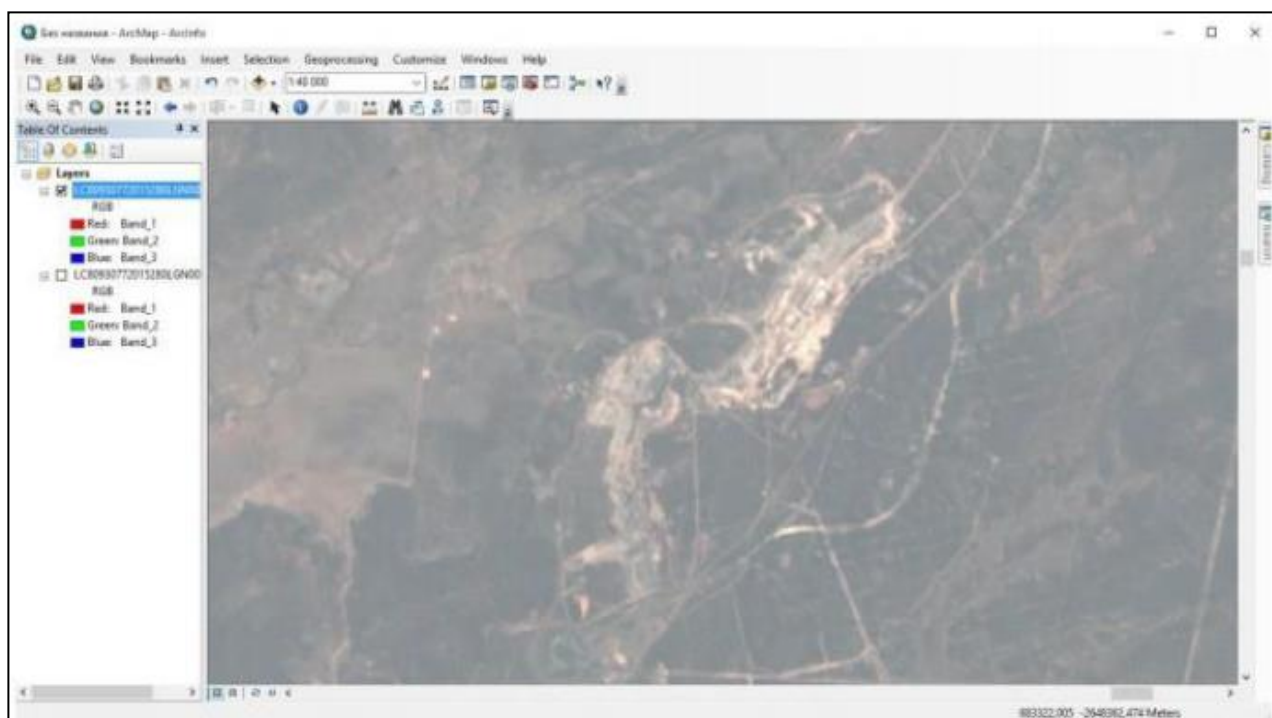


Рисунок 1 — Растр в «неестественных» цветах

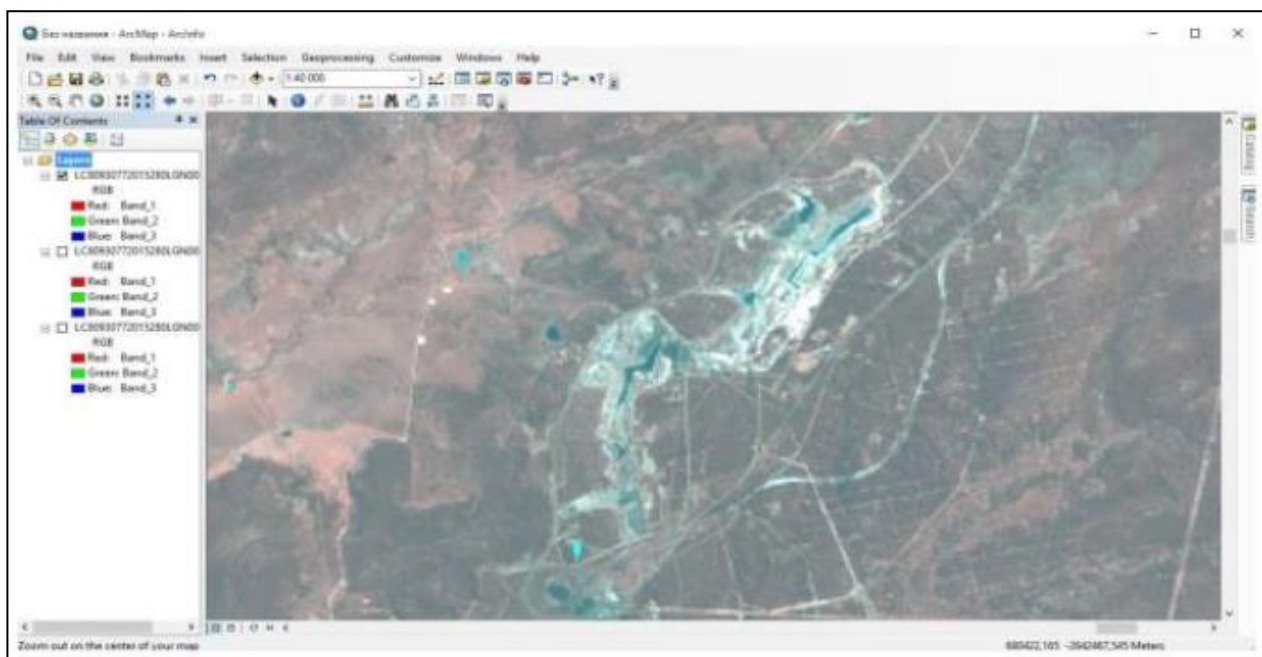


Рисунок 2 — Растр в «естественных» цветах

Таким образом, для анализа состояния просек в лесных массивах в местах прохождения электросетевого комплекса будут использоваться снимки оптико-электронного спутника *WorldView-2*, так как данный космический спутник позволяет получать снимки сверхвысокого разрешения и имеет девять спектральных каналов, также пространственное разрешение составляет 0,46 м — 1,84 метров, по сравнению со спутником *SPOT 6*, который позволяет получать снимки высокого разрешения и имеет 3 спектральных канала и пространственное разрешение 1,5 — 8 метров, соответственно более низкое пространственное разрешение, чем у *WorldView-2*.

2. Основные этапы подготовки данных ДЗЗ к дешифрированию

Поскольку процесс получения космической информации имеет многоступенчатую структуру, то прежде чем эта информация будет использована для определения состояния просек, необходимо обозначить уровни обработки, которую прошли материалы космических съемок. В зависимости от конкретного уровня обработки нужно четко представлять свойства и содержание представленных данных для организации технологических процессов извлечения из них необходимой информации.

Особенность обработки космических снимков заключается в том, что полученные спектральные характеристики разновременных изображений существенно зависят от условий и времени съемки, типа подстилающей поверхности и других факторов.

Для устранения искажений и нормализации изображений выполняется специальная обработка снимков, позволяющая нормировать яркости. Существует большое количество алгоритмов обработки, но большинство из них можно использовать только в определенных условиях и для определенных объектов.

Решению задач дешифрирования снимков высокого и сверхвысокого разрешения и выявления по ним изменений посвящено большое количество работ известных ученых, как отечественных (Асмус В. В., Гук А. П., Пяткин В. П., Журкин И. Г., Ярославский Л. П.), так и зарубежных (Вудс Р., Гонсалес Р., Прэтт У. и другие).

2.1 Этапы первичной обработки данных ДЗЗ

Методы цифровой обработки изображений играют значительную роль в космических исследованиях, в том числе при составлении карт по космическим снимкам. Цифровая обработка изображений для получения картографического результата представляет собой определенную для каждой задачи

последовательность стандартных процедур. Обработка изображений — это, как правило, обработка цифровых изображений, так как именно в этом формате получают данные ДЗЗ в настоящее время [10]. В цифровом формате проще производить обработку и хранение информации. Двумерное изображение в одном спектральном диапазоне можно представить в виде решетки чисел $I(i, j)$, каждое из которых представляет интенсивность излучения, принятого датчиком от элемента поверхности Земли, которому соответствует один пиксель изображения (рисунок 3).

$I(1,1)$	$I(2,1)$...	$I(m,1)$
$I(1,2)$	$I(2,2)$		$I(m,2)$
...			...
...			...
$I(1,n)$			$I(m,n)$

Рисунок 3 — Структура цифрового изображения в виде двумерной решетки

Изображение состоит из $n \times m$ пикселей, каждый пиксель имеет координаты (i, j) — номер строки и колонки. Число $I(i, j)$ — целое и называется уровнем серого (или спектральной яркостью) пикселя (i, j) . Если изображение получено в нескольких диапазонах электромагнитного спектра, то его представляет трехмерная решетка, состоящая из чисел $I(i, j, k)$, где k — номер спектрального канала.

Ниже приведена таблица 2, в которой описана иерархическая структура стандартных уровней обработки материалов космических съемок земной поверхности. Начиная с уровня 1А, каждый последующий уровень базируется на предыдущем, с добавлением определенных радиометрических или геометрических преобразований.

Таблица 2 — Международная классификация уровней обработки и представления данных ДЗЗ из космоса [11].

Стандартный Уровень	Описание	Формат изображения	Формат метаданных
0	<p>Абсолютно «сырые» данные, содержащие информацию с ПЗС — датчиков в процессе съемки, без каких либо преобразований. Информация может иметь сжатие. Данный уровень является базовым для формирования последующих уровней обработки. Как правило, агентства не распространяют данные этого уровня. Используется исключительно в целях изучения работы съемочных систем.</p>	Не определен	Не определен
1A	<p>Включает только радиометрическую коррекцию искажений, вызванных разницей в чувствительности отдельных ПЗС — датчиков сканирующей системы. Никакие геометрические исправления для изображений этого уровня не выполняются, поэтому они остаются практически необработанными или «сырыми». Предоставляются коэффициенты абсолютной радиометрической калибровки. Материалы данного уровня рекомендованы для последующей фотограмметрической обработки строгими методами.</p>	RAW, TIFF	CEOS, XML
1B	<p>Включает радиометрическую коррекцию, как и уровень обработки 1A, а также геометрическую коррекцию систематических ошибок ПЗС — датчиков сканирующей системы, в том числе панорамные искажения, искажения вызванные вращением и кривизной Земли, колебанием высоты орбиты спутника. Применена абсолютная радиометрическая калибровка. Изображения уровня 1B иногда называют «path-oriented». Дополнительно могут быть предоставлены файлы, содержащие коэффициенты рационального многочлена (RPC), аппроксимирующие геометрию изображения. Материалы могут быть использованы для фотограмметрической обработки, как строгими методами, так и аппроксимационными.</p>	RAW, TIFF	CEOS, XML, ASCII

Окончание таблицы 2

Стандартный Уровень	Описание	Формат изображения	Формат метаданных
2А	Изображения, как правило, приведены к стандартной картографической проекции без использования наземных опорных точек. Проецирование изображения выполняется на среднюю плоскость или используется глобальная цифровая модель рельефа (DEM) с шагом на местности 1 км. Могут быть предоставлены файлы, содержащие коэффициенты рационального многочлена (RPC), аппроксимирующие геометрию изображения.	GeoTIFF	XML, ASCII
2В	Изображения уровня 2А приведены к стандартной картографической проекции с использованием наземных опорных точек. Проецирование изображения выполняется на среднюю плоскость или используется глобальная цифровая модель рельефа (DEM) с шагом на местности 1 км. Могут быть предоставлены файлы, содержащие коэффициенты рационального многочлена (RPC), аппроксимирующие геометрию изображения	GeoTIFF	XML, ASCII
3А	В отличие от уровня 2В, изображения уровня 3А проецируются в заданную картографическую проекцию путем ортотрансформирования с использованием модели снимка, опорных наземных точек и модели рельефа местности. Полученные изображения являются ортоскорректированными с определенной точностью. Изображения, как правило, нарезаются на стандартные картографические листы	GeoTIFF	XML, ASCII
3В	Уровень 3В подразумевает объединение изображений уровня 3А в единые бесшовные растровые мозаики, покрывающие большие территории	GeoTIFF	XML, ASCII

2.2 Форматы представления данных ДЗЗ

Форматы представления данных ДЗЗ должны учитывать не только формат растрового изображения, но и формат, и структуру метаданных. Основная трудность заключается в большом количестве различных приложений. В настоящее время программное обеспечение, работающее с растровыми изображениями, обычно поддерживает пятьдесят различных форматов, что сильно снижает совместимость приложений и требует больших технических знаний как поставщиков данных, так и их потребителей. За последнее десятилетие было приложено много усилий, направленных на нормализацию электронного обмена данными. Пример часто используемых форматов: OpenGIS, GeoTIFF, JPEG 2000, XML и XML- схемы.

2.2.1 Содержание метаданных

Накопленный опыт предоставления материалов космических съемок, собранный агентствами из сотен различных проектов, привел к разработке набора метаданных, ориентированных на описание параметров не только самих снимков. Так, например, XML подобный формат метаданных DIMAP (Digital Image Map), разработанный компанией SPOT IMAGE, включает описание растрового изображения, наземной системы координат, спутниковые эфемериды траектории, положение спутника (угловые перемещения), параметры качества информации, конфигурацию съемочной системы, статистические данные, легенду, описание источников данных и так далее. Основой для разработки формата DIMAP являлся существующий уже более десяти лет набор метаданных CEOS, включающий набор фиксированных записей, состоящих из смеси ASCII и бинарных записей. Основными недостатками этого набора метаданных являются сложность процесса извлечения информации для быстрого просмотра, полное отсутствие возможности дальнейшей модернизации и потребность в специализированных

утилитах импорта метаданных. С учетом накопленного мирового опыта по распространению материалов космических съемок можно определить следующие требования к выходной информационной продукции [11]:

- удобочитаемость;
 - возможность формирования каталога и организация поиска через браузер типа graphical user interface (GUI);
 - «самодокументированность» метаданных;
 - возможность проверки качества и функциональной совместимости;
- обеспечение законности.

2.2.2 Требования к функциональности

Основные требования функциональности к метаданным [11]:

- Разделение данных: обеспечение «чистого» разделения между метаданными и растровыми данными, позволяющего осуществить непосредственную визуализацию растровых данных (в распространенных растровых форматах) в стандартных браузерах или программных средствах работы с растровыми изображениями, без потребности в разработке частного программного обеспечения.

- Универсальность: кодирование метаданных как структурную грамматику, для которой могут быть легко разработаны универсальные методы обработки с последующим разделением между приложениями.

- Надежность и расширяемость: возможность дальнейшей модернизации, обеспечивающей целостность уже существующей и используемой структуры.

- Документационная точность и качество: обеспечение гарантии того, что изданная техническая спецификация точно отражает информационный набор метаданных.

3 Детектирование данных ДЗЗ для локализации участков лесозарастания

Обнаружение фактов зарастания просек способом дистанционных наблюдений осуществляется путем дешифрирования снимков ДЗЗ, распознавания заросших участков просеки лесными насаждениями.

Дешифрирование снимков ДЗЗ проводится с привлечением результатов наземных наблюдений за состоянием объектов лесопатологического мониторинга на участке Сухобузимского района поселок Борск.

Лесным дешифрированием снимков называется процесс распознавания изображенных на них лесных объектов и установления их количественных и качественных характеристик. Лесное дешифрирование может быть визуальным (глазомерным, аналитическим), измерительным, автоматическим (машинным), а также комплексным — аналитико-измерительным или автоматизированным (интерактивным, человеко-машинным).

На первом этапе дешифрирования снимка необходимо рассчитать вегетационные индексы, найти диапазоны леса и растительности. На втором этапе: в программном модуле применить метод сегментации к преобразованному снимку, с учетом рассчитанных диапазонов, затем провести векторизацию и вычислить точность определения зарастания просек, создать картосхему. На рисунке 4 представлена диаграмма деятельности методики участков лесозарастания.

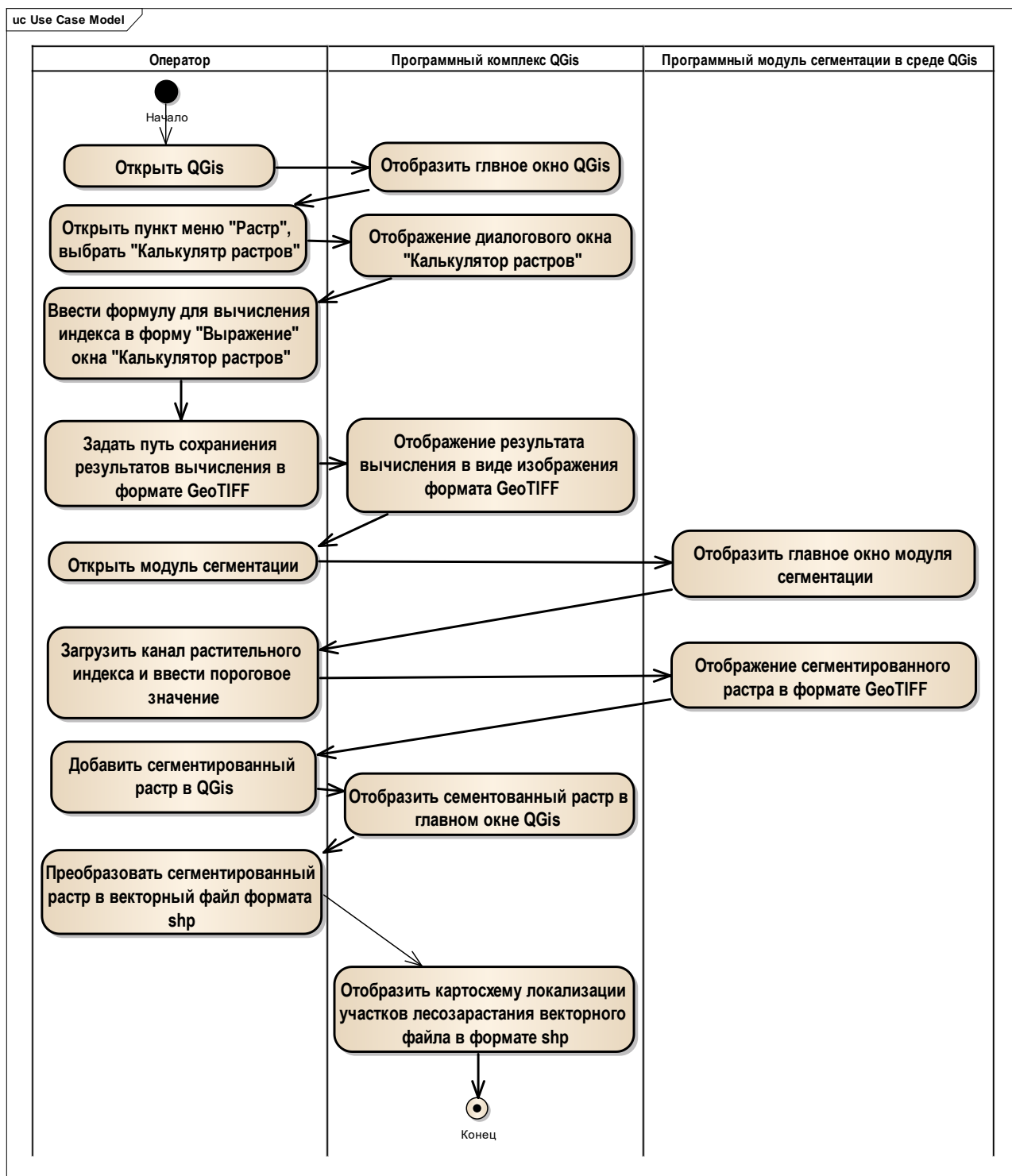


Рисунок 4 — Методика локализации участков лесозарастания

3.1 Обзор вегетационных индексов для локализации участков лесозарастания

Для анализа растительного покрова широко используются различные вегетационные индексы, которые позволяют с помощью математических

операций с разными каналами ДЗЗ давать полезную информацию о растительности. Главным преимуществом вегетационных индексов является легкость их получения и широкий диапазон решаемых с их помощью задач.

Наиболее популярный и часто используемый вегетационный индекс — NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), который для растительности принимает положительные значения, и чем больше зеленая фитомасса, тем он выше. На значения индекса влияет также видовой состав растительности, ее сомкнутость, состояние, экспозиция и угол наклона поверхности, цвет почвы под разреженной растительностью.

NDVI — один из самых распространённых и широко использующийся в анализе растительного покрова, с помощью которого можно выделять различные типы растительности [12].

Благодаря особенности отражения в NIR-RED областях спектра, природные объекты, не связанные с растительностью, имеют фиксированное значение NDVI, что позволяет использовать этот параметр для их идентификации (таблица 3):

Таблица 3 — Фиксированные значения NDVI природных объектов

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

Расчет индекса NDVI по данным красного и ближнего ИК каналов может характеризовать количество фотосинтетически-активной биомассы, фотосинтетически активной биомассы; присутствие фотосинтетически активной биомассы, растительного покрова. Значения, полученные в результате

расчета можно сопоставить со шкалой электромагнитных волн NDVI (рисунок 5).

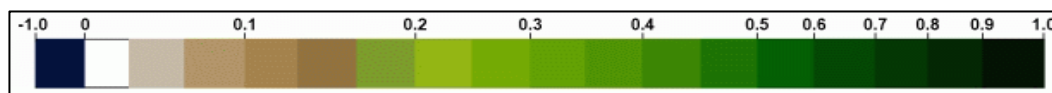


Рисунок 5 — Дискретная шкала NDVI

Из теории следует, что травянистые сообщества показывают наибольшие значения индекса, в то же время лес — относительно более низкие значения индекса.

Также для анализа растительного покрова широко используются индексы Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI) и Relative Strength Index (RVI).

SAVI — используется, если цель исследования — разреженная растительность. В этом случае, если используется корректирующий фактор L больше чем 0.5, нужно быть готовым к тому факту, что корректирующий фактор должен быть больше чем 0.5, если растительный покров мал.

Modified Soil-adjusted Vegetation Index (MSAVI) также используется, но очень редко. Многие индексы, корректирующие влияние почвы, требуют предварительной атмосферной коррекции [13].

При использовании вегетационных индексов для долговременного мониторинга, необходимо очень внимательно проанализировать вариабельность почв и выполнить атмосферную коррекцию.

RVI — впервые описан Jordan (1969) [14]. Наиболее широко распространенный индекс растительности, хотя его редко так называют. Обычная практика в обработке данных ДЗЗ — использование отношений каналов для нивелирования различных эффектов альбедо. Отношение NIR к RED как вегетационный компонент снимка. Параметры индекса:

- изовегетационные линии сходятся в начале координат;
- почвенная линия: наклон = 1 проходит через начало координат;

- возможные значения: 0..бесконечность.

Обзор всех использованных индексов представлен в таблице 4.

Таблица 4 — Обзор вегетационных индексов [15 — 18].

Вегетационный индекс	Формула	Краткое описание
NDVI	$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED)$	Индекс может принимать значения от -1 до 1. Для растительности индекс NDVI принимает положительные значения, обычно от 0.2 до 0.8
RVI	$RVI = NIR / RED$	Значения индекса изменяются от 0 до бесконечности. Для зеленой растительности значения $VI > 1$ и растут с увеличением зеленой фитомассы, сомкнутости растительности (обычно принимают значения 2–8)
EVI	$EVI = (NIR - RED) / (NIR + C_1 * RED - C_2 * BLUE + L) * (1 + L)$	C_1 , C_2 и L эмпирически установлены как равные 6.0, 7.5, и 1.0. Индекс может принимать значения от -1 до 1. Для зеленой растительности обычны значения от 0.2 до 0.8
IPVI	$IPVI = NIR / (NIR + RED)$	Функционально IPVI и NDVI эквивалентны. Индекс может принимать значения от 0 до 1. Для зеленой растительности характерны значения от 0.6 до 0.9
SAVI	$SAVI = (1 + L) * (NIR - RED) / (NIR + RED + L)$	$L = [0; 1]$, $L = 0$ для очень густого растительного покрова, $L = 1$ для очень разреженного, чаще всего используют значение $L = 0.5$. Значения индекса изменяются от -1 до 1. Линия почв проходит через точку 0.

3.2 Выбор вегетационного индекса для локализации участков лесозаращения по данным спутниковой системы *WorldView-2*

В данной работе подсчитаны многоспектральные индексы с использованием спутникового снимка сверхвысокого пространственного разрешения. На примере данных *WorldView-2* от 16 июля 2017 года на территории поселка Борск (Сухобузимский район). Повторяемость съемки одной территории *WorldView-2* составляет до 4 дней. Пространственное разрешение — 0,48 метров. За лето удастся получить 4 — 6 безоблачных сцен одной и той же территории.

Для расчета многоспектрального индекса выбрана свободно распространяемая устанавливаемая геоинформационная система QGIS.

3.2.1 Диапазоны значений вегетационных индексов

Для выбора вегетационного индекса необходимо выполнить вычисления в геоинформационной системе QGIS по выделенной буферной зоне.

Расчет индекса NDVI:

Загружаем снимок *WorldView-2* в формате TIFF в QGIS (рисунок 6):

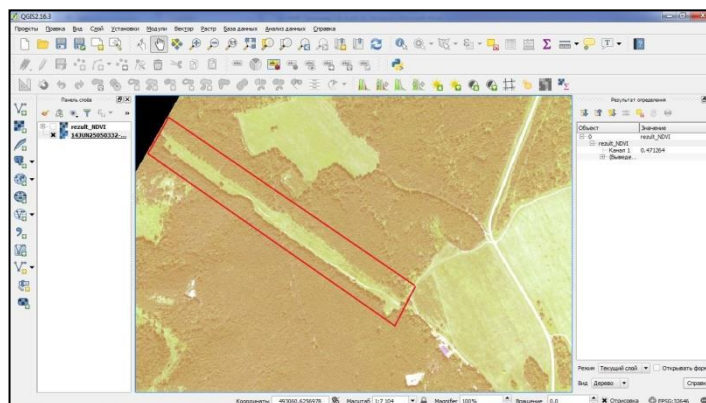


Рисунок 6 — Снимок спутника *WorldView-2*

Далее, для подсчета индекса NDVI требуется во вкладке меню «Растр» открыть калькулятор растров (рисунок 7):

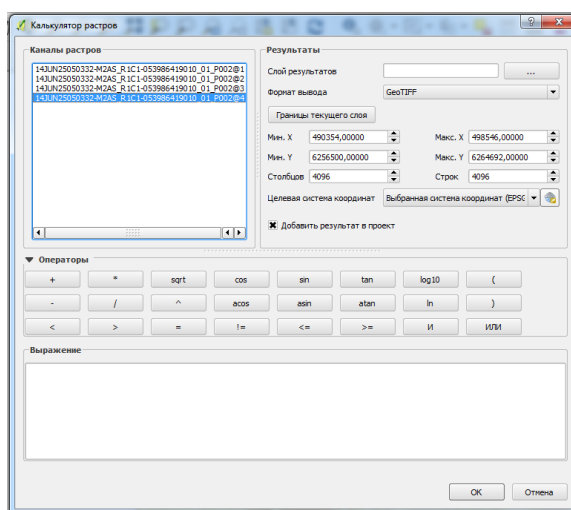


Рисунок 7 — Калькулятор растров

Для расчёта индекса необходимо использовать каналы NIR и RED, у спутника *WorldView-2* это 4-й и 1-й каналы соответственно. В поле «Выражение» вводим формулу NDVI (рисунок 8):

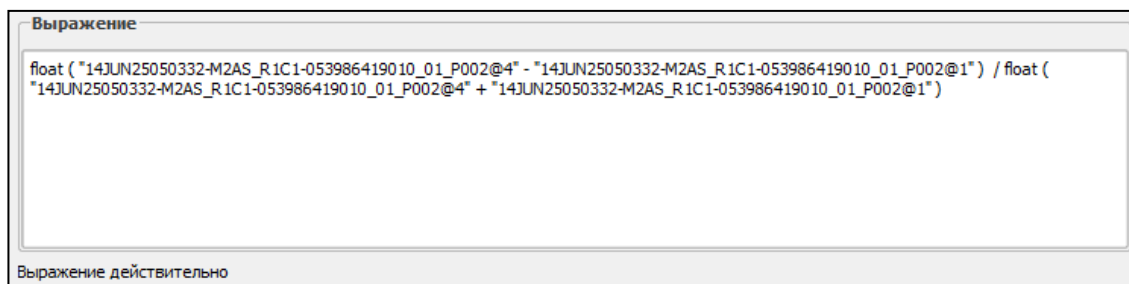


Рисунок 8 — Формула для подсчета NDVI

На рисунке 9 представлен полученный снимок с подсчитанным индексом NDVI.



Рисунок 9 — Рассчитанный индекс NDVI для снимка спутника *WorldView-2*

После того, как посчитан индекс, необходимо определить значения диапазона для леса, травы и подлеска. Для этого переходим в панель инструментов и выбираем «Определить объекты» и, проходя по карте, находим

максимальное и минимальное значение для каждого пикселя леса, травы и подлеска.

Выбор данных интервалов распределения точек обоснован тем, что полученные значения из исходного изображения являются значениями, рассчитанными по индексу NDVI. Значения точек, рассчитанные по NDVI, представляются в виде десятичных дробей, где значения меньше 0.2 говорят о том, что на данном участке уровень зарастания очень мал либо полностью отсутствует и данный участок может быть охарактеризован как незасеянная пашня. Значения выше 0.6 говорят о том, что в данной области плотность зарастания находится на высоком уровне.

Для зеленой растительности отражение в красной области всегда меньше, чем в ближней инфракрасной, за счет поглощения света хлорофиллом, поэтому значения NDVI для растительности не могут быть меньше нуля.

Расчет индекса для каждого пикселя космического снимка по красной и ближней инфракрасной спектральным зонам позволяет получить производное изображение — карту NDVI.

В результате точки для индекса NDVI распределены следующим образом:

$$S(x, y) = \begin{cases} 1, & \text{если } 0.41 < f(x, y) \leq 0.56 \\ 2, & \text{если } 0.56 < f(x, y) \leq 0.65, \\ 3, & \text{если } 0.65 < f(x, y) \leq 0.8 \\ 0, & \text{в противном случае} \end{cases} \quad (1)$$

где $S(x, y)$ — искомое изображение;

1 — лес;

2 — подлесок;

3 — трава.

Проверочная матрица изначально заполнена только 0 — так помечаются точки, нуждающиеся в проверке, далее происходит поиск первой точки сегмента, значение данной точки запоминается и после происходит заполнение матрицы значениями по условиям: если значение текущей точки совпадает со

значением нашей первой запомненной точки, то в проверочную матрицу ставится одно из значений: 1 — если данная точка является граничащей с начальной точкой либо с любой другой 1 уже выставленной на проверочной матрице. Значение 2 — если данная точка является мнимо граничащей с начальной точкой, то есть по условию смежности рядом не находится ни одной единицы. Значение 3 — если данная точка является мнимо граничащей с начальной и второй точкой, то есть по условию смежности рядом не находится ни одной единицы и двойки. Значение 0 — если значение в данной точке не соответствует значению запомненной точки, либо равно также 0.

По тому же принципу рассчитываем индексы Enhanced Vegetation Index (EVI), RVI, Infrared Percentage Vegetation Index (IPVI), SAVI.

Результат вычисления индекса EVI (рисунок 10):

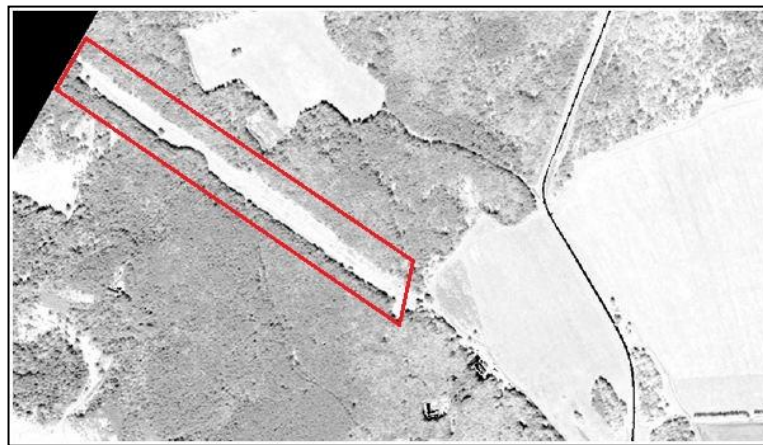


Рисунок 10 — Рассчитанный индекс EVI для снимка спутника *WorldView-2*

$$S(x, y) = \begin{cases} 1, & \text{если } 0.2 < f(x, y) \leq 0.58 \\ 2, & \text{если } 0.58 < f(x, y) \leq 0.78 \\ 3, & \text{если } 0.78 < f(x, y) \leq 1 \\ 0, & \text{в противном случае} \end{cases} \quad (2)$$

где $S(x, y)$ — искомое изображение;

- 1 — лес;
- 2 — подлесок;
- 3 — трава.

Результат вычисления индекса RVI (рисунок 11):

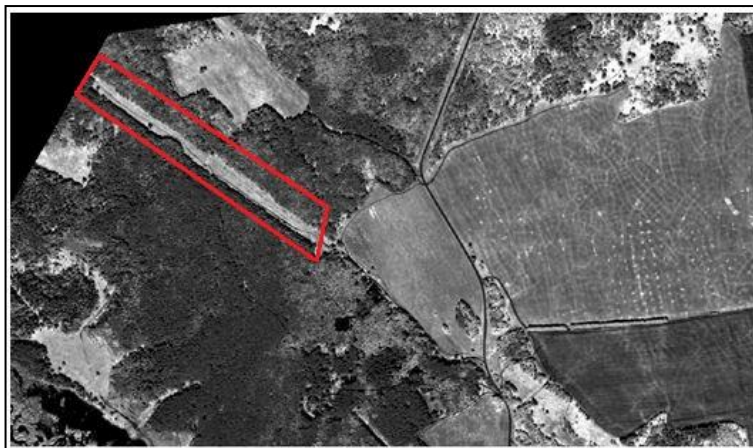


Рисунок 11 — Рассчитанный индекс RVI для снимка спутника *WorldView-2*

$$S(x, y) = \begin{cases} 1, & \text{если } 1.3 < f(x, y) \leq 2.7 \\ 2, & \text{если } 2.7 < f(x, y) \leq 3.6 \\ 3, & \text{если } 3.6 < f(x, y) \leq 4.5 \\ 0, & \text{в противном случае} \end{cases} \quad (3)$$

где $S(x, y)$ — искомое изображение;

1 — лес;

2 — подлесок;

3 — трава.

Результат вычисления индекса IPVI (рисунок 12):



Рисунок 12 — Рассчитанный индекс IPVI для снимка спутника *WorldView-2*

$$S(x, y) = \begin{cases} 1, & \text{если } 0.6 < f(x, y) \leq 0.7 \\ 2, & \text{если } 0.7 < f(x, y) \leq 0.78 \\ 3, & \text{если } 0.78 < f(x, y) \leq 0.82 \\ 0, & \text{в противном случае} \end{cases} \quad (4)$$

где $S(x, y)$ — искомое изображение;

1 — лес;

2 — подлесок;

3 — трава.

Результат вычисления индекса SAVI (рисунок 13):

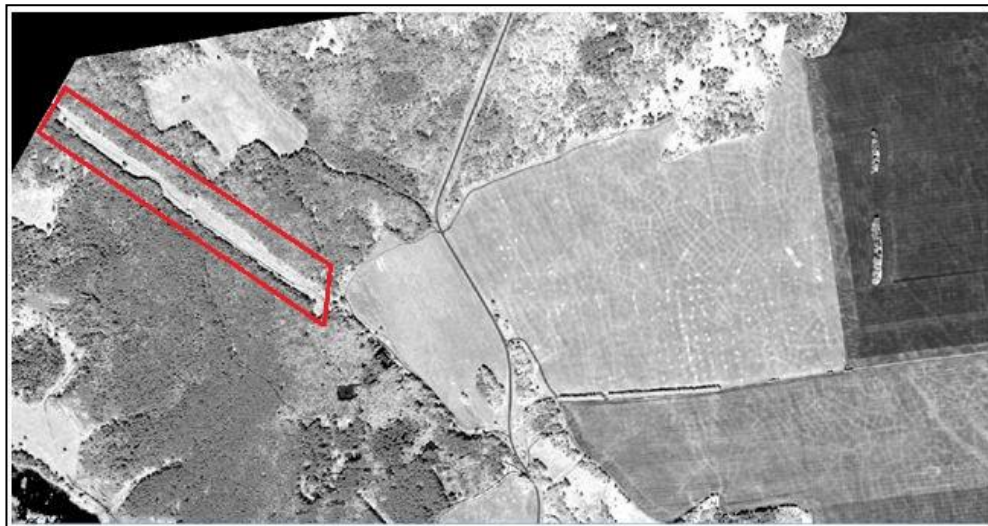


Рисунок 13 — Рассчитанный индекс SAVI для снимка спутника *WorldView-2*

$$S(x, y) = \begin{cases} 1, & \text{если } 0.27 < f(x, y) \leq 0.62 \\ 2, & \text{если } 0.62 < f(x, y) \leq 0.85 \\ 3, & \text{если } 0.85 < f(x, y) \leq 0.97 \\ 0, & \text{в противном случае} \end{cases} \quad (5)$$

где $S(x, y)$ — искомое изображение;

1 — лес;

2 — подлесок;

3 — трава.

Таблица 5 — Диапазоны значений вегетационных индексов для снимка *WorldView-2*

Индекс	Диапазон значений для леса	Диапазон значений для подлеска	Диапазон значений для травы
NDVI	$0.41 < f(x, y) \leq 0.56$	$0.56 < f(x, y) \leq 0.65$	$0.65 < f(x, y) \leq 0.8$
EVI	$0.2 < f(x, y) \leq 0.58$	$0.58 < f(x, y) \leq 0.78$	$0.78 < f(x, y) \leq 1$
RVI	$1.3 < f(x, y) \leq 2.7$	$2.7 < f(x, y) \leq 3.6$	$3.6 < f(x, y) \leq 4.5$
IPVI	$0.6 < f(x, y) \leq 0.7$	$0.7 < f(x, y) \leq 0.78$	$0.78 < f(x, y) \leq 0.82$
SAVI	$0.27 < f(x, y) \leq 0.62$	$0.62 < f(x, y) \leq 0.85$	$0.85 < f(x, y) \leq 0.97$

3.2.1 Сегментация участков лесозарастания

Объект изображения (образ) можно рассматривать как совокупность областей интенсивности. Для выделения области интенсивности на изображении можно использовать не только методы распознавания образов, но и методы разбиения изображений или методы сегментации областей. Алгоритмы сегментации можно рассматривать как формализацию понятия выделяемости объекта из фона. Сегментацией называется процесс подразделения сцены на составляющие части или объекты. Сегментация является одним из основных элементов работы автоматизированной системы технического зрения, так как именно на этой стадии обработки объекты выделяются из сцены для дальнейшего распознавания и анализа. Сегментация изображения представляет собой разделение или разбиение изображения на области по сходству свойств их точек [19, 20, 21]. Наиболее часто сегментацию проводят по яркости для одноцветного изображения и цветовым координатам для цветного изображения. Конечной целью сегментации изображений является разбиение поля зрения D на области объектов D_1, \dots, D_s , и область фона D_ϕ .

Существуют два общих подхода к решению задачи сегментации, которые базируются на альтернативных методологических концепциях. Первый подход

основан на идее «разрывности» свойств точек изображения при переходе от одной области к другой. Этот подход сводит задачу сегментации к задаче выделения границ областей. Успешное решение последней позволяет идентифицировать сами области и их границы. Второй подход реализует стремление выделить точки изображения, однородные по своим свойствам и локальным свойствам, и объединить их в область, которой позже будет присвоено имя или смысловая метка.

Так в качестве предиката однородности — LP должен выступать предикат принимающий истинные значения на граничных точках и ложные на внутренних точках, то разбиение S^* будет являться двухэлементным множеством:

$$S^* = \{S_1^*; S_2^*\}, \quad (6)$$

где S_1^* — множество граничных точек областей;

$$S_2^* = X \setminus S_1^* \text{ — множество внутренних точек областей.}$$

В практическом плане это означает, что алгоритм выделения границ не позволяют идентифицировать разными метками разные областей [22]. Исходя из этого, было принято решение остановиться на алгоритмах разметки точек области, так как они удовлетворяют условиям поставленной задачи для определения состояния просек.

На рисунке 14 представлен алгоритм работы сегментации изображения на примере индекса NDVI, свободно распространяемого программного модуля в среде QGIS, результат работы которого — разделение всех пикселей изображения по заданному пороговому значению спектрального индекса и создание выходного растрового файла формата GeoTIFF, содержащего информацию о типах пикселей в виде бинарного изображения.

Затем полученный растровый файл сегментации преобразуем в полигоны векторного слоя с сохраненной проекцией; и текстовый файл, содержащий в себе информацию о координатах и значениях точек каждого сегмента, который позволит определить участки лесозарастания.

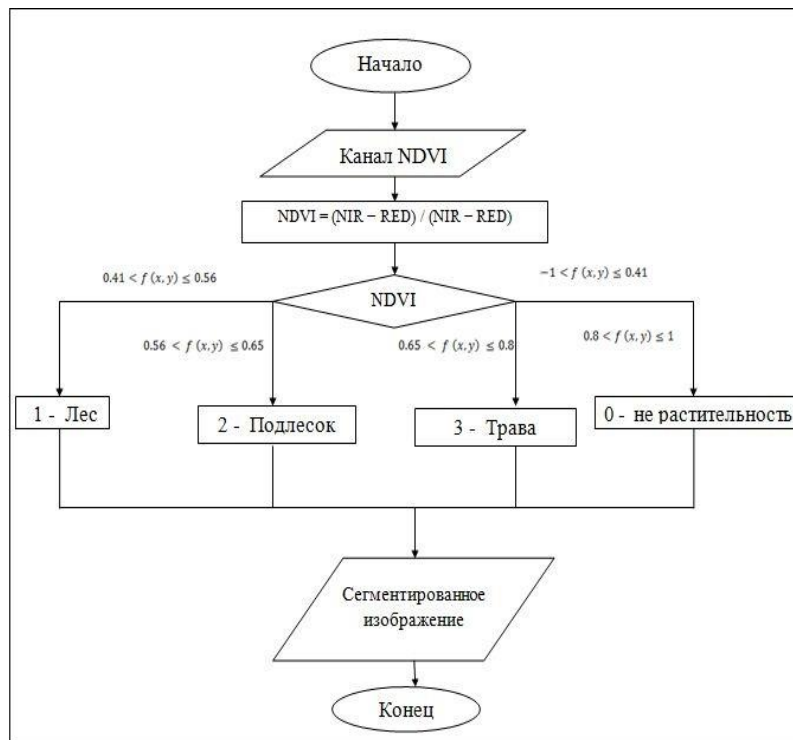


Рисунок 14 — Алгоритм работы программного модуля сегментации изображения

Ниже представлены результаты сегментации и преобразованные в векторный слой — картосхема (рисунок 15 — 19).

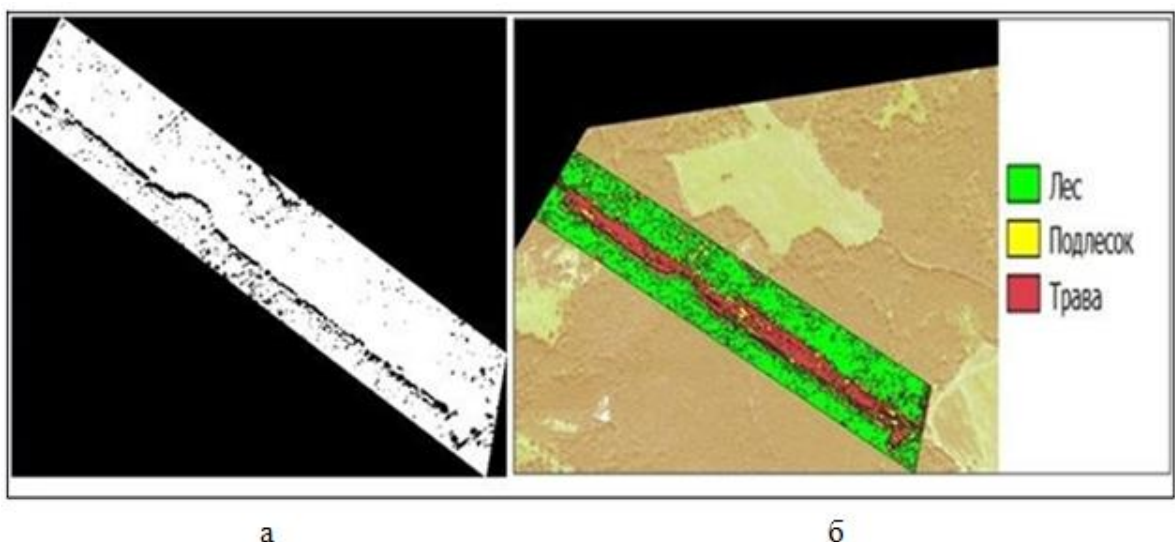
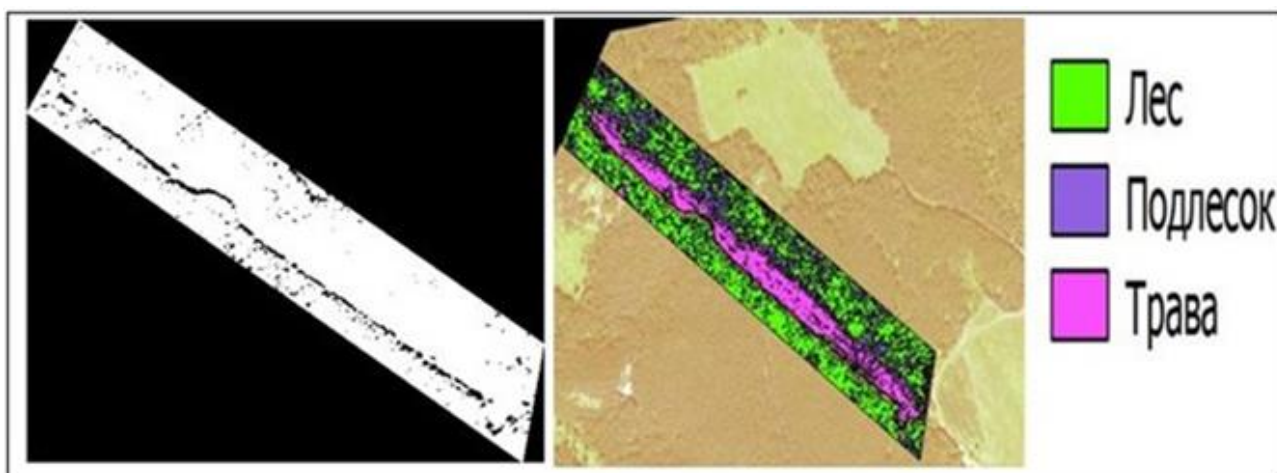


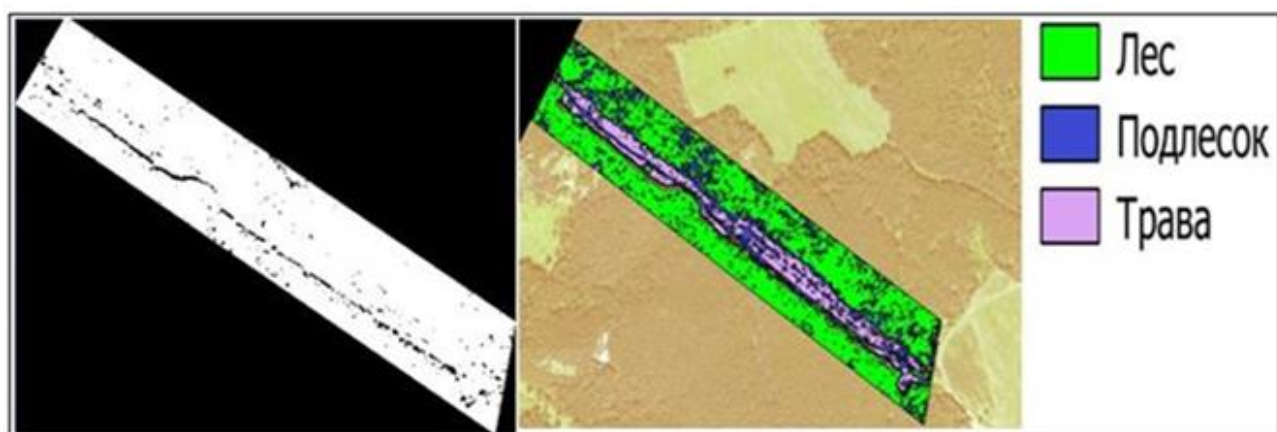
Рисунок 15 — Результаты локализации участков лесозарастания: а — результат сегментации по каналу NDVI; б — участки лесозарастания в векторном формате



а

б

Рисунок 16 — Результаты локализации участков лесозарастания: а — результат сегментации по каналу EVI; б — участки лесозарастания в векторном формате



а

б

Рисунок 17 — Результаты локализации участков лесозарастания: а — результат сегментации по каналу RVI; б — участки лесозарастания в векторном формате

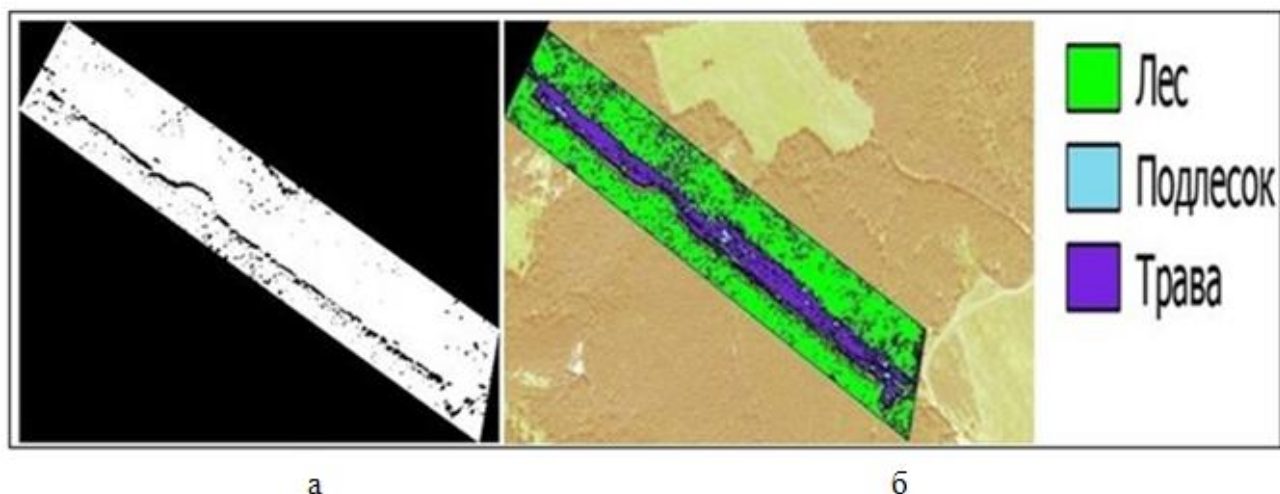


Рисунок 18 — Результаты локализации участков лесозарастания: а — результат сегментации по каналу IPVI; б — участки лесозарастания в векторном формате

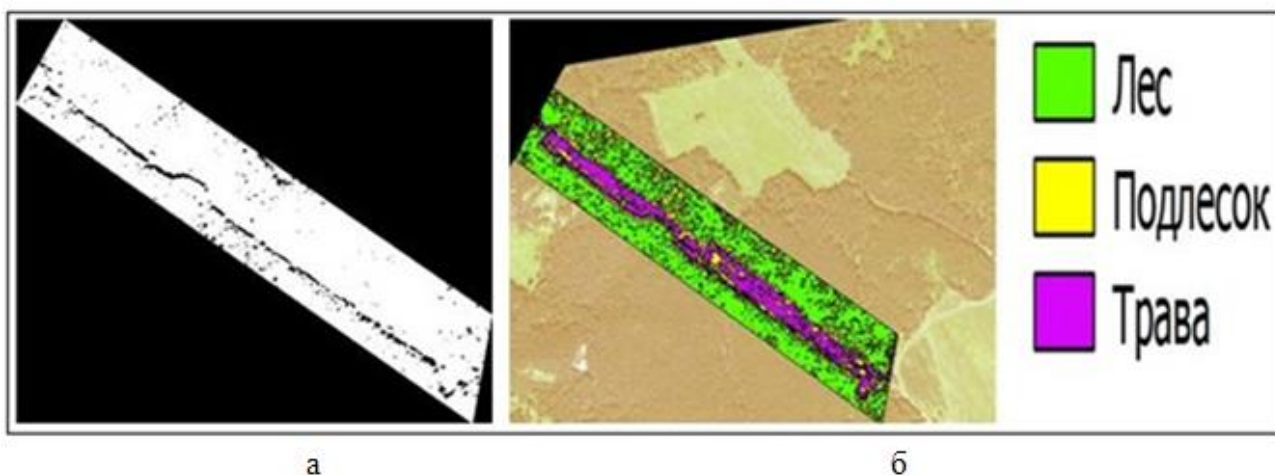


Рисунок 19 — Результаты локализации участков лесозарастания: а — результат сегментации по каналу SAVI; б — участки лесозарастания в векторном формате

3.2.2 Расчет показателей точности выделения лесозарастания

Матрица ошибок представляет собой инструмент, использующий кросс-табуляцию для показа того, как соотносятся значения совпадающих классов, полученные из различных источников. В качестве источников могут выступать, например, проверяемый растр (тематическая классификация) и опорный более точный источник данных (растр или набор полевых данных в виде точек). При интерпретации результатов обычно полагается, что проверяемый результат

потенциально является неточным, а проверочный растр хорошо отражает реальную ситуацию. В противном случае, если проверочный растр также несовершенен, нельзя говорить об «ошибке», а следует говорить о «разнице» между двумя наборами данных. Для построения матрицы могут использоваться все ячейки растра (пиксели) или выборка ячеек, расположенных случайно, стратифицировано случайно или согласно какому-либо другому распределению [31].

По одной из осей матрицы записываются названия классов легенды классификации проверяемого набора данных, по второй — классы легенды данных, используемых для проверки (рисунок 20).

		Реальные классы					Σ
		A	B	C	D	E	
Расчетные классы	A	n_{AA}	n_{AB}	n_{AC}	n_{AD}	n_{AE}	n_{A-}
	B	n_{BA}	n_{BB}	n_{BC}	n_{BD}	n_{BE}	n_{B-}
	C	n_{CA}	n_{CB}	n_{CC}	n_{CD}	n_{CE}	n_{C-}
	D	n_{DA}	n_{DB}	n_{DC}	n_{DD}	n_{DE}	n_{D-}
	E	n_{EA}	n_{EB}	n_{EC}	n_{ED}	n_{EE}	n_{E-}
Σ		n_{-A}	n_{-B}	n_{-C}	n_{-D}	n_{-E}	N

Рисунок 20 — Матрица ошибок

Серым отмечена главная диагональ матрицы, показывающая случаи, где расчетные классы и реальные данные совпадают (правильная классификация). Сумма значений диагональных элементов показывает общее количество правильно классифицированных пикселей, а отношение этого количества к общему количеству пикселей в матрице N называется общей точностью классификации и обычно выражается в процентах:

$$\varepsilon = \frac{n_{AA} + n_{BB} + n_{CC} + n_{DD} + n_{EE}}{N} \cdot 100\%, \quad (7)$$

где $n_{AA} + n_{BB} + n_{CC} + n_{DD} + n_{EE}$ — общее количество правильно классифицированных признаков;

N — общее количество пикселей в матрице.

Построение матрицы ошибок производится по фрагменту изображения на территории поселка Борск (Сухобузимский район), представленного на рисунке 21. Выборка для реального класса осуществляется при помощи инструментов программного продукта ENVI 4.4.

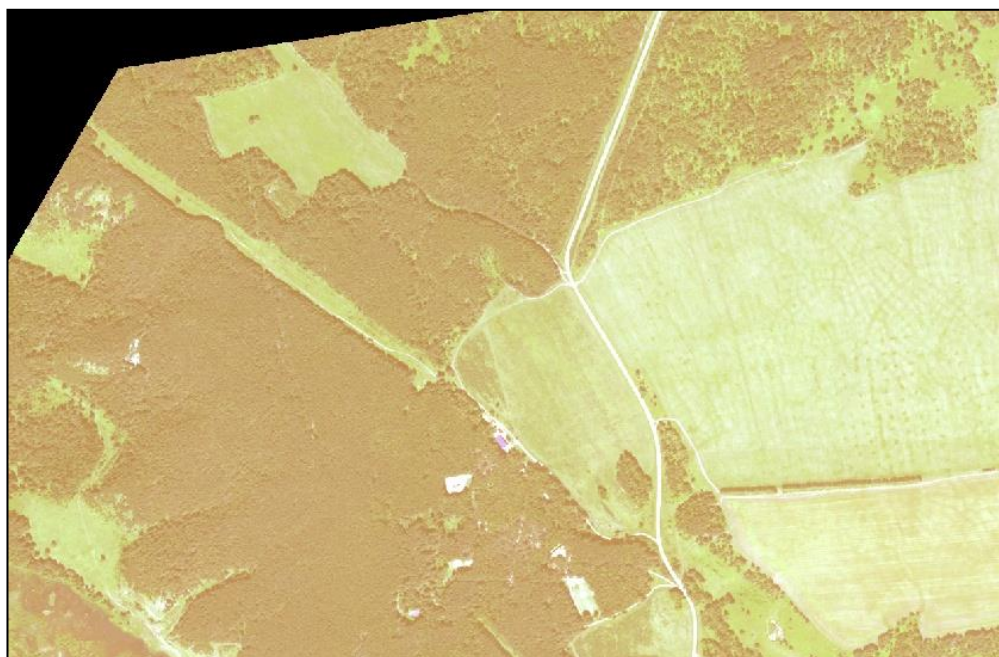


Рисунок 21 — Фрагмент изображения территории поселка Борск (Сухобузимский район)

Матрица ошибок для индекса NDVI представлена в таблице 6. Поля «Да» и «Нет» отражают количество попавших в класс водной поверхности пикселей.

Таблица 6 — Матрица ошибок для индекса NDVI

NDVI	Реальный класс			Σ
	Да	Нет	Σ	
Да	3862	3	3865	
Нет	532	1396	1928	
Σ	4394	1399	5793	

Расчет общей точности классификации индекса NDVI производится по формуле (6):

$$\varepsilon_{\text{NDVI}} = \frac{3862+1396}{5793} \cdot 100 \% = 91 \%$$

Таким образом, общая точность определения лесозарастания для индекса NDVI составила 91%.

Также были рассчитаны:

- общая ошибка сегментации $\varepsilon_i = 9 \%$;
- ошибка пропусков $\varepsilon_j = 1,14 \%$;
- ошибка ложной сегментации $\varepsilon_l = 0,87 \%$.

Матрица ошибок для индекса SAVI представлена в таблице 7. Поля «Да» и «Нет» отражают количество попавших в класс водной поверхности пикселей.

Таблица 7 — Матрица ошибок для индекса SAVI

SAVI	Реальный класс			Σ
	Да	Нет	Σ	
Да	3955	729	4694	
Нет	439	670	1109	
Σ	4394	1399	5793	

$$\varepsilon_{\text{SAVI}} = \frac{3955+670}{5793} \cdot 100 \% = 80 \%$$

Таким образом, общая точность определения лесозарастания для индекса SAVI составила 80%.

Также были рассчитаны:

- общая ошибка сегментации $\varepsilon_i = 10 \%$;
- ошибка пропусков $\varepsilon_j = 1,1 \%$;
- ошибка ложной сегментации $\varepsilon_l = 0,9 \%$.

Таблица 8 — Матрица ошибок для индекса EVI

EVI	Реальный класс			Σ
		Да	Нет	
Да		3743	2	3745
Нет		651	1397	2048
Σ		4394	1399	5793

$$\varepsilon_{EVI} = \frac{3743+1397}{5793} \cdot 100 \% = 89 \%$$

Таким образом, общая точность определения лесозаращения для индекса EVI составила 89%.

Также были рассчитаны:

- общая ошибка сегментации $\varepsilon_i = 11 \%$;
- ошибка пропусков $\varepsilon_j = 1,17 \%$;
- ошибка ложной сегментации $\varepsilon_l = 0,85 \%$.

Таблица 9 — Матрица ошибок для индекса RVI

RVI	Реальный класс			Σ
		Да	Нет	
Да		3953	40	3993
Нет		441	1359	1800
Σ		4394	1399	5793

$$\varepsilon_{RVI} = \frac{3953+1359}{5793} \cdot 100 \% = 92 \%$$

Таким образом, общая точность определения лесозаращения для индекса RVI составила 92%.

Также были рассчитаны:

- общая ошибка сегментации $\varepsilon_i = 8 \%$;
- ошибка пропусков $\varepsilon_j = 1,11 \%$;
- ошибка ложной сегментации $\varepsilon_l = 0,89 \%$.

Таблица 10 — Матрица ошибок для индекса IPVI

IPVI	Реальный класс			Σ
		Да	Нет	
Да		3893	28	3920
Нет		502	1371	1873
Σ		4394	1399	5793

$$\varepsilon_{IPVI} = \frac{3893+1371}{5793} \cdot 100 \% = 91 \%$$

Таким образом, общая точность определения лесозарастания для индекса IPVI составила 91%.

Также были рассчитаны:

- общая ошибка сегментации $\varepsilon_i = 9 \%$;
- ошибка пропусков $\varepsilon_j = 1,12 \%$;
- ошибка ложной сегментации $\varepsilon_l = 0,88 \%$.

Сводная таблица 11 для результатов классификации фрагмента снимка для индексов NDVI, SAVI, EVI, RVI, IPVI представлена ниже:

Таблица 11 — Результаты классификации фрагмента снимка для индексов NDVI, SAVI, EVI, RVI, IPVI

Индекс	Общая точность
NDVI	91%
SAVI	80%
EVI	89%
RVI	92%
IPVI	91%

Таким образом, наибольшую точность для обнаружения участков лесозарастания объектов электросетевого комплекса по данным ДЗЗ, позволяющей выполнить пространственную локализацию обнаруженных участков для оказания информационной поддержки лиц, принимающих решения, показал индекс RVI и IPVI.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения магистерской диссертации были решены следующие задачи:

- Определены критерии выбора спутниковых программ дистанционного зондирования Земли, релевантных решению задачи определения участков лесозарастания.

- Разработана методика обнаружения участков лесозарастания объектов электросетевого комплекса по данным ДЗЗ.

- Результат разработанной методики апробирован на практических примерах.

- Выполнен сравнительный анализ результатов показателя общей точности выделения участков лесозарастания.

- В ходе выполнения магистерской диссертации были опубликованы две статьи в научном журнале с международным участием, индексируемые в РИНЦ.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1) Токарева О.С. Обработка и интерпретация данных дистанционного зондирования Земли: учебное пособие. — Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. — 148 с.

2) Лурье И.К., Косиков А.Г. Теория и практика цифровой обработки изображений / Дистанционное зондирование и географические информационные системы. Под ред. А.М. Берлянта. — М.: Научный мир, 2010. — 168 с., 8 с.

3) Горбунова В. А. Автоматизация предварительной обработки данных спутника дистанционного зондирования земли SPOT-4. // Молодёжь и наука: Сборник материалов VIII Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных, посвященной 155-летию со дня рождения К. Э. Циолковского [Электронный ресурс]. — Красноярск: Сибирский федеральный ун-т, 2012. — Режим доступа: <http://conf.sfu-kras.ru/sites/mn2012/section05.html>, свободный.

4) Бучнев А.А., Пяткин В.П. Некоторые вопросы тематической обработки данных дистанционного зондирования земли // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2014. № 5. С. 203-212.

5) Чандра А. М. Дистанционное зондирование и географические информационные системы / А. М. Чандра, С. К. Гош ; [Пер. с англ. А. В. Кирюшина]. — М. : Техносфера, 2008. — 312 с., 16 с.

6) Боголюбова А. А. Аэрокосмический мониторинг земельных угодий особо охраняемых природных территорий Санкт-Петербурга : дис. ... канд. техн. наук / А. А. Боголюбова ; Национальный минерально-сырьевой университет «Горный». СПб., 2012. — 144 с.

7) Лабутина И. А. Дешифрирование аэрокосмических снимков : учеб. пособие для студентов вузов / И. А. Лабутина. — М. : Аспект-Пресс, 2004. — 184 с.

8) Арбузов А.С., Алтынцев М.А., Гордиенко А.С., «Разработка методики многоступенчатого дешифрирования космических снимков» Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. 2013. № 2. С. 29-32.

9) Географические информационные системы и дистанционное зондирование [Электронный ресурс]: // Режим доступа: <http://www.gis-lab.info>.

10) Новоселова, Н.В. Дистанционные методы исследования: учеб. пособие / Н.В. Новоселова; Красноярск гос. аграр. ун-т. — Красноярск, 2015. —175с.

11) Беленов А.В. Стандартные уровни обработки и форматы представления данных ДЗЗ из космоса. Мировой опыт / А.В.

12) Rouse, J. W., R. H. Haas, J. A. Schell, and D. W. Deering, 1973, Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. Proceedings, Third ERTS Symposium, NASA SP-351, 1:309-317.

13) Huete, A. R., 1988, A soil-adjusted vegetation index (SAVI). Remote Sensing of Environment 25:295-309.

14) Birth, G. S., and G. R. McVey, 1968, Measuring color of growing turf with a reflectance spectrophotometer. Agronomy Journal 60:640-649.

15) Черепанов А.С. Вегетационные индексы // Геоматика. — № 2. 2017. — С. 98-102.

16) Черепанов А.С., Дружинина Е.Г. Спектральные свойства растительности и вегетационные индексы // Геоматика. — №3. — 2009. — С. 28-32.

17) Liu, H. Q., and A. Huete, 1995, A feedback based modification of the NDVI to minimize canopy background and atmospheric noise. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing 33:457-465.

18) Crippen, R. E., 1990, Calculating the vegetation index faster. Remote Sensing of Environment 34:71-73.

19) Абламейко С.В., Лагуновский Д.М. Обработка изображений: технология, методы, применение. — Минск: Ин-т техн. Кибернетики НАН Беларуси, 2010. — 304 с.

20) Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений.// Пер. с англ.- Москва.- Техносфера. — 2006.-1072 с. Горбань А., Россиев Д. Нейронные сети на персональном компьютере. Новосибирск: Наука, 1996. 276 с.

21) Старовойтов В.В., Талёб М.А. — Методы сегментации цветных изображений. — Минск: Ин-т техн. кибернетики НАН Беларуси, 1999. — 44с.

22) Денисов Д. А. Компьютерные методы анализа видеoinформации; Краснояр. гос. ун-т. Красноярск, 1991. 192с.

23) Сутырина Е. Н. Дистанционное зондирование земли: учеб. пособие. Иркутск: Изд-во ИГУ, 2013. — 165 с. ISBN 978-5-9624-0801-9.

24) Шовенгердт, Р.А. Дистанционное зондирование. Модели и методы обработки изображений: Учебное пособие / Р.А. Шовенгердт; Пер. с англ. А.В. Кирюшин, А.И. Демьяников. - М.: Техносфера, 2013. - 592 с.

25) Мониторинг и диагностика просек воздушных линий электропередач посредством геоинформационных систем и технологий Вайсблат Н.Э., Иконникова К.В., Перемитин И.С. В сборнике: Электроэнергетика глазами молодежи Сборник докладов V Международной молодежной научно-технической конференции. 2014. С. 144-148.

26) Гистограммный подход к представлению и обработке данных космического и наземного мониторинга Добронев Б. С., Попова О. А. Известия ЮФУ. Технические науки. 2014. № 6 (155). С. 14-22.

27) Рис У.Г. Основы дистанционного зондирования / У.Г. Рис, пер. с англ.М. Кауфман, А. Кузьмичева. - Москва: Техносфера, 2014 г. — 346 с.

28) Прэтт У.К. Цифровая обработка изображений: книга 2 / У.К. Прэтт, пер. с англ. Д.С. Лебедевой. — Москва : Мир, 1982г. - 790 с.

29) Разработка системы динамической оценки и прогнозирования состояния просек в лесных массивах в местах прохождения воздушных линий электропередачи ПАО «МРСК Сибири»: отчет о НИР (итоговый): 42-44 / Всерос. науч.-исслед. ин-т животноводства; рук. Маглинец Ю. А. — М., 2016. — 75 с. — Исполн.: Брежнев Р. В, Селютина Ю. В, Федотова Е. В.

30) Евстратова Л. Г. Разработка методики мониторинга лесных массивов по многозональным космическим снимкам среднего и высокого разрешения / Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофото съемка. 2015. № 2. С. 34-37.

31) Матрица ошибок и расчет показателей точности тематических карт [Электронный ресурс]: // Режим доступа: <http://gis-lab.info/qa/error-matrix.html>.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Плакаты презентации

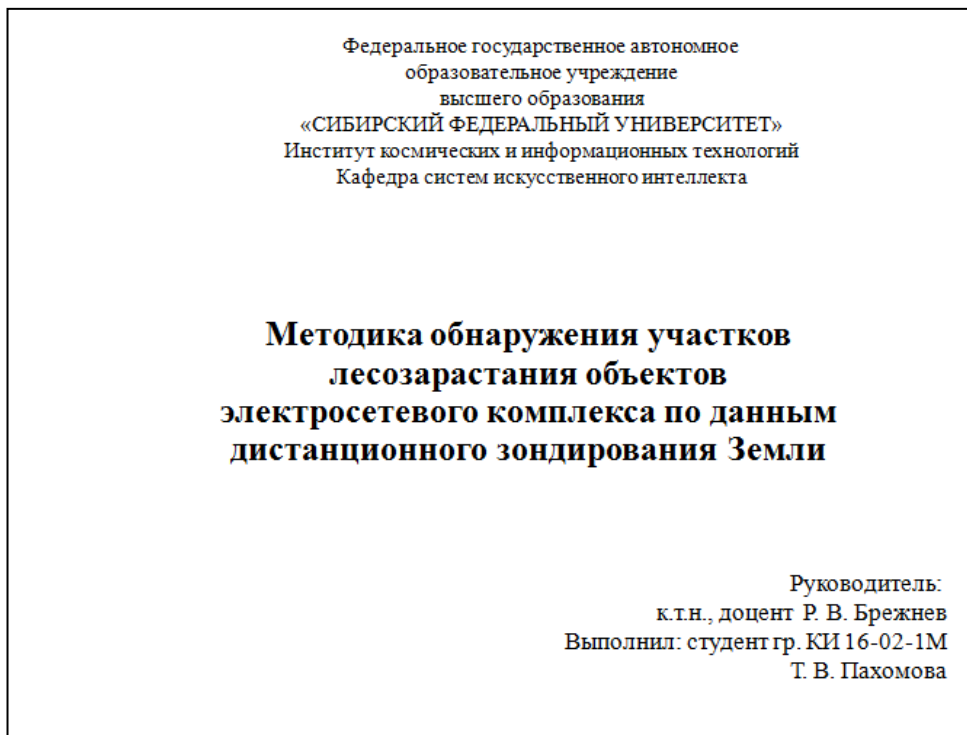


Рисунок А.1 — Плакат презентации №1

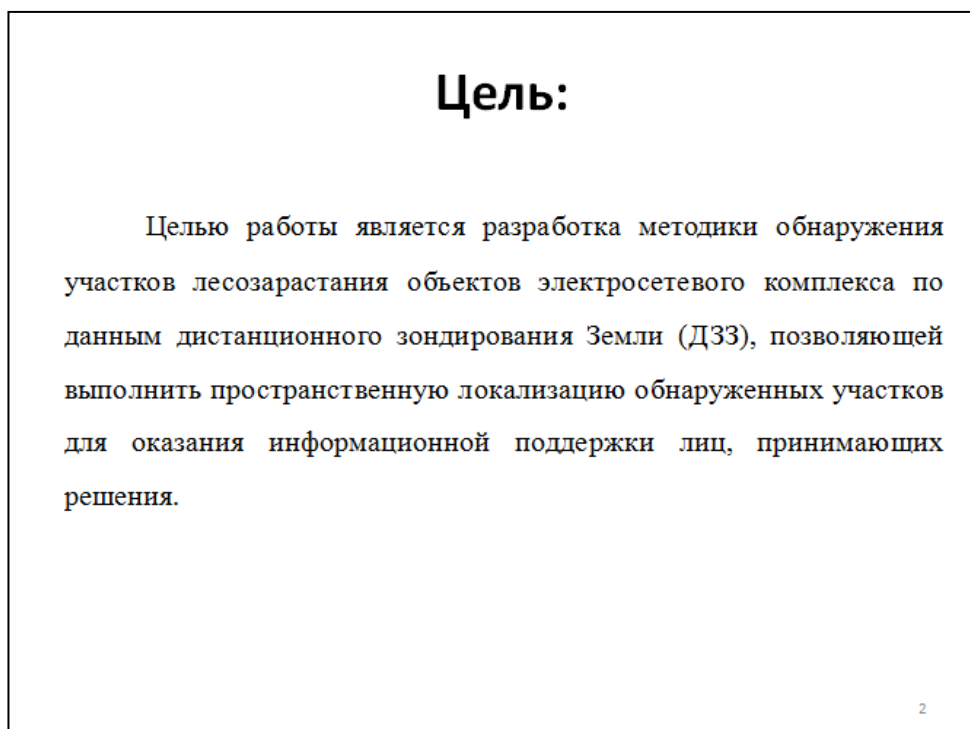


Рисунок А.2 — Плакат презентации №2

Задачи:

1. Обзор и выделение критериев релевантности данных ДЗЗ для выявления фактов лесозаращения.
2. Разработка методики обнаружения участков лесозаращения объектов электросетевого комплекса по данным ДЗЗ
3. Проведение практической апробации разработанной методики на экспериментальной территории с использованием высокодетальных данных ДЗЗ. Создание картосхемы состояния просек для детектирования фактов зарастания.

3

Рисунок А.3 — Плакат презентации №3

Актуальность



Рисунок 1 — Пример участка лесозаращения просеки

Рисунок 2 — Охранная зона ЛЭП Коми-Пермяцкого округа

Таблица 1 — Стандарт ширины просеки по постановлению Правительства РФ от 24.02.2009 N 160

Проектный номинальный класс напряжения, кВ	до 1	1-20	35	110	150,220	300,500, +/- 400	750, +/- 750	1150
Расстояние, м	2	10	15	20	25	30	40	55

4

Рисунок А.4 — Плакат презентации №4

Практическая значимость работы

Программно-методический комплекс для обнаружения участков лесозарастания, позволяющий оказывать информационную поддержку лицам, принимающим решения.



5

Рисунок А.5 — Плакат презентации №5

Предмет исследования

Методика для обнаружения участков лесозарастания, позволяющая оказывать информационную поддержку лицам, принимающим решения.

Объект исследования

Наземные объекты электросетевого комплекса в зоне зарастания.

6

Рисунок А.6 — Плакат презентации №6

Выбор данных ДЗЗ для обнаружения участков лесозаращения

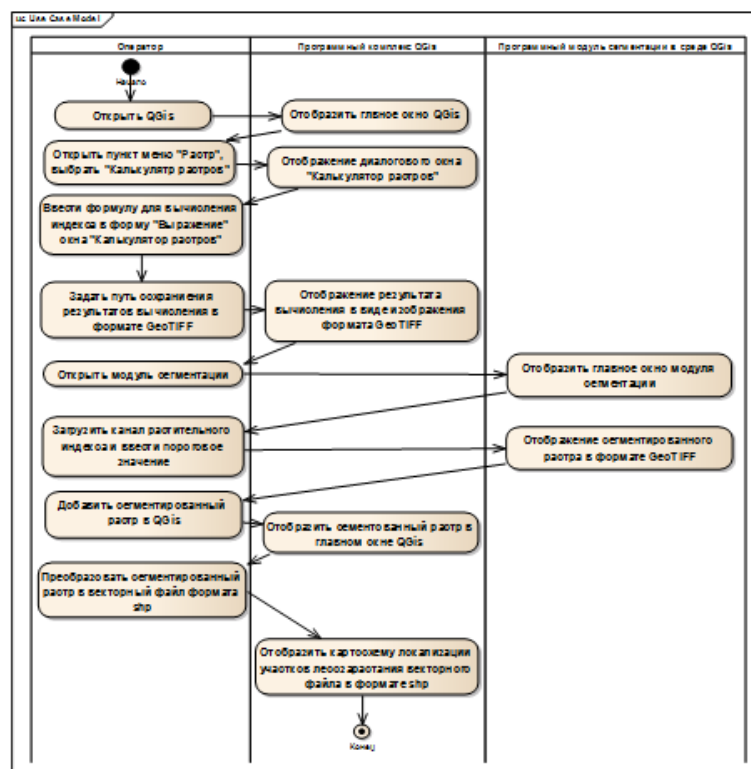
Таблица 2 — Технические характеристики оптических спутников по данным статьи: Географические информационные системы и дистанционное зондирование [Электронный ресурс]: // Режим доступа: <http://www.gis-lab.info>

Пространственное разрешение (в надире), м	Периодичность съёмки, сутки	Ширина полосы съёмки, км	Доступ к снимкам
WorldView-2			
0,46–1,84	1-4	16,4	условно-открытый
GeoEye-1			
0,46–1,65	< 3	15,2	закрытый
IKONOS			
0,82–3,28	1-5	11,3	условно-открытый
Pleiades			
0,5-2	1	20	условно-открытый

7

Рисунок А.7 — Плакат презентации №7

Диаграмма деятельности методики локализации участков лесозаращения



8

Рисунок А.8 — Плакат презентации №8

Экспериментальные данные ДЗЗ

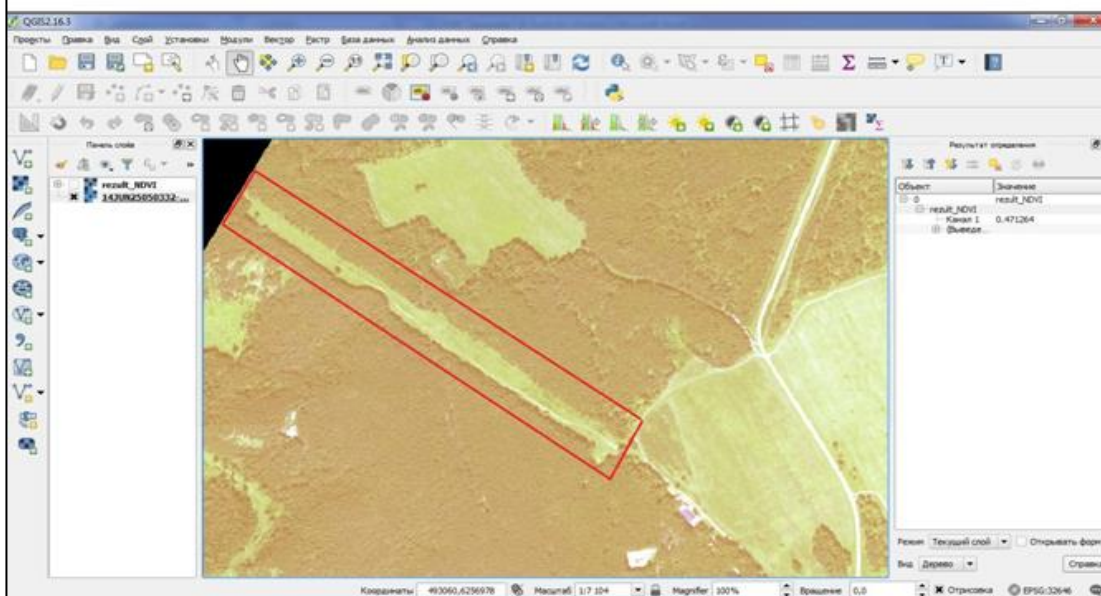


Рисунок 3 — Снимок спутника WorldView-2 с выделенной буферной зоной

Рисунок А.9 — Плакат презентации №9

Вегетационные индексы для локализации участков лесозарастания

Таблица 3 — Формулы и диапазоны значений вегетационных индексов по данным статей авторов: Дружининой Е. Г., Черепанова А. С., Strippen, R. E., Huete A., Liu, H. Q.

Вегетационный индекс	Формула	Краткое описание
NDVI	$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED)$	Индекс может принимать значения от -1 до 1. Для растительности индекс NDVI принимает положительные значения, обычно от 0.2 до 0.8
RVI	$RVI = NIR / RED$	Значения индекса изменяются от 0 до бесконечности. Для зеленой растительности значения $RVI > 1$ и растут с увеличением зеленой фитомассы, сомкнутости растительности (обычно принимают значения 2–8)
EVI	$EVI = (NIR - RED) / (NIR + C_1 * RED - C_2 * BLUE + L) * (1 + L)$	C_1 , C_2 и L эмпирически установлены как равные 6.0, 7.5, и 1.0. Индекс может принимать значения от -1 до 1. Для зеленой растительности обычны значения от 0.2 до 0.8
IPVI	$IPVI = NIR / (NIR + RED)$	Функционально IPVI и NDVI эквивалентны. Индекс может принимать значения от 0 до 1. Для зеленой растительности характерны значения от 0.6 до 0.9
SAVI	$SAVI = (1 + L) * (NIR - RED) / (NIR + RED + L)$	$L = [0; 1]$, $L = 0$ для очень густого растительного покрова, $L = 1$ для очень разреженного, чаще всего используют значение $L = 0.5$. Значения индекса изменяются от -1 до 1. Линия почв проходит через точку 0.

10

Рисунок А.10 — Плакат презентации №10

Вегетационные индексы для локализации участков лесозарастания

Таблица 4 — Диапазоны значений вегетационных индексов для снимка WorldView-2

Индекс	Диапазон значений для леса	Диапазон значений для подлеска	Диапазон значений для травы
NDVI	$0.41 < f(x, y) \leq 0.56$	$0.56 < f(x, y) \leq 0.65$	$0.65 < f(x, y) \leq 0.8$
EVI	$0.2 < f(x, y) \leq 0.58$	$0.58 < f(x, y) \leq 0.78$	$0.78 < f(x, y) \leq 1$
RVI	$1.3 < f(x, y) \leq 2.7$	$2.7 < f(x, y) \leq 3.6$	$3.6 < f(x, y) \leq 4.5$
IPVI	$0.6 < f(x, y) \leq 0.7$	$0.7 < f(x, y) \leq 0.78$	$0.78 < f(x, y) \leq 0.82$
SAVI	$0.27 < f(x, y) \leq 0.62$	$0.62 < f(x, y) \leq 0.85$	$0.85 < f(x, y) \leq 0.97$

11

Рисунок А.11 — Плакат презентации №11

Алгоритм сегментации участков лесозарастания

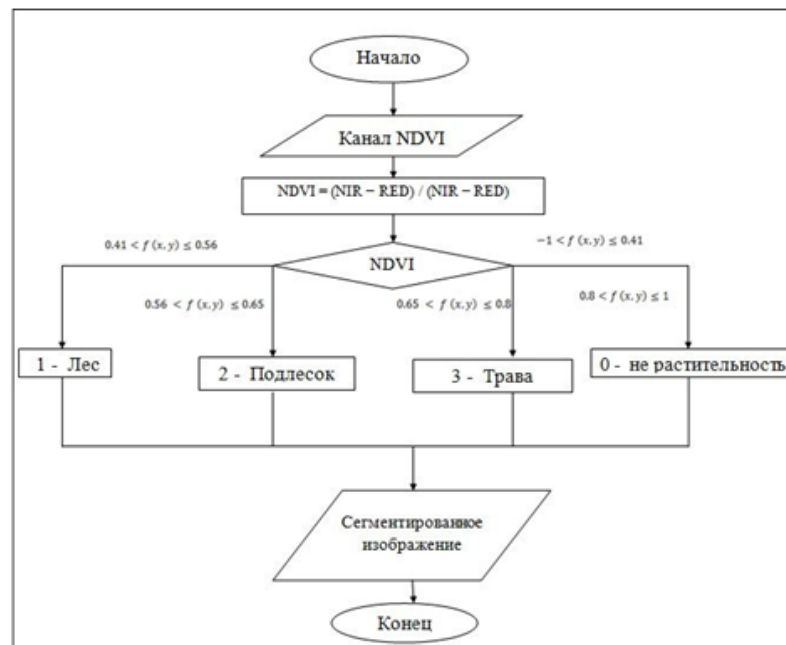


Рисунок 4 — Алгоритм работы программного модуля сегментации изображения

12

Рисунок А.12 — Плакат презентации №12

Сравнение результатов показателя общей точности выделения участков лесозарастания

$$\varepsilon = \frac{n_{AA} + n_{BB} + n_{CC} + n_{DD} + n_{EE}}{N}, \quad (1)$$

где $n_{AA} + n_{BB} + n_{CC} + n_{DD} + n_{EE}$ — общее количество правильно классифицированных признаков, N — общее количество пикселей в матрице.

Таблица 5 — Результаты классификации фрагмента снимка для индексов NDVI, SAVI, EVI, RVI, IPVI

Индекс	Общая точность
NDVI	91%
SAVI	80%
EVI	89%
RVI	92%
IPVI	91%

15

Рисунок А.15 — Плакат презентации №15

Заключение

1. Определены критерии выбора спутниковых программ дистанционного зондирования Земли, релевантных решению задачи определения участков лесозарастания.
2. Разработана методика обнаружения участков лесозарастания объектов электросетевого комплекса по данным ДЗЗ.
3. Результат разработанной методики апробирован на практических примерах.
4. Выполнен сравнительный анализ результатов показателя общей точности выделения участков лесозарастания.

16

Рисунок А.16 — Плакат презентации №16

Публикации

«Анализ возможности использования данных дистанционного зондирования земли для определения участков просеки, подлежащих расчистке в местах прохождения воздушных линий электропередачи» и «Анализ сезонных подтоплений опор ВЛЭП по данным дистанционного зондирования земли» в сборнике: Робототехника и искусственный интеллект Материалы IX Всероссийской научно-технической конференции с международным участием. Сибирский федеральный университет; межинститутская базовая кафедра «Прикладная физика и базовые космические технологии».



17

Рисунок А.17 — Плакат презентации №17