

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Институт космических и информационных технологий  
Базовая кафедра геоинформационных систем

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_ В.И. Харук  
подпись

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2016 г.

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

09.03.02 - Информационные системы и технологии

Анализ алгоритмов сегментации изображений для определения границ с/х  
полей

Руководитель \_\_\_\_\_ доцент кафедры Б-ГИС, к.б.н. Е.В. Федотова  
подпись, дата

Выпускник \_\_\_\_\_ П.А. Царевский  
подпись, дата

Нормоконтролер \_\_\_\_\_ Е.В. Федотова  
подпись, дата

Красноярск 2016

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
1 Описание предметной области, используемых приборов и программного обеспечения.....	6
1.1 Обзор литературных источников .....	6
1.2 Используемое программное обеспечение.....	6
1.2.1 Программное обеспечение ArcGIS .....	7
1.2.2 Программное обеспечение ERDAS Imagine .....	7
1.2.3 Программное обеспечение eCognition Developer .....	8
1.2.4 Программное обеспечение ENVI 4.7 .....	10
1.3 Спутник Landsat 8 .....	11
1.4 Спутниковый снимок Landsat 8 OLI .....	13
2 Методы сегментации и классификации .....	13
2.1 Сегментация изображений .....	13
2.2 Классификация изображений .....	14
2.3 Сегментация методом наращивания областей.....	15
2.4 Классификация методом построения дерева решений .....	16
2.5 Классификация без обучения (алгоритм ISODATA) .....	17
2.6 Объектно-ориентированная классификация (объектно-ориентированный подход) .....	18
2.7 Оценка точности выделения полей .....	19
3 Выделение полей.....	21
3.1 Сегментация методом наращивания областей .....	21
3.2 Метод сегментации с использованием дерева решений .....	22
3.3 Метод классификации без обучения (ISODATA) .....	25
3.4 Реализация алгоритмов объектно-ориентированной классификации в ПО eCognition Developer .....	26
4 Сравнение результатов точности выделения полей методами сегментации и классификации.....	29
Заключение .....	32
Список использованных источников .....	33

## ВВЕДЕНИЕ

Дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ) является важным источником информации для различных прикладных и научных отраслей. Для Российской Федерации, с присущими ей огромными территориальными просторами, такой метод исследований имеет особое значение. Материалы ДЗЗ успешно используются в различных областях деятельности человека: климатологии, геологоразведке, землепользовании, мониторинге чрезвычайных ситуаций, контроле водных ресурсов. Особенно характерными для нашей страны областями применения являются сельское и лесное хозяйство.

Для России, которая на протяжении достаточно долгого времени считалась аграрной страной, сельское хозяйство исторически является одной из важнейших отраслей народного хозяйства, которая производит продукты питания для населения, сырье для перерабатывающей промышленности и обеспечивает другие нужды общества [1].

В условиях, развивающихся топливного, продовольственного и экономического кризисов наиболее актуальными становятся вопросы производства зерновых культур и продукции мясоперерабатывающего производства. В связи со вступлением России во Всемирную торговую организацию отечественным производителям требуются инструменты для обеспечения эффективной конкуренции с западными игроками рынка. Одним из таких инструментов является дистанционное зондирование [1].

Данные ДЗЗ могут использоваться при планировании сельскохозяйственного процесса: инвентаризации земельных угодий, почвоведения, гидрологии, метеорологии. Важной задачей также является экономическая оптимизация: прогнозирование урожаев, объемов закупки сельскохозяйственной продукции, а соответственно и доходов производителей. В глобальном смысле ДЗЗ помогает выполнять анализ сельскохозяйственного потенциала страны в соответствии с ростом населения и экономическими

показателями, что является важным при определении государственной политики в данной отрасли.

Спутниковые средства наблюдения Земли сегодня используются для решения широкого круга научных и прикладных задач. Это стало возможным благодаря наличию спутниковых систем, позволяющих обеспечить высокую частоту наблюдения и снизить стоимость спутниковой информации, появлению новых технологий работы со спутниковой информацией, обеспечивающих оперативный доступ к большим архивам данных. По каждому субъекту Российской Федерации контролировались данные о наличии неиспользуемых и используемых земель. Основными задачами применения технологии спутникового мониторинга являлись:

- получение информации о состоянии сельскохозяйственных земель на основе средств спутникового мониторинга для контроля данных ВСХП (Всероссийской сельскохозяйственной переписи);

- методически обоснованное сравнение данных спутникового мониторинга и ВСХП для выявления районов, по которым полученную в ходе переписи информацию нельзя считать полностью достоверной;

- предоставление инструментов специалистам Федеральной службы государственной статистики РФ для проведения сравнительного анализа данных спутникового мониторинга и ВСХП;

- предоставление переписчикам справочной информации, полученной на основе спутникового мониторинга и инструментов работы с ним для оперативной проверки собираемых данных.

На основе средств спутникового мониторинга осуществлялся контроль данных ВСХП по следующему набору показателей [2]: площадь пашни (в том числе посевная площадь); площадь залежи; площадь, занятая сенокосами и пастбищами; площадь, занятая многолетними насаждениями.

Контролировался этап сбора и обработки данных по выше перечисленным показателям, интегрированным на следующие территориальные уровни:

- крупные сельскохозяйственные организации;

- муниципальные районы;
- субъекты Российской Федерации;
- федеральные округа.

ГИС сельскохозяйственных полей – неотъемлемая часть агромониторинга. Необходимо следить за состоянием и использованием полей, севооборотом, сельскохозяйственными полигонами и контурами, а также за параметрами плодородия почв и развитием процессов их деградации, а также за изменением состояния растительного покрова на пашне, залежах, сенокосных и пастбищных угодьях. И для того чтобы отслеживать все эти факторы, необходимо знать, местонахождение этих полей, их площадь и принадлежность к какому-либо предприятию, так как рациональное использование земель требует их эффективного мониторинга [2].

Различные методы выделения границ полей, определение их вегетационного индекса, определение растительности методами дистанционного зондирования, являются более оперативными и качественными методами анализа сельскохозяйственных полей, в отличие от любых других. Использование данных дистанционного зондирования и их обработка, позволяют охватывать значительную территорию и определять различные растущие сельскохозяйственные культуры, границы полей, леса на территориях площадью в несколько сотен, а то и тысяч километров.

Цель работы: анализ алгоритмов сегментации изображений для определения границ с/х полей.

Задачи:

- провести анализ эффективности различных методов сегментации изображений;
- создать векторные карты полей, выделенных различными методами сегментации изображений.

# **1 Описание предметной области, используемых приборов и программного обеспечения**

## **1.1 Обзор литературных источников**

Перед началом выполнения работы были рассмотрены источники, в которых решалась подобная этой задача. Метод проведения объектно-ориентированной классификации по данным среднего пространственного разрешения спутника Landsat рассматривался в [1, 3] для выделения сельскохозяйственных полей. Алгоритм выделения сельскохозяйственных полей по вегетационному индексу нормированной разности NDVI по данным низкого пространственного разрешения прибора Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) рассматривался в [4]. Метод классификации с использованием дерева решений для классификации природно-территориальных комплексов использовался в [5].

## **1.2 Используемое программное обеспечение**

Для выполнения работы использовалось следующее программное обеспечение:

- ArcGIS 10.4;
- eCognition Developer 9;
- ERDAS Imagine;
- ENVI 4.7.

Исходными данными, для выполнения работы стал многоспектральный спутниковый снимок, полученный со спутника Landsat 8.

### **1.2.1 Программное обеспечение ArcGIS**

ArcGIS — семейство программных продуктов американской компании ESRI, одного из лидеров мирового рынка геоинформационных систем. ArcGIS построена на основе технологий COM, .NET, Java, XML, SOAP. Новейшая версия — ArcGIS 10.4 (2015 год) [7].

ArcGIS — это система для построения ГИС любого уровня. ArcGIS дает возможность легко создавать данные, карты, глобусы и модели в настольных программных продуктах, затем публиковать их и использовать в настольных приложениях, веб-браузерах и мобильных устройствах. Разработчикам ArcGIS дает все необходимые инструменты для создания собственных приложений для различных платформ [7].

ArcGIS позволяет визуализировать (представить в виде цифровой карты) большие объёмы статистической информации, имеющей географическую привязку. В среде создаются и редактируются карты всех масштабов: от планов земельных участков до карты мира, также в ArcGIS встроен широкий инструментарий анализа пространственной информации [7].

ArcGIS – это система для людей, принимающих решения и имеющих дело с точной географической информацией. В ArcGIS удобно работать над совместными проектами. ArcGIS дает возможность быстро создавать данные, карты, глобусы и модели в настольных программных продуктах, затем публиковать их и использовать в настольных приложениях, в веб-браузерах и в поле, через мобильные устройства [7].

### **1.2.2 Программное обеспечение ERDAS Imagine**

ERDAS Imagine – растровый графический редактор и программный продукт, первоначально разработанный компанией ERDAS Inc., и предназначенный для обработки данных дистанционного зондирования. В настоящее время продукт выпускает корпорация Intergraph. Продукт

предназначен для работы с растровыми данными. Он позволяет обрабатывать, выводить на экран монитора и подготавливать для дальнейшей обработки в программных приложениях ГИС и САПР различные картографические изображения. ERDAS Imagine может также работать в режиме инструментального средства (Toolbox), позволяющего производить многочисленные преобразования растровых картографических изображений и одновременно способного снабжать их географической информацией [8].

Манипулируя значениями растровых данных и их географической позицией, можно обнаружить особенности местности, которые в нормальных условиях никогда не просматриваются, определять географические координаты этих объектов, которые при других условиях представляли ли бы из себя исключительно объекты графики. Уровень яркости или уровень отраженного света от поверхности Земли на конкретном изображении является ценной информацией при анализе состава минералов или растительности этой поверхности. Другим примером анализа изображений является извлечение линейных объектов, разработка пространственной модели обработки данных (spatial modeler), перевод данных из одного формата в другой (import/export), ортотрансформирование, составление мозаики из изображений, получение стереоизображений и автоматическое извлечение географических данных [8].

### **1.2.3 Программное обеспечение eCognition Developer**

eCognition Developer – среда для разработки и применения правил объектно-ориентированного анализа изображений. В качестве инструментов анализа используются различные виды сегментации, классификация на основе нечеткой логики (fuzzy logic), классификация с помощью обучающих выборок. В качестве дешифровочных признаков могут выступать различные свойства сегментов: яркость, стандартное отклонение яркостей пикселей внутри сегмента, контраст с соседними сегментами, форма, соотношения яркостей в различных каналах, ориентация в пространстве, текстура и т.д. Также при классификации



могут использоваться несколько уровней сегментации. Все выполненные операции сохраняются в виде наборов правил. Наборы правил, созданные с помощью Developer, в дальнейшем могут использоваться в приложениях Architect и eCognition Server [9].

Для проведения объектно-ориентированной классификации в программном обеспечении eCognition Developer 9 используется ряд инструментов. Сегментация осуществляется в два этапа, вначале проводится многоуровневая сегментация, затем по ее результатам осуществляется сегментация по спектральному различию [9].

Многоуровневая сегментация – способ, последовательно объединяющий пиксели или объекты изображения. Этот способ минимизирует количество гетерогенных (различных) и увеличивает количество схожих пикселей. Осуществляется инструментом Multiresolution Segmentation, выбираемым в Process Tree\Attend New.

Сегментация по спектральному различию – способ, при котором объекты, значения которых меньше заданного порога, будут объединены для получения конечных объектов. Этот тип сегментации проводится с использованием инструмента Spectral Difference Segmentation, выбираемым в Process Tree\Attend New.

Далее, в объектно-ориентированной классификации проводится классификация объектов – метод объединения объектов в классы по какому-либо значению или диапазону значений. Осуществляется функцией Classification\Assign Classes, в Process Tree\Attend New.

- process tree – дерево процессов, в eCognition используется для создания и упорядочения действий, необходимых для выполнения задания;
- attend new – функция, позволяющая создать новый процесс в дереве процессов;
- multiresolution segmentation – инструмент для проведения многоуровневой сегментации;

- spectral difference segmentation – инструмент для проведения сегментации по спектральному различию;
- classification – инструмент для проведения классификации;
- assign classes – функция создания классов.

#### **1.2.4 Программное обеспечение ENVI 4.7**

ENVI (Environment for Visualizing Images - среда для отображения снимков) — программный продукт для визуализации и обработки данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), который включает в себя набор инструментов для проведения полного цикла обработки данных от ортотрансформирования и пространственной привязки изображения до получения необходимой информации и её интеграции с данными ГИС [10].

Продукт обладает огромным количеством различных функций, таких как сегментация, классификация, наложение различных фильтров, масок; позволяет работать как с растровыми, так и с векторными форматами. Аналогом ПО ENVI, является ПО ERDAS Imagine – растровый графический редактор и программный продукт, первоначально разработанный компанией ERDAS Inc., и предназначенный для обработки данных дистанционного зондирования. В настоящее время продукт выпускает корпорация Intergraph. Он позволяет обрабатывать, выводить на экран монитора и подготавливать для дальнейшей обработки в программных приложениях ГИС и САПР (Система автоматизированного проектирования) различные картографические изображения. Картографическое изображение строится на математической основе, элементами которой на карте являются координатные сетки, масштаб и геодезическая основа [10]. ERDAS Imagine может также работать в режиме инструментального средства (Toolbox), позволяющего производить многочисленные преобразования растровых картографических изображений и одновременно способного снабжать их географической информацией, которая

включает в себя любую информацию, относящуюся к объектам, явлениям и процессам, локализованным в географическом пространстве [10].

ENVI является наиболее совершенным и в то же время очень простым в управлении программным обеспечением для работы с данными дистанционного зондирования. Программа ENVI настолько проста в использовании, что она полностью меняет подход к работе с цифровыми изображениями.

Разработанная ведущими исследователями в этой области, ENVI от компании ITT Visual Information Solutions содержит наиболее полный пакет необходимых инструментов и функций для визуализации, анализа и презентации цифровых изображений.

ENVI включает в себя функции:

- по обработке и глубокому анализу гиперспектральных снимков;
- по исправлению геометрических и радиометрических искажений;
- поддержки объемных растровых и векторных форматов;
- по интерактивному улучшению изображений;
- по интерактивному дешифрированию и классификации;
- по анализу снимков в радиодиапазоне;
- построения запросов;
- оцифровки.

В отличие от других пакетов по обработке снимков, в ENVI встроен удобный язык программирования IDL (Interactive Data Language), так что возможно расширить функциональные возможности ENVI или создать собственные подпрограммы [10].

### **1.3 Спутник Landsat 8**

Приборы на спутнике Landsat 8 производят измерения в видимом, ближнем, среднем и в дальнем ИК диапазонах электромагнитного спектра в 11 спектральных каналах, с пространственным разрешением снимков от 15 до 100 метров. Оснащен двумя наборами инструментов, Operational Land Imager (OLI)

и Thermal InfraRed Sensor (TIRS), которые имеют более высокое отношение сигнал-шум, чем у предыдущих приборов. Первый набор инструментов (OLI) получает изображения в 9 диапазонах видимого ближнего и среднего ИК диапазонов, второй набор инструментов (TIRS) — в 2 диапазонах дальнего (теплового) ИК. В OLI используется схема, в которой используются длинные линейные массивы фотодатчиков, снимающие сразу всю ширину поля зрения спутника — 185 километров. Инструмент TIRS использует тот же принцип получения изображений, что и OLI, и также имеет полосу обзора в 185 километров. Получение изображений происходит в двух каналах, 10 и 11, которые, совместно, работают в том же диапазоне, что и канал TIR на более ранних спутниках программы Landsat [6].

Приборы спутника Landsat 8 проводят измерения в 11 спектральных диапазонах, указанных ниже в таблице 1.

Таблица 1 – Спектральные диапазоны Landsat 8 [6]

Спектральный канал	Длины волн, мкм	Пространственное разрешение, м
1 – Побережья и аэрозоли	0.433 – 0.453	30
2 – Синий	0.450 – 0.515	30
3 – Зеленый	0.525 – 0.600	30
4 – Красный	0.630 – 0.680	30
5 – Ближний ИК	0.845 – 0.885	30
6 – Средний ИК	1.560 – 1.660	30
7 – Средний ИК	2.100 – 2.300	30
8 – Панхроматический	0.500 – 0.680	15
9 – Перистые облака	1.360 – 1.390	30
10 – Дальний ИК (TIR 1)	10.30 – 11.30	100
11 – Дальний ИК (TIR 2)	11.50 – 12.50	100

## **1.4 Спутниковый снимок Landsat 8 OLI**

Для выполнения работы использовались спутниковые снимки Landsat 8, полученные с сайта Геологической службы США [11]. Дата съемки Landsat 8 - 23 апреля 2016 г.

На первом этапе из исходного набора данных в формате GeoTIFF с помощью функции `layers stacking` было собрано многоспектральное изображение с 4 слоями, каждый из которых включал в себя следующие спектральные диапазоны: синий, зеленый, красный и ближний ИК.

Следующим шагом была выполнена функция `Subset Image` для получения пространственного фрагмента снимка, который включал в себя только часть Емельяновского района, на территории которого находятся необходимые для выделения сельскохозяйственные поля. Для этого необходимо выделить границы снимка с помощью функции `Inquire Box`.

## **2 Методы сегментации и классификации**

Для выполнения задания были рассмотрены некоторые основные методы сегментации и классификации изображений и, в дальнейшем, для сравнения различных методов, был выбрана процедура оценки точности выделения полей.

### **2.1 Сегментация изображений**

Сегментацией изображения называют разбиение изображения на области или сектора, отличающиеся друг от друга по каким-либо признакам. При решении задач обработки изображений и компьютерного зрения сегментация играет важную роль. Область – это множество четырех или восьмисвязных пикселей при определении «соседства» в соответствии с выбранным признаковым пространством. Обычно пиксели, которые соответствуют одной и той же области, имеют какие-либо схожие параметры (цвет, яркость и т.п.) [12].

Выделение границ различными алгоритмами должны были бы приводить к одинаковому результату, но поскольку на сегментацию влияет большое количество различных факторов, ни один из алгоритмов не дает достаточно точной информации о границах и областях. Сегментация обычно используется не самостоятельно, а как часть некоторой системы (например, системы машинного зрения), поэтому качество работы алгоритма оценивается исходя из работы системы в целом, один и тот же алгоритм сегментации может оказаться хорошим для одной задачи и плохим для другой [12].

## **2.2 Классификация изображений**

Классификация изображений – это процесс извлечения классов информации из многоканального растрового изображения. Растр, полученный в результате классификации изображения, можно использовать для создания тематических карт. В зависимости от характера взаимодействия аналитика с компьютером в процессе классификации, различают два типа классификации изображений: классификацию с обучением и классификацию без обучения.

Метод классификации с обучением учитывает информацию о типах объектов и вероятности их представления данными снимка, эталонных значениях спектральных характеристик этих объектов. В процессе проведения такой классификации значение яркости текущего пикселя сравнивается с эталонным, и на основании этого сравнения пиксель относится к наиболее подходящему классу объектов. После проведения классификации по имеющимся наземным данным оценивается качество проведённой классификации. Обычно классификация с обучением применяется, когда классы хорошо различаются на снимке и их число варьируется от 25 и выше [13].

Алгоритмы неконтролируемой классификации (алгоритмы кластеризации) целесообразнее применять при отсутствии априорной информации об объекте съёмки. Поскольку кластерный анализ относится к цифровым автоматизированным методам обработки космических изображений, то он

позволяет выделять контура с неконтрастной по спектральной яркости структурой. С использованием алгоритмов кластеризации удалось выполнить автоматическое разделение пикселей изображения на группы сходных по спектральным характеристикам пикселей – кластеры. При использовании алгоритмов неконтролируемой классификации необходимо иметь минимум исходной информации, например, число классов, длительность классификации и т. д. После проведения неконтролируемой классификации полученная карта классификации более объективно отражает близкие по значениям дешифровочных признаков группы объектов, чем при классификации с обучением, так как кластеры определяются автоматически. Однако полученная карта классификации требует дальнейшего объединения или разбиения классов, поскольку одни и те же объекты могут попасть в разные кластеры, например, из-за условий освещения, а разные объекты – оказаться в одном кластере из-за одинаковой яркости [13].

### **2.3 Сегментация методом наращивания областей**

При такой сегментации выделяются однородные области. Вначале рассмотрим этот способ, используя критерий однородности по значению яркости (вектора яркости). Алгоритм предусматривает выбор стартового пикселя и проверки близости значений смежных с ним пикселей, например, по евклидову расстоянию. Если значения яркости текущего и смежного с ним пикселей оказываются близкими, то их зачисляют в одну область. Таким образом, область формируется в результате сращивания отдельных пикселей. На определенном этапе (зависящем от модификации алгоритма) область проверяется на однородность. Если результат проверки оказывается отрицательным, то область разбивается на более мелкие участки. Процесс продолжается до тех пор, пока все выделенные области не выдержат проверки на однородность. Возможны реализации алгоритма, предусматривающие формирование областей сращиванием как отдельных пикселей, так и небольших областей [14].

Таким образом, при сегментации путем наращивания областей учитывается структура области, ее связность, что бывает важно при обработке данных дистанционного зондирования. Нередко этот метод дает лучшие результаты, чем другие, не учитывающие связность и рассчитанные на индивидуальное отнесение каждого пиксела к тому или иному классу [14].

## **2.4 Классификация методом построения дерева решений**

Дерево принятия решений (также может называться деревом классификации или регрессионным деревом) — средство поддержки принятия решений, используемое в статистике и анализе данных для прогнозных моделей. Структура дерева представляет собой «листья» и «ветки». На ребрах («ветках») дерева решения записаны атрибуты, от которых зависит целевая функция, в «листьях» записаны значения целевой функции, а в остальных узлах — атрибуты, по которым различаются случаи. Чтобы классифицировать новый случай, надо спуститься по дереву до листа и выдать соответствующее значение. Подобные деревья решений широко используются в интеллектуальном анализе данных [15].

В дереве принятия решений классификация выполняется с использованием последовательности бинарных решений для распределения пикселей по классам. Каждое решающее правило дерева решений размещает пиксель изображения в один из двух классов, используя выражение, определяющее этот выбор. Далее каждый из полученных классов снова может быть разделен на два новых, и т.д. Результатом работы дерева решений будут классы. Для выполнения классификации в этом случае может использоваться набор разных данных, из разных источников. Дерево решений можно сохранять и использовать для других наборов данных.

Входные данные могут быть получены из разных источников и иметь разные типы. Например, можно использовать многоспектральные изображения и цифровую модель рельефа, чтобы найти пиксели с редким растительным



покровом на крутых склонах. Можно использовать данные в различных картографических проекциях, с разным размером пикселей. Программное обеспечение ENVI 4.7 может вычислить специальные признаки, например, NDVI, также «на лету» и использовать эти признаки в выражениях в узлах дерева [15].

## **2.5 Классификация без обучения (алгоритм ISODATA)**

Алгоритм ISODATA (Итерационная самоорганизующаяся методика анализа данных - Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique), использующийся для классификации без обучения (безэталонной классификации) - базируется на кластерном анализе. Для формирования кластеров используется формула минимального спектрального расстояния.

Кластеризация начинается с произвольно заданных значений (средних) или средних значений, взятых из существующих сигнатур. После отнесения всех возможных пикселей к одному из классов, центры классов сдвигаются и процесс повторяется полностью сначала (следующая итерация). Процесс продолжается до тех пор, пока не будет достигнуто максимальное количество итераций или достигнут максимальный процент пикселей, не изменивших свой класс (предел сходимости - convergence threshold). Например, если ПС (предел сходимости) = 0,95, это значит, что процесс кластеризации закончится, как только количество пикселей, не поменявших свой класс между итерациями достигнет 95%. Другими словами, если только 5% или меньше пикселей поменяют свой класс процесс классификации закончится (центры классов будут установлены равным тем, которые участвовали в кластеризации на последней итерации) [16].

Иницирующие (начальные) центры классов могут рассчитываться несколькими путями:

- путем вычисления заданного количества средних значений (количества классов) по всему изображению вдоль диагонали (diagonal axis), распределение центров классов равномерное;

- путем вычисления заданного количества средних значений (количества классов) по растру, рассчитанному по методу главных компонент (principal component analysis).

Распределение центров классов по главным осям также может быть рассчитываться по-разному:

- по методу стандартных отклонений (standart deviations), чем большее количество стандартных отклонений задается, тем большее количество классов может попасть в "хвост";

- автоматически, в зависимости от количества классов, на основе предположения, что данные распределены нормально (Гауссово-распределение) [16].

## **2.6 Объектно-ориентированная классификация (объектно-ориентированный подход)**

Объектно-ориентированная классификация не проводится для отдельных пикселей, а проводится для объектов, состоящих из множества пикселей, которые были сгруппированы путем сегментации изображения.

Процедура объектно-ориентированного подхода (ООП) включает в себя два этапа: сегментацию изображения и классификацию сегментов на основе спектральных, пространственных и других характеристик. Процесс объектно-ориентированной классификации начинается с предварительного шага разбиения изображения на гомогенные области. В начале процедуры каждый пиксель представляется отдельным объектом, затем смежные пиксели объединяются для формирования больших по размеру сегментов согласно критерию локальной однородности. В качестве такого критерия могут использоваться спектральные признаки, текстурные характеристики (гладкость, компактность) или их вариации. Процесс останавливается, когда изменение структуры сегментов не превышает заданного пользователем порогового значения. Затем происходит классификация объектов, в качестве алгоритма

распознавания часто используется метод ближайших соседних (nearest neighbor) и нечеткая логика. ООП является наиболее подходящей техникой для анализа изображений любого пространственного разрешения [17].

Объектно-ориентированный подход к анализу изображений активно используется для различных областей применения данных дистанционного зондирования Земли. Традиционные способы тематической обработки изображений основаны на спектральных характеристиках отдельных пикселей, в то время как объектно-ориентированный подход объединяет анализ как спектральных, так и пространственных, а также других характеристик явлений, рассматриваемых в качестве объектов или сегментов. Это является основным отличием объектно-ориентированного классификатора от таких стандартных алгоритмов, как, например, метод максимального правдоподобия. Статистические способы классификации рассматривают пиксели как независимые сущности, а ООП оперирует ими как составными частями объектов, что точнее отражает природный характер распространения явлений. Большие спектральные колебания существенно снижают точность стандартных классификационных алгоритмов пиксельного анализа.

Важным недостатком ООП является значительное влияние результатов сегментации, выполняемой на первой стадии выполнения алгоритма, на конечный результат распознавания. Выбор наиболее подходящих параметров сегментации изображения является узким местом объектно-ориентированного классификатора [17].

## **2.7 Оценка точности выделения полей**

Для проведения анализа и сравнения различных способов сегментации изображений с целью выделения с/х полей, можно использовать следующую процедуру.

Первым этапом, слои полей, полученные различными методами сегментации и классификации, преобразуются в векторные объекты – полигоны.

Для оценки точности выделения полей будет использована функция наложения объектов (Overlay) в программном обеспечении ArcGIS 10.4, при котором из всех полей будут выделены только нужные для оценки, а сравнение будет проходить исходя из площади базовых полей и площади полей, совпавших с базовым слоем полей. Слой базовых полей был создан вручную с помощью функции создания полигонов (Create Polygons) в программном обеспечении ArcGIS 10.4 на основе данных дистанционного зондирования Земли и бумажных карт полей ООО “Емельяновское” (рисунок 1).

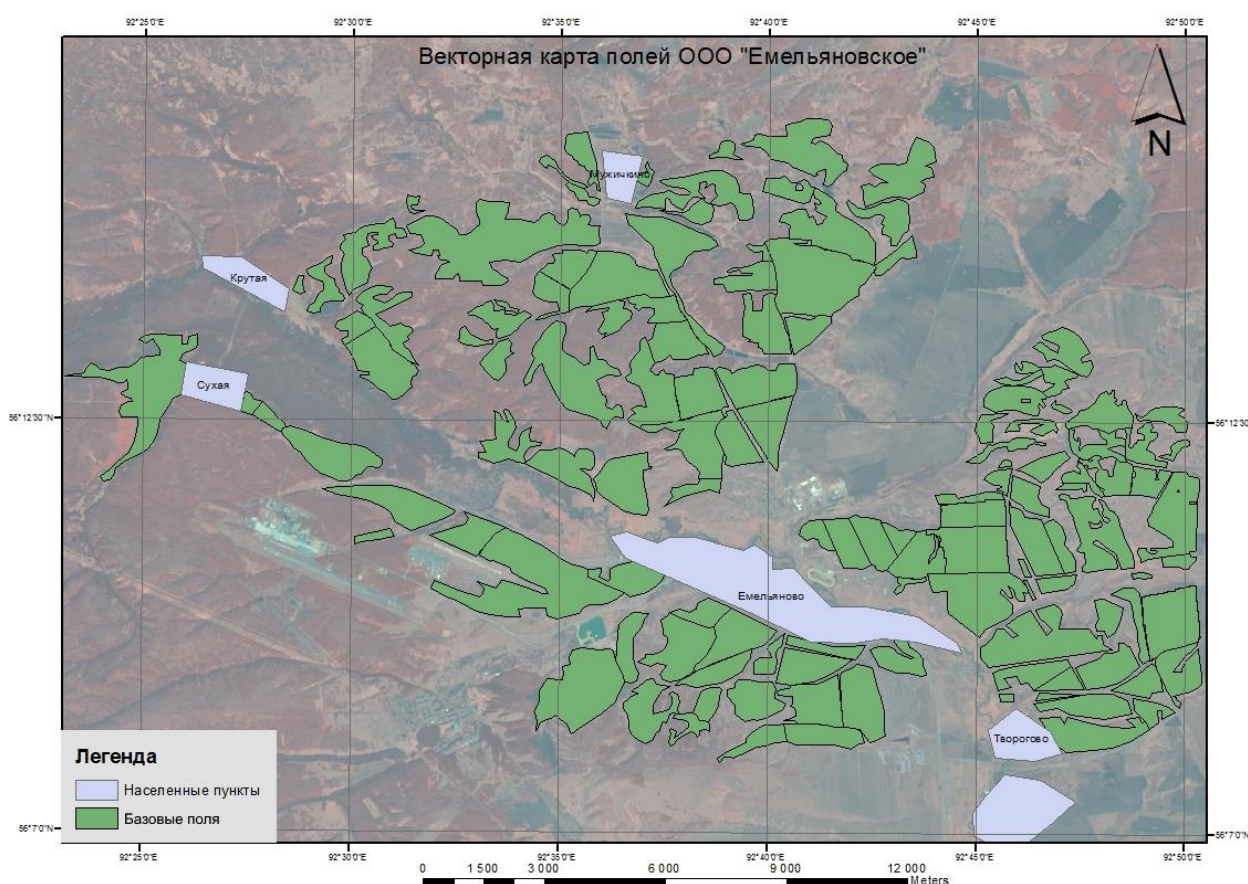


Рисунок 1 – Векторная карта полей ООО “Емельяновское”

Общая площадь полей равна 11433 гектарам, что в дальнейшем при сравнении объектов будет принято за 100%.

### **3 Выделение полей**

#### **3.1 Сегментация методом наращивания областей**

В программном обеспечении ENVI 4.7 данный вид сегментации реализуется функцией Basic Tools\Segmentation Image. Для выполнения сегментации необходимо ввести минимальные и максимальные значения диапазона пикселей, которые будут соответствовать областям, которые нужно выделить, минимальное количество пикселей в выделяемых сегментах и число соседних пикселей. Был взят снимок ближнего инфракрасного диапазона спутника Landsat 8, в качестве минимального и максимального порогового значения были взяты значения 8000 и 11000, так как именно в этом диапазоне находится большинство необходимых для отображения объектов. Значение минимального количества пикселей в сегменте было выбрано 1000, для того, чтобы избежать создания слишком маленьких сегментов.

Следующим шагом результат выполнения сегментации методом наращивания областей был преобразован в векторный формат, и была создана векторная карта, включающая в себя базовый слой полей и слой полей, выделенных этим методом сегментации (рисунок 2).

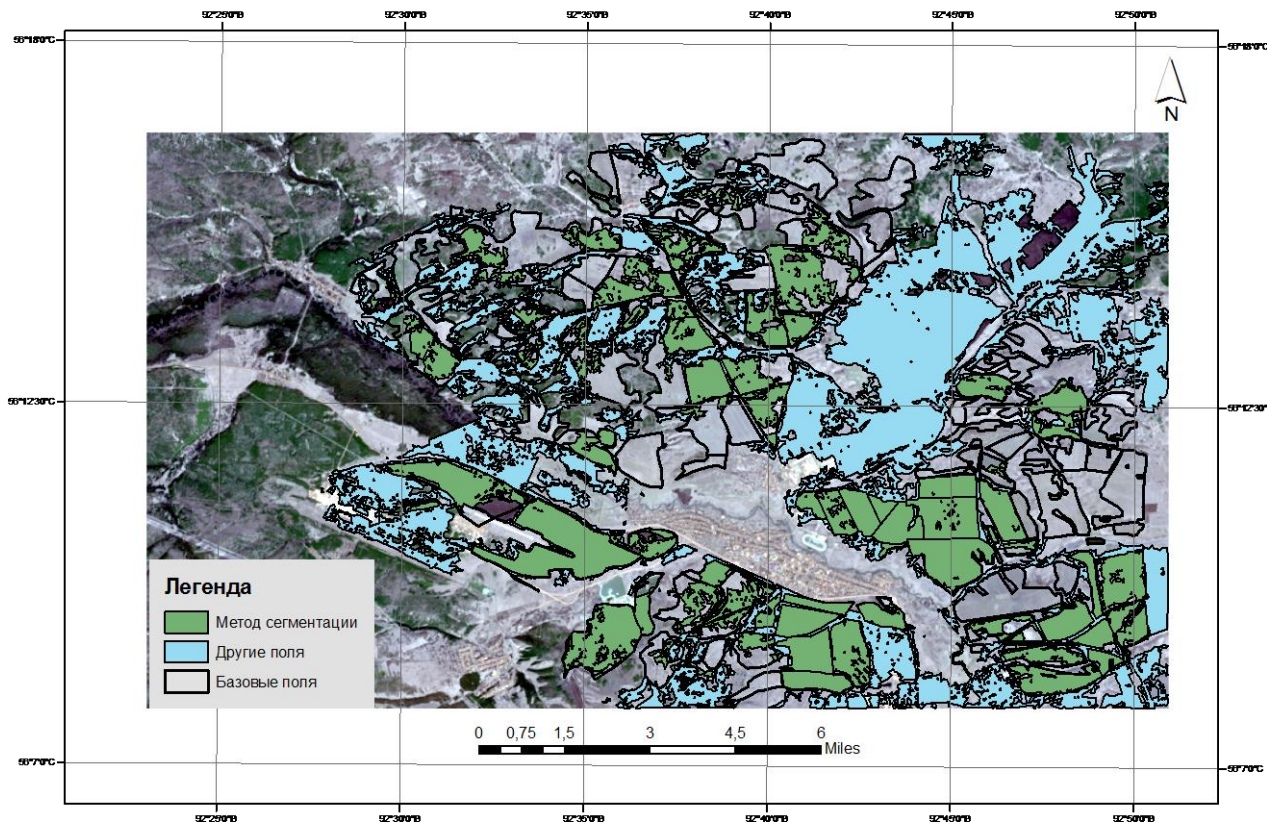


Рисунок 2 – Векторная карта полей, выделенных сегментацией методом наращивания областей

Для сравнения точности выделения полей методом сегментации был произведен расчет площади полей в гектарах. За 100% результат был взят слой базовых полей. Площадь, рассчитанная для полей, выделенных сегментацией методом наращивания областей составила 5866 гектаров. Исходя из этих данных, точность выделения полей этим методом составила – 51%.

### 3.2 Метод сегментации с использованием дерева решений

В программном обеспечении ENVI 4.7 построение дерева решений выполняется функцией Classification/Decision Tree/Build Decision Tree. Далее, с использованием различных переменных и выражений составляем дерево решений (рисунок 3), основным признаком классификации которого будет

индекс NDVI – вегетационного индекса нормированной разности, количественного показателя фотосинтетически активной биомассы [7].

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

где *NIR* - отражение в ближней инфракрасной области спектра,

*RED* - отражение в красной области спектра.

Этот индекс имеет диапазон значений от -1,0 до 1,0, в основном представляющие зелень, где все отрицательные значения в основном образуются от облаков, воды и снега, а значения, близкие к нулю, образуются в основном от скал и голой почвы. Очень маленькие значения (0,1 и меньше) функции NDVI соответствуют пустым областям скал, песка или снега [18]. На данном снимке, необходимые для выделения поля имеют значение NDVI в промежутке между 0.11 и 0.2.

В первом шаге отбрасываются облака, вода и снег, то есть все значения NDVI, которые меньше нуля. В следующих двух шагах, отбрасывается лес, холмы и скалы. Оставшиеся значения – это искомые поля, которые выделяются последним шагом в отдельный класс.

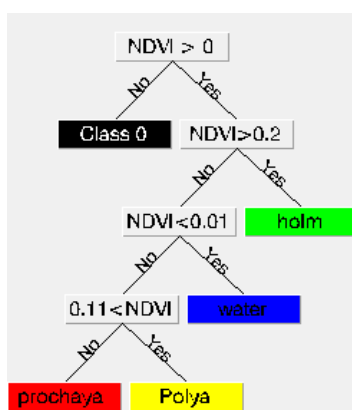


Рисунок 3 – Дерево решений

Далее, результат проведения этого вида классификации был преобразован в векторный формат, посредством создания шейп-файла, затем была создана векторная карта (рисунок 4).

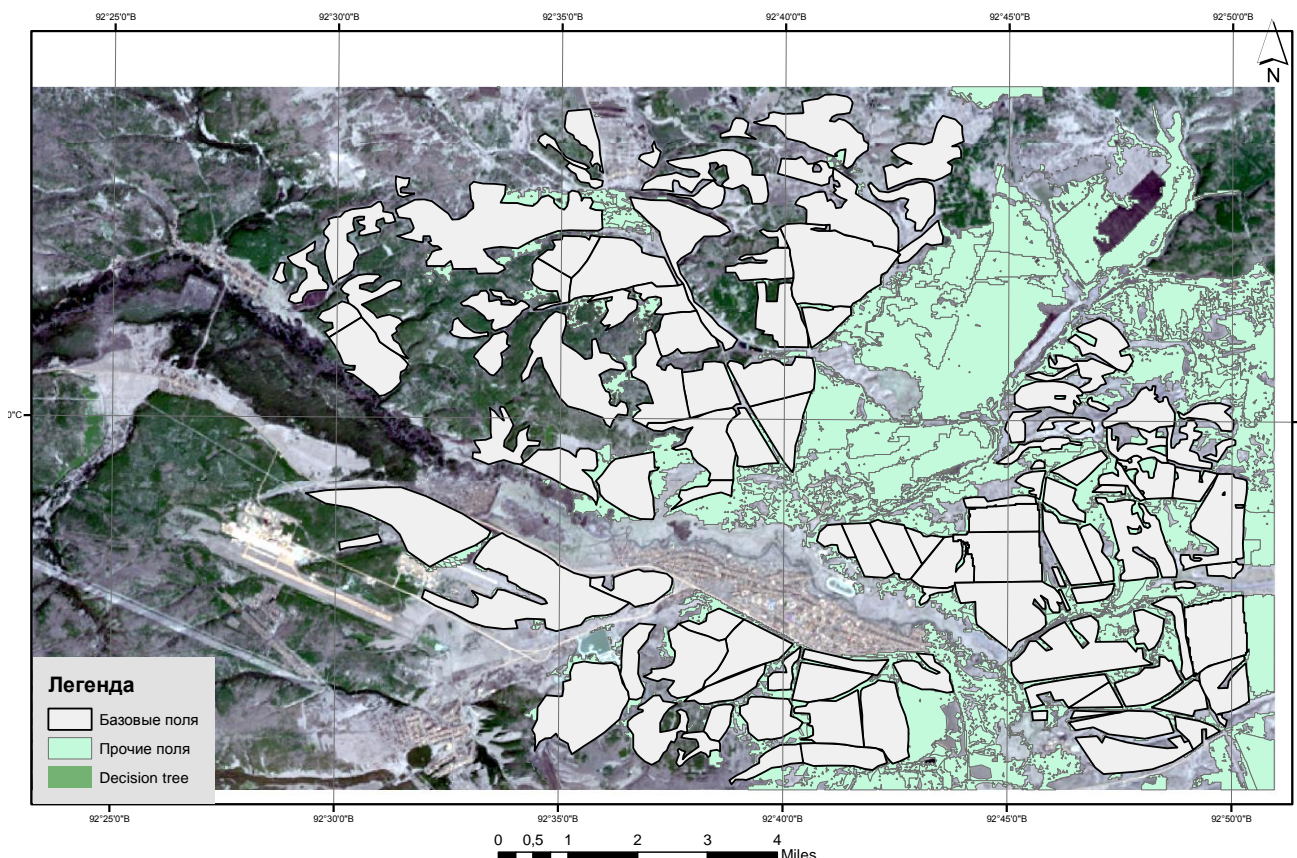


Рисунок 4 – Векторная карта полей, выделенных методом классификации с использованием дерева решений

Для этого вида классификации, также был произведен расчет площади полей в гектарах. Площадь, рассчитанная для полей, выделенных методом классификации с использованием дерева решений составила 8615 гектаров. Исходя из этих данных, точность выделения полей методом классификации с использованием дерева решений составила 75%.



### 3.3 Метод классификации без обучения (ISODATA)

В ERDAS Imagine классификация без обучения на основе алгоритма ISODATA осуществляется функцией Raster/Classification/Unsupervised (ISODATA) по заданным параметрам.

Для выделения полей на изображении достаточно выделить 3 класса. Количества итераций (повторения классификации до тех пор, пока все пиксели не будут принадлежать к классу) в размере шести, вполне достаточно для этого вида классификации. Порог сходимости пикселей (относительное количество пикселей, которые не изменяют своей принадлежности к классу при переходе к следующей итерации) со значением 100% дает возможность более точно провести классификацию.

Затем результат проведения классификации без обучения (ISODATA) был преобразован в векторный формат и создана векторная карта полей, классифицированных этим методом (рисунок 5).

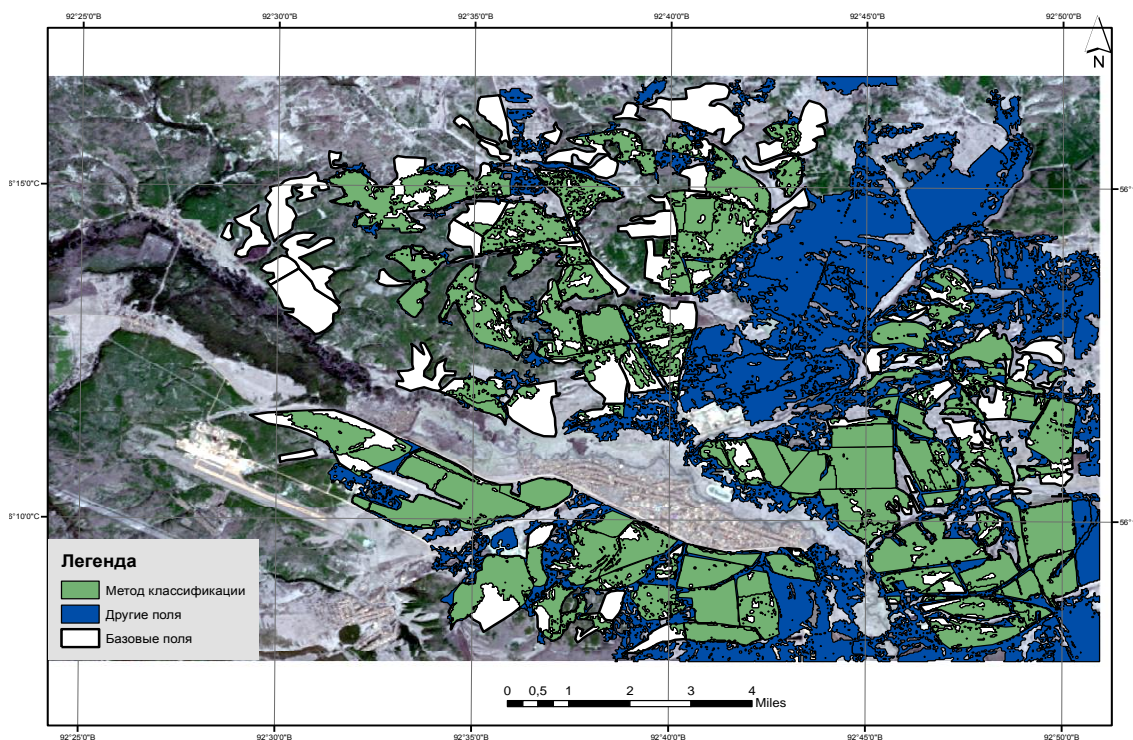


Рисунок 5 – Векторная карта полей, классифицированных методом классификации без обучения алгоритмом ISODATA

Площадь, рассчитанная для полей, выделенных этим методом составила 7467 гектаров. Принимая площадь базовых полей за 100%, точность выделения полей этим методом составила 65%.

### **3.4 Реализация алгоритмов объектно-ориентированной классификации в ПО eCognition Developer**

Перед началом работы для выполнения задачи необходимо загрузить в ПО eCognition многоспектральный снимок, содержащий как минимум четыре спектральных канала – Red, Green, Blue и NIR. Красный, зеленый и синий спектральные каналы использовались для визуализации снимка в окне просмотра программы, а ближний инфракрасный – для лучшего отображения растительности.

Рассмотрим каждый из этапов в отдельности. Для проведения многоуровневой сегментации требуется создать действие в дереве процессов и выбрать алгоритм многоуровневой сегментации (multiresolution segmentation), в котором основным критерием отбора пикселей в сегменты будет значение пикселей (pixel value) на снимке. Далее необходимо выбрать имеющиеся спектральные каналы, минимальный размер сегмента (scale parameter) и задать критерии объединения пикселей в сегменты, такие как весовой коэффициент влияния показателя цвета на проведение сегментации (shape) и характеристику компактности сегмента (compactness) (рисунок 6).

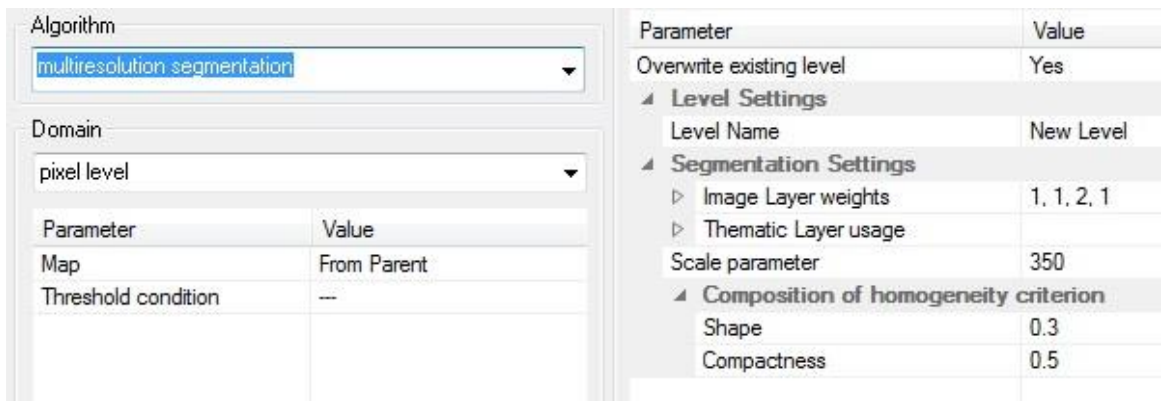


Рисунок 6 – Параметры многоуровневой сегментации в ПО eCognition Developer 9

Сегментация по спектральному различию выполняется путем создания соответствующего действия в дереве процессов. Этот вид сегментации имеет смысл проводить после многоуровневой сегментации. Областью сегментации будет являться результат предыдущей сегментации. В параметрах необходимо указать значение максимального спектрального различия, выбрать снимки (рисунок 7).

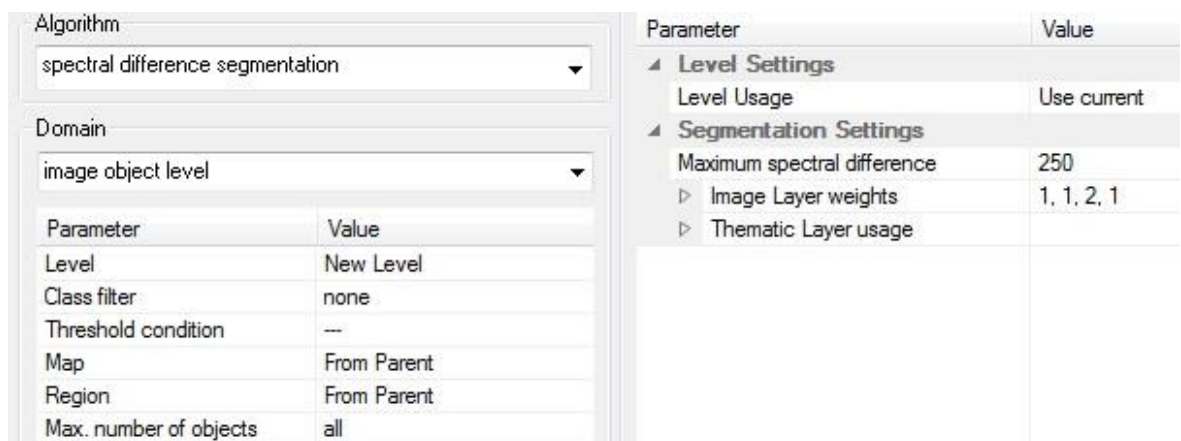


Рисунок 7 – Параметры сегментации по спектральному различию в ПО eCognition Developer 9

Классификация объектов по значению NDVI – вегетационного индекса нормированной разности [7].

Так как значение вегетационного индекса нормированной разности необходимо для отбора полей в классы, далее по снимкам нужно просмотреть значения NDVI, характерные для объектов, затем создать действие в дереве процессов, указать алгоритм определения классов, в качестве порога выбрать введенную ранее формулу NDVI и указать пороговое значение, далее создать класс и определить его цвет, название (рисунок 8).

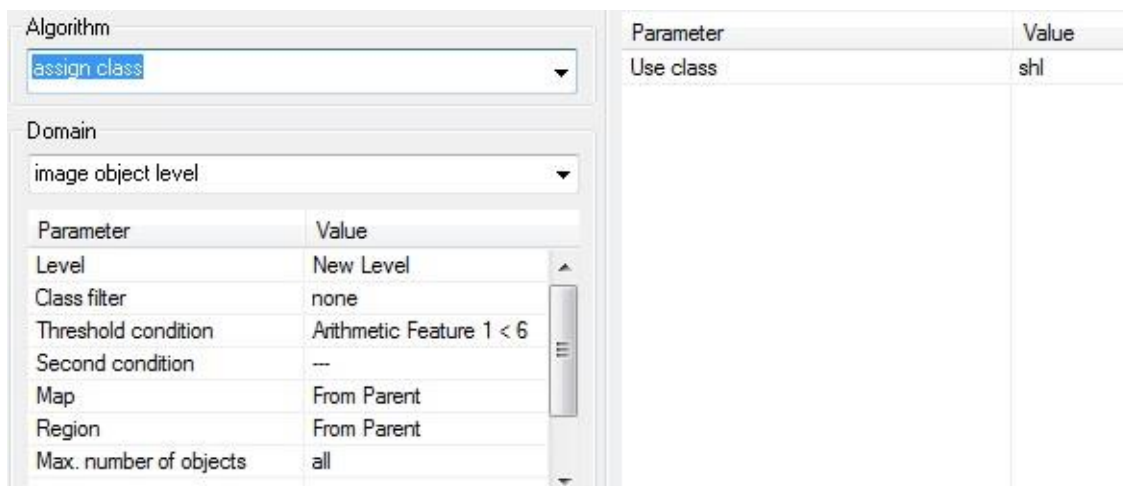


Рисунок 8 – Параметры классификации по индексу NDVI в ПО eCognition Developer 9

Затем результат проведения объектно-ориентированной классификации был преобразован в векторный формат и создана векторная карта полей, классифицированных этим методом, включающая в себя слой базовых полей, слой полей, классифицированных методом объектно-ориентированной классификации и слой других полей (рисунок 9).

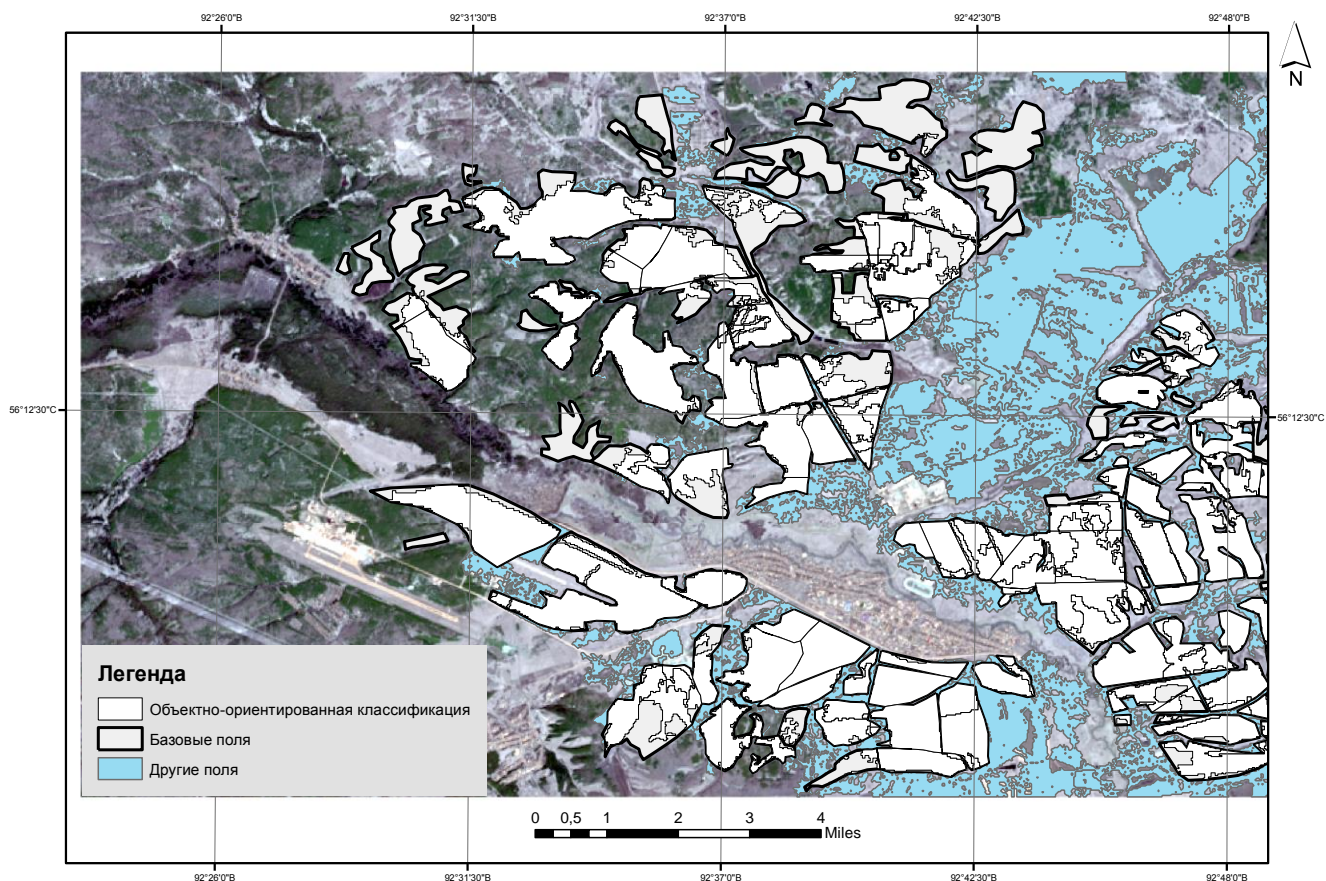


Рисунок 9 – Результат выполнения объектно-ориентированной классификации

Площадь, рассчитанная для полей, выделенных методом объектно-ориентированной классификации составила 8765 гектаров. Исходя из этих данных, точность выделения полей этим методом составила – 76%.

#### **4 Сравнение результатов точности выделения полей методами сегментации и классификации**

В результате проведения различных методов сегментации и классификации на одной территории с целью выделения полей, принадлежащих ООО “Емельяновское” можно сравнить и проанализировать каждый из методов.

Следует рассмотреть точность выделения представленными методами необходимых объектов и факторы, повлиявшие на точность выделения.

Сегментация методом наращивания областей. Точность выделения полей этим методом составила 51%, общая площадь выделенных полей составила 5866 гектаров. Так как суть этого метода заключалась в наращивании областей исходя из заданного диапазона значений, процент точности мог быть больше, если увеличить диапазон значений пикселей, однако, с увеличением диапазона, сегменты включили бы в себя всю прочую растительность, такую как леса, холмы, населенные пункты, что, в данном случае, недопустимо. Так же следует учитывать то, что на снимке одна часть полей уже вспахана, а другая часть нет, именно поэтому они имеют разные значения пикселей, что снижает точность выделения этим методом. Метод отлично подходит для выделения объектов, которые хорошо отделяются "на глаз" от других объектов.

Метод сегментации с использованием дерева решений. Точность выделения полей этим методом составила 75%, общая площадь полей, выделенных этим методом составила 8615 гектаров. Дерево решений – универсальный инструмент. В данной работе была проведена сегментация по индексу NDVI, однако, для дерева решений можно использовать любые другие индексы, значения пикселей, или совокупность различных значений. В отличие от других методов, в дереве решений, в соответствии с условиями рассматривается каждый пиксель, которой, в дальнейшем заносится в свой класс. Подобрать нужные значения для этого метода довольно легко, так как можно исключить любой диапазон ненужных значений.

Метод классификации без обучения (алгоритм ISODATA). Точность выделения полей этим методом 65%, а площадь полей, выделенных этим методом – 7467 гектаров. Грамотный подбор значений для этого алгоритма позволил получить шесть классов, в двух из которых находились поля, а в четырех оставшихся – прочая растительность, такая как леса, кустарники и т.п. На точность выделения, безусловно, повлиял фактор того, что некоторая часть полей была наполовину вспахана, а наполовину нет, поэтому, некоторые поля были занесены в класс с другой растительностью.

Метод объектно-ориентированной классификации. Точность выделения полей этим методом классификации составила 86%. Площадь полей, выделенных этим методом составила 8765 гектаров. Особенностью метода объектно-ориентированной сегментации является то, что в нем, в отличие от других, рассматривается не каждый пиксель в отдельности, а совокупность схожих по каким-либо признакам пикселей объединенных в сегменты. Объектно-ориентированный алгоритм проигнорировал часть малоразмерных областей, отметив их, как принадлежащих классу соседних, более крупных зон, это легко объяснить несовершенством сегментации, так как особенно важной частью объектно-ориентированной классификации является подбор значений и качество сегментации, так как неверный подбор значений может ухудшить качество выделения сегментов, и из-за этого итоговая классификация будет включать в себя различные дефекты и неточности. Вместе с тем, для выделения различных территорий, таких как поля, лесные массивы, болота и т.п. метод объектно-ориентированной классификации подходит идеально, потому что проще и, в целом, намного удобнее и точнее работать с целыми сегментами, чем с отдельными пикселями.

Так же, следует отметить то, что некоторые поля не выделились совсем. Это объясняется тем, что вегетационный индекс нормированной разности, для методов классификации и сегментации, которые включали значения NDVI был одинаков как для сегмента поля, так и для сегмента находящейся рядом растительности. Отсюда следует, что эти поля не обрабатываются и/или заброшены, но они входят в слой базовых полей, это так же следует учитывать при оценке точности выделения полей.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате работы, используя данные спутника Landsat 8 и бумажные карты полей Емельяновского района, был проведен анализ некоторых методов сегментации и классификации изображений для определения сельскохозяйственных полей. Были рассмотрены следующие методы:

- сегментация методом наращивания областей;
- метод сегментации с использованием дерева решений;
- метод классификации без обучения алгоритмом ISODATA;
- метод объектно-ориентированной классификации.

Для каждого из методов были созданы и представлены векторные карты результатов выделения полей, которые использовались для сравнения точности выделения полей и анализа каждого метода в отдельности.

В итоге, наиболее точными методами на практике оказались метод сегментации с использованием дерева решений (точность 75%) и метод объектно-ориентированной классификации (точность 76%). Эти два метода довольно по своим алгоритмам проведения классификации, однако, более точным и удобным для выделения различных территорий, таких как поля, леса является метод объектно-ориентированной классификации, именно потому, что в нем рассматривается не каждый пиксель по отдельности, а цельные сегменты. Однако, наряду с полезными достоинствами, объектно-ориентированная классификация имеет один серьезный недостаток – точность классификации зависит от качества сегментации, если объекты выделены неаккуратно, это может привести к очень низкому качеству итоговой классификации.

Метод сегментации с использованием дерева решений является более универсальным, так как в нем рассматривается значение каждого пикселя в отдельности, этим методом гораздо проще выделять объекты, которые в методе объектно-ориентированной классификации были бы одним сегментом, например, различные типы лесов или различную растительность.



## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Рубанов К.А. Перспективные методы тематической обработки материалов дистанционного зондирования Земли // 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/section12.html>

2 Лупян Е.А. Технологии построения систем дистанционного мониторинга // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. — 2012. — Т. 8, №3. — С. 44-56.

3 Yan L., Roy D.P. Automated crop field extraction from multi-temporal Web Enabled Landsat Data // Remote Sensing of Environment. — 2014. — №3. — P. 42-64.

4 Нейштадт И.А., Бартаев С.А. Алгоритмы анализа данных спутниковых наблюдений TERRA-MODIS для мониторинга сельскохозяйственных земель // Геоматика. Международная научно-техническая конференция, посвященная 225-летию МИИГАиК, — Москва : МИИГАиК, 2013. - С. 205-209.

5 Алтынцев М.А. Разработка методик автоматизированного дешифрирования многозональных космических снимков высокого разрешения для мониторинга природно-территориальных комплексов: дис. на соискание ученой степени кандидата технических наук: 25.00.34 / Алтынцев Максим Александрович. — Новосибирск, 2011. — 172 с.

6 Сайт Геологической службы США [Электронный ресурс]: USGS. Landsat Missions. Landsat8. - Режим доступа: <http://landsat.usgs.gov/landsat8.php>

7 Про-ГИС [Электронный ресурс]: ПО ArcGIS. - Режим доступа: <http://progis.ru/program>

8 Руководство ERDAS Imagine: учебник / ERDAS Imagine Inc. - Atlanta, Georgia, 1997. — 655 с.

9 ESRI CIS [Электронный ресурс]: eCognition Developer 9. — Режим доступа: <http://esri-cis.ru/products/definiens/detail/ecognition-developer-9/>

10 ESTI MAP [Электронный ресурс]: ENVI + IDL. – Режим доступа: <http://esti-map.ru/product/envi-idl3>

11 USGS science for a changing world [Электронный ресурс]: EarthExplorer. - Режим доступа: <http://earthexplorer.usgs.gov/>

12 Нейштадт И.А. Методы обработки данных спутниковых наблюдений для мониторинга пахотных земель: дис. на соискание ученой степени д-ра технических наук: 25.00.34 / Нейштадт Игорь Анатольевич. – Москва, 2007. – 162 с.

13 Чандра А.М. Дистанционное зондирование и географические информационные системы: учебное пособие. – Москва : Техносфера, 2008. – 312 с.

14 Кашкин В.Б. Цифровая обработка аэрокосмических изображений: учебное пособие. – Красноярск : ИПК СФУ, 2008. – 278 с.

15 Лабораторная работа №7 [Электронный ресурс]: Мониторинг биосферы и дистанционное зондирование Земли. – Режим доступа: <https://e.sfu-kras.ru/mod/lesson/view.php?id=107480>

16 GIS-LAB [Электронный ресурс]: Методологический аппарат ERDAS Imagine для классификации изображений (выдержки). – Режим доступа: <http://gis-lab.info/qa/genclass-erdas.html>

17 Романов А.А. Сравнение методов объектно-ориентированной классификации данных дистанционного зондирования Земли на основе материалов систем Landsat-5 и Orbview-3 // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2012. – Т. 9, №4. – С. 29-36.

18 ESRI ArcGIS for Desktop [Электронный ресурс]: Функция NDVI. – Режим доступа: <https://pro.arcgis.com/ru/pro-app/help/data/imagery/ndvi-function.htm>