

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

**«БЕЛГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(НИУ «БелГУ»)**

**ФАКУЛЬТЕТ ГОРНОГО ДЕЛА И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ  
КАФЕДРА ГЕОГРАФИИ, ГЕОЭКОЛОГИИ И БЕЗОПАСНОСТИ  
ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

**ИЗУЧЕНИЕ ДИНАМИКИ ЛЕСОПОКРЫТЫХ ТЕРРИТОРИЙ С  
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ**

Выпускная квалификационная работа  
обучающейся по направлению подготовки  
05.03.03 Картография и геоинформатика  
очной формы обучения, группы 81001407  
Курганской Кристины Александровны

Научный руководитель:  
доцент, к.г.н. Дроздова Е.А.

БЕЛГОРОД 2018

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	3
1. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АЭРО- И КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ В ЛЕСНОМ ХОЗЯЙСТВЕ .....	5
1.1. Зарубежный опыт использования данных дистанционного зондирования в лесном хозяйстве .....	5
1.2. Российский опыт использования ДЗЗ в лесном хозяйстве .....	9
1.3. Программное обеспечение.....	12
2. МЕТОДИКА ИЗУЧЕНИЯ ЛЕСОПОКРЫТЫХ ТЕРРИТОРИЙ НА ОСНОВЕ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ.....	13
2.1. Использование данных дистанционного зондирования в идентификации лесопокрытых территорий.....	17
2.2. Спектральный анализ лесопокрытых территорий.....	24
3. ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЯ ЛЕСОПОКРЫТЫХ ТЕРРИТОРИЙ ЯКОВЛЕВСКОГО РАЙОНА БЕЛГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ.....	36
3.1. История облесения и современное состояние лесов региона .....	36
3.2. Разработка карт и анализ изменения лесопокрытых территорий Яковлевского района.....	38
3.3. Оценка лесопокрытых территорий на основе индекса NDVI.....	44
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	48
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	50

## ВВЕДЕНИЕ

Лесные ландшафты всегда играли важную роль и выполняли разнообразные функции в жизни как отдельного человека, так и общества в целом. Традиционно это экономическая или ресурсная роль лесопользования – источник различной лесопродукции: древесины, лекарственного сырья, грибов, ягод, дичи, база пчеловодства и в конечном итоге, рекреационный ресурс. Лесные ресурсы являются возобновляемыми, хотя этот процесс весьма долговременный и трудоемкий.

В настоящее время в условиях интенсивной антропогенной трансформации Европейской территории России в целом, и Центрально-Черноземного региона в частности, значение лесных экосистем, как буфера от антропогенного прессинга и резервата диких видов растений и животных возрастает, они способствуют самоочищению атмосферы, регулируют сток и в конечном итоге определяют районы комфортного проживания и отдыха населения, выполняя санитарно-гигиенические и оздоровительные функции, способствуют сохранению биологического разнообразия геосистем, выполняя, таким образом, и важнейшие средообразующие и средостабилизирующие экологические функции.

Поскольку лесные геосистемы зависят от ландшафтно-экологических условий и характера антропогенного воздействия, изучение динамики и направлений их развития имеет важное практическое значение. Природные факторы, и особенно разнообразная хозяйственная деятельность (лесные пожары, разного вида рубки, выпас скота и т. п.) приводят к экологическим сукцессиям или необходимости искусственного лесовозобновления.

Актуальными проблемами, имеющими важное теоретическое значение для решения фундаментальных и прикладных проблем взаимоотношений степных и лесных ландшафтов в условиях лесостепной зоны, являются изучение динамических проблем лесных геосистем и рациональное

использование их компонентов в условиях интенсивного антропогенного воздействия.

В настоящее время, при инвентаризации лесов все больше отходят от традиционных методов наземной съемки. Широкое использование получили ГИС-технологии, цветные спектрзональные средне- и крупномасштабные аэрофотоснимки, многозональные и синтезированные космические снимки. Разработаны методы фотостатистический и рационального сочетания наземной съемки с камеральным дешифрированием космоснимков.

*Цель работы* – изучить изменение лесопокрытых территорий на основе создания картографической базы данных ГИС с использованием ретроспективных картографических материалов и актуальных данных дистанционного зондирования.

*Задачи:*

1. На основе литературных данных изучить возможности использования аэро- и космических снимков в лесном хозяйстве.
2. Рассмотреть методику оценки состояния лесных массивов на основе ГИС-технологий.
3. Провести оценку изменения лесопокрытых территорий на примере Яковлевского района Белгородской области за последние 60 лет.

*Объект изучения* – лесопокрытые территории Яковлевского района Белгородской области.

*Предмет* – ГИС-анализ данных космической съемки.

В качестве исходного материала использовались материалы теоретического и картографического изучения лесопокрытых территорий региона исследования, фондовые картографические материалы, а также данные космической съемки свободного доступа.

Методическая база исследования включила научно-поисковый, статистический, картографический, сравнительно-географический, геоинформационный и программный методы.

# 1. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АЭРО- И КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ В ЛЕСНОМ ХОЗЯЙСТВЕ

## 1.1. Зарубежный опыт использования данных дистанционного зондирования в лесном хозяйстве

Данные зондирования Земли (ДЗЗ) нашли широкое применение в сфере лесного хозяйства всего мира для составления и актуализации карт леса, мониторинга и инвентаризации лесного покрова. Применение данных ДЗЗ поддерживается на государственном уровне.

Коммерческие данные ДЗЗ с высоким и сверхвысоким пространственным разрешением позволяют повысить эффективность проведения государственной инвентаризации лесов, повысить точность определения типов леса и конкретных пород древостоя, детально идентифицировать площади, подвергшиеся воздействию пожара. Активно внедряются в программы различных уровней: общеевропейские, государственные, региональные. Основными задачами этих программ является предоставление актуальной и достоверной информации для реализации устойчивого лесопользования [13].

FISE (Forest Information System for Europe) – Европейская система лесного хозяйства, находится под руководством Евросоюза (European Union). Определяющим документом является Стратегия лесного хозяйства Евросоюза - European Union Forest Strategy. Система включает в себя различные направления деятельности: оценка лесного биоразнообразия, анализ изменения климата, установление нарушений в лесной экосистеме. Две наиболее крупные задачи данной программы это система контроля лесных пожаров и картографирование лесов. Информация отображается на общеевропейской информационной платформе EFDAC. Данные: LandsatETM+, SPOT, IRS, MODIS, Corine Land Cover, + данные Climate Adapt portal, Open Data Portal.

Для мониторинга лесного хозяйства по программе FISE были разработаны растровые карты с пространственным разрешением 25 м - охватывают 27 стран Евросоюза + 11 соседствующих - созданы на основе данных дистанционного зондирования - геометрическая точность 95% - подгружают подложку CORINE Land Cover 2006 (рис. 1.1). CORINE Land Cover векторный слой, содержащий информацию из различных отраслей, в том числе о почвенно-растительном покрове территории Европы. Разработан под руководством Европейского агентства по окружающей среде European Environment Agency - ЕЕА. В настоящее время входит в программу Copernicus. Для создания векторных данных использовались космические снимки с аппаратов: SPOT 4/5, Landsat, IRS P6, RapidEye. Для уточнения информации были задействованы аэрофотоснимки, топографические карты, карты растительности и ландшафтов, геологические данные, полевые исследования[21].

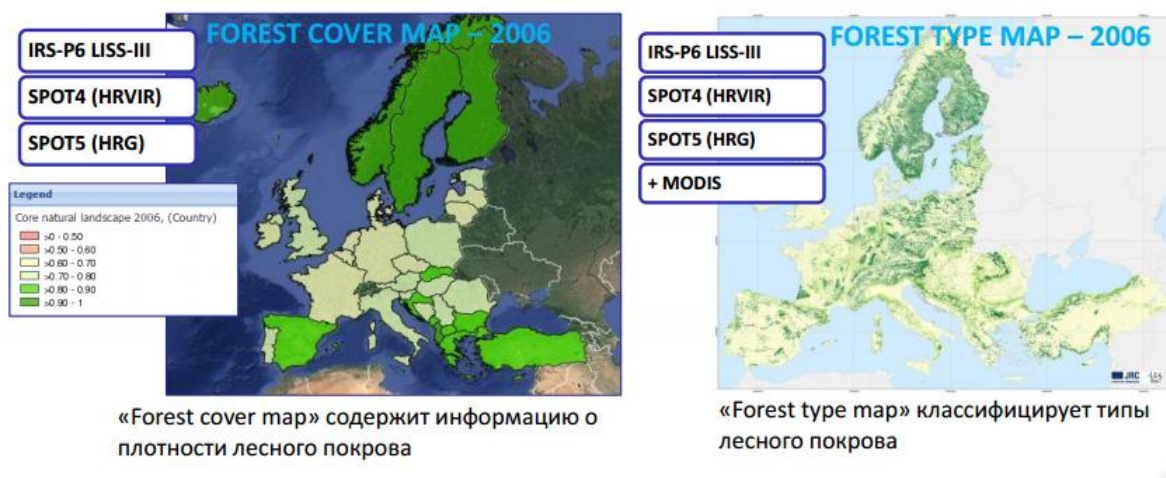


Рис. 1.1. ГИС-мониторинг Европейской системы лесного хозяйства [21]

Национальная инвентаризация лесов в Финляндии. Ежегодно обновляемая информация по данным среднего разрешения с КА Landsat 5 TM, Landsat 7 ETM используется для определения объемов природного запаса и мониторинга лесных ресурсов (рис. 1.2). Для получения более точного результата задействованы данные высокого разрешения с КА IRS P6, ALOS ANVIR-2, SPOT. Министерство сельского и лесного хозяйства

Финляндии выделяет до 70 % своего бюджета на различные программы, в том числе и на Национальную инвентаризацию лесов (НИЛ). За последние годы эта сумма составила 37 млн. евро [21].

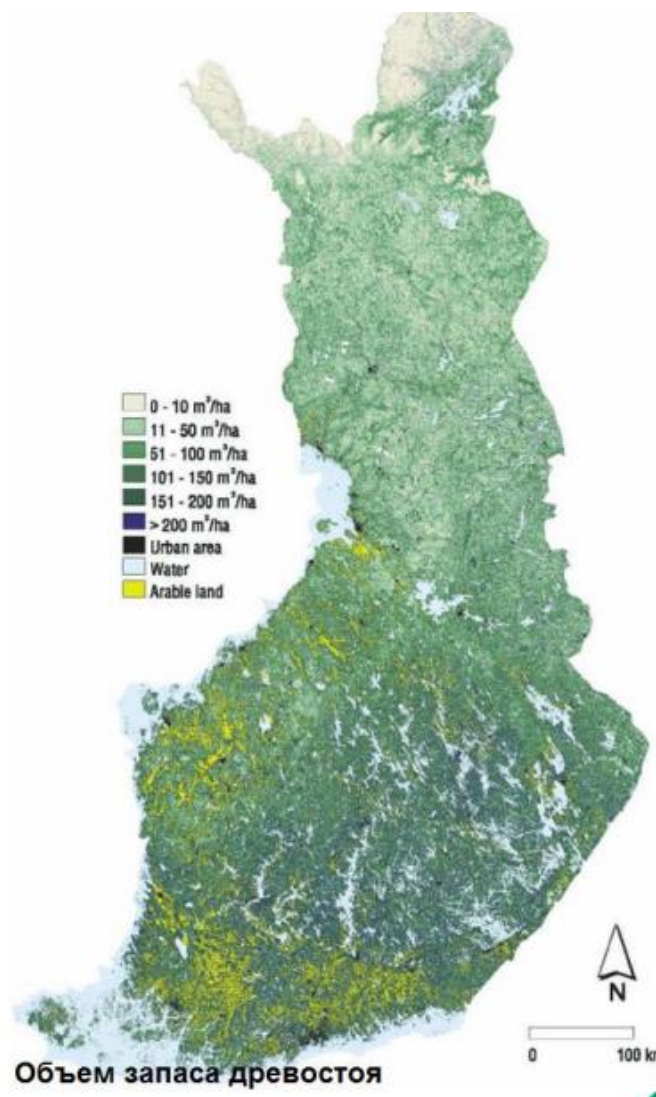


Рис. 1.2. Объем запаса древостоя Финляндии [21]

Национальная инвентаризация лесов Швеции. Национальная инвентаризация лесов (НИЛ) является одной из государственных программ Шведского национального космического совета (SNSB), который входит в состав Европейского космического агентства (ESA). Каждый год происходит обновление данных SPOT 5 и Landsat 8. Данные применяются для: - выявления сплошных рубок, - оценки границ лесных угодий, - определения

общего объема биомассы и возраста деревьев, - на основе полученных данных создаются мозаичные покрытия.

Государствами-членами ЕС выделяются средства для создания и реализации научных проектов в сфере лесного хозяйства и защиты лесов. Для этих целей применяются коммерческие снимки предпочтительно высокого и сверхвысокого разрешения: IKONOS, INVISAT, SPOT4/5, WorldView-2, Formosat-2, RapidEye, Quickbird, Radarsat, TerraSAR-X [3].

Финансирование лесного хозяйства Европейского союза выделяется в рамках развития природных ресурсов, на которое в 2015 году выделено 58,8 миллиардов евро, а по стратегии 2014-2020гг только на лесохозяйственные мероприятия планируется потратить порядка 5,4 миллиардов евро [6]. За рубежом регламентирования применения данных ДЗЗ в области лесного хозяйства разрабатываются стратегические и нормативные документы. В результате применения данных ДЗЗ создаются интерактивные глобальные интернет порталы и платформы, содержащие различные данные о состоянии лесного фонда.

Для применения на практике лесного хозяйства в настоящее время доступны космические фото и сканерные снимки высокого (1-2, 5-10, 15-40м), среднего (150м) и низкого (1км) пространственного разрешения, получаемые в различных спектральных зонах. Для лесотаксационного дешифрирования используют снимки высокого разрешения. Снимки среднего и низкого разрешения применяют в охране лесов от пожаров, а также для обобщенного мелкомасштабного картографирования. По их данным дешифрируют границы ландшафтов и местностей, их основные элементы, выделяют площади с растительностью, не покрытые лесом и нелесные земли.

На космических снимках, как и на аэрофотоснимках, прямыми признаками дешифрирования являются цвет (тон), структура и текстура изображения, а основными косвенными – ландшафтные, основанные на



приуроченности лесов и их отдельных типов к определенным формам рельефа, положенные в основу ландшафтного метода дешифрирования [21].

## 1.2. Российский опыт использования ДЗЗ в лесном хозяйстве

Методы дистанционного зондирования Земли давно и успешно используются для обеспечения лесного хозяйства актуальными и достоверными данными: они незаменимы при выполнении лесоустроительных работ, государственной инвентаризации лесов, осуществлении противопожарного и лесопатологического мониторинга, государственного мониторинга воспроизводства лесов и экологического мониторинга состояния ландшафтов ООПТ в целях сохранения биоразнообразия. Порядок применения материалов спутниковой съемки и требования к их техническим характеристикам определяются нормативами действующей Лесоустроительной инструкцией, утвержденной приказом Рослесхоза № 516 от 12.12.2011.

Документы по проведению лесоустройства в лесном фонде Российской Федерации предусматривают применение космических снимков при решении широкого круга задач, особенно при устройстве малоосвоенных лесов северных и восточных регионов России. За последние годы существенно возросли как технические возможности съемочной аппаратуры, так и возможности дешифрирования в автоматическом или полуавтоматическом режиме. Все это позволяет эффективно использовать данные ДЗЗ при организации лесоустройства.

В лесном хозяйстве данные ДЗЗ активно используются при инвентаризации лесов с целью определения качественных и количественных характеристик лесных массивов, для оценки ущерба, нанесенного лесным массивам пожарами, болезнями леса, загрязнением воздуха, незаконными вырубками.

Современные методы тематической обработки спутниковых данных позволяют проводить не только визуально-экспертную оценку лесных территорий, но также внедрять высокоточные автоматизированные методы анализа, учитывающие спектральные, геометрические и текстурные характеристики наземных объектов. Это делает возможным получение данных о типах лесной растительности, ее видовом составе и возрастной структуре. Также указанные методы существенно повышают скорость обработки данных, что делает возможным создание системы непрерывного мониторинга использования лесов.

Решение задач, направленных на обеспечение информацией предприятий лесного хозяйства базируется на материалах базовой, регулярной и оперативной космической съемки, а также на фактических, статистических, полевых данных, имеющихся в распоряжении заказчика. Все выходные материалы, полученные в результате автоматизированной обработки и анализа, могут быть представлены в сетевом геоинформационном ресурсе (геопортале) [31].

Результаты дешифрирования могут быть использованы для внесения изменений в базы данных таксации непосредственно в специализированных отраслевых геоинформационных системах, например, ГИС TOPOL-L. Важным моментом является также наличие отлаженных веб-ГИС технологий, позволяющих предоставлять конечному пользователю не только сами материалы космической съемки, но и результаты их анализа в виде картографических материалов, аналитических и отчетных документов.

К основным задачам, решаемым методами ДЗЗ в лесном хозяйстве относятся:

- картографирование лесного фонда;
- выявление, контроль и мониторинг незаконных рубок леса;
- определение породного состава лесов;

- ранжирование лесов на категории по возрасту, запасу древесины, высоте древостоя, биологической продуктивности;
- изучение и картографирование негативных процессов, воздействующих на лесные массивы: влияния вредителей и болезней, иссушения или переувлажнения лесов, приводящих к их деградации и гибели;
- изучение природных условий, препятствующих активной лесохозяйственной деятельности (выявление плоских пониженных заболоченных участков, бессточных котловин, резких перегибов рельефа) с применением цифровых моделей рельефа
  - актуализация материалов лесоустройства;
  - проведение комплексной оценки лесосырьевой базы в интересах лесозаготовителей;
  - проведение комплексной оценки лесных ресурсов в интересах органов исполнительной власти;
  - осуществление контроля использования лесных участков, оперативное выявление нарушений лесного законодательства, расчёт ущерба;
  - оперативный пожарный мониторинг лесных территорий, определение площади лесов, пройденных пожарами, и степени их повреждения;
  - государственный лесопатологический мониторинг, оценка эффективности санитарно-оздоровительных мероприятий;
  - государственный мониторинг воспроизводства лесов;
  - комплексный экологический мониторинг состояния и динамики лесных ландшафтов ООПТ.

При решении указанных выше задач могут применяться, в частности, следующие технологические возможности:

- построение высокоточных ортофотопланов с пространственным разрешением от 0,3 метра;

- производство оперативной съемки, в том числе стереосъемки любого района в пределах России;
- использование многолетних архивов данных для анализа изменений основных характеристик лесной растительности и природных ландшафтов в целом.

Российский оператор группировки космических аппаратов ДЗЗ НЦ ОМЗ планирует и производит космическую съемку, обрабатывает и архивирует снимки. В интересах Рослесхоза для контроля около 11 млн. кв. км. земель лесного фонда России используются спутниковые данные с отечественных космических аппаратов «Ресурс-П», «Канопус-В», «Ресурс-ДК», «Метеор-М» №2 низкого, среднего, высокого и высокодетального разрешения [31].

### 1.3. Программное обеспечение

Область дистанционного зондирования Земли динамично развивается, количество искусственных космических спутников увеличивается, улучшается съемочная аппаратура, появляются коммерческие космические снимки высокого разрешения. Компьютерная обработка снимков, представленных в цифровом виде, сейчас является основой применения данных ДЗЗ, открывает новые технические возможности для дешифрирования и тематического анализа.

Данные дистанционного зондирования Земли, особенно высокодетальные, становятся все популярнее, расширяется спектр их пользователей, соответственно растет и востребованность программного обеспечения для работы с ними [15].

Ниже, в таблице 1.1, представлена информация об основных программных продуктах и их особенностях используемых при работе с ДЗЗ.

Таблица 1.1

## Программное обеспечение для обработки данных ДЗЗ [7]

Название продукта	Фирма-производитель (страна)	Операционная система	Поддерживаемые типы изображений	Форматы данных
Z_Space	Лаборатория компьютерного зрения Института информационных технологий	MS Windows 98, NT, XP, 7, 8	Панхроматические, сканированные космические снимки (ТК-350 и др.)	BMP
OrthoMap	Некрасов Виктор Владимирович	MS Windows 95, 98, NT, XP, 7, 8	Панхроматические, мультиспектральные, гиперспектральные (до 20 слоев), сканированные аэрофотоснимки, космические снимки высокого разрешения	TIFF, BMP, JPEG, ERS, ECW, OSD, DTM, ASCII XYZ, IKONOS, QuickBird, SPOT
eCognition Professional 4.0/eCognition Elements 4.0	Definiens Imaging (ФРГ)	MS Windows NT, 2000, XP, 7, 8	Любые	ArcInfo Binary Grid, ESRI ASCII GRID File, GeoTIFF, GIF, BMP, JPEG/JFIF, ERDAS IMAGINE images, ECW, PCI DSK images, ESRI SHP
ER Mapper	Earth Resource Mapping, Ltd. (Австралия)	MS Windows 98, NT, 2000, XP, 7, 8	Любые (если описан тип данных)	Более 100 форматов растровых и векторных данных
GeoMedia Image, GeoMedia Image Light Table, Z/L Imaging Photogrammetry Suite, I/RAS C, Image Analyst	Intergraph Corp. (США)	MS Windows NT, 2000, XP, 7, 8	Любые	Более 30 растровых форматов и методов сжатия, включая JPEG2000, файлы MicroStation и векторные данные, поддерживаемые GeoMedia; форматы поставщиков данных ДЗЗ: SPOT, Landsat, IRS, QuickBird, IKONOS, RADARSAT, ERS и др.

ERDAS IMAGINE 9.0	Leica Geosystems Geospatial Imaging, LLC (США)	MS Windows XP, 2000, 7, 8, SUN Solaris	Любые	Более 100 универсальных и специализированных: ArcInfo Binary Grid, ESRI ASCII GRID File, GeoTIFF, GIF, BMP, JPEG/JFIF, ERDAS IMAGINE images, ER Mapper Compressed Raster, PCI DSK images, ESRI Shapefiles, ArcInfo coverage, Oracle Spatial (raster, vector) и др.
Image Analysis для ArcGIS	Leica Geosystems Geospatial Imaging, LLC (США)	MS Windows XP, 2000, 7, 8	Любые	Все, с которыми работает ArcGIS, а также форматы поставщиков данных ДЗЗ: ADRG, ASCII Raster, ASRP/USRP, AVHRR Dundee, SPOT CCRS и др.
Leica Virtual Explorer 3.0	Leica Geosystems Geospatial Imaging, LLC (США)	MS Windows XP, 2000, 7, 8	Любые	Растровых изображений, с которыми работают ERDAS IMAGINE или ArcGIS; JPEG, TIFF, BMP и др.
Feature Analyst 4.0 для ERDAS IMAGINE и ArcGIS	Visual Learning Systems, Inc. (США)	MS Windows XP, 2000, 7, 8	Любые	Растровых изображений, с которыми работают ERDAS IMAGINE или ArcGIS, векторные форматы ESRI
ENVI	Research Systems, Inc. (США)	MS Windows NT, 2000, XP, 7, 8; Linux; SUN Solaris; Mac OS X (10.3.X), разные версии UNIX	Панхроматичес- кие, мульти- и гиперспектраль- ные, радарные и лидарные, аэрофотоснимки	Растровые форматы и методы сжатия, включая JPEG2000 и MrSID; специализи- рованные форматы векторных данных; форматы поставщи- ков данных ДЗЗ: SPOT, Landsat, IRS, QuickBird, IKONOS, Cartosat, RADARSAT, ERS и др.

Производительность современных компьютеров массового спроса стала настолько высокой, а стоимость хранения данных настолько низкой, что на обычном ноутбуке можно выполнить объемный фотограмметрический проект или сложную обработку гигабайтов данных. Не стоит на месте и наука, постоянно предлагая новые высокоэффективные алгоритмы обработки данных дистанционного зондирования. Все эти факторы оказывают непосредственное влияние на развитие программного обеспечения для обработки данных ДЗЗ.

Так, рост производительности компьютеров позволил реализовать более сложные алгоритмы пересчета (resampling) изображений «на лету» (бикубический сплайн, недавно добавленный в ERDAS IMAGINE Leica Geosystems, Швейцария) и более совершенные алгоритмы сжатия изображений (различные варианты wavelet-сжатия). Если раньше сжатие с потерей качества считалось непригодным для профессиональной обработки данных ДЗЗ вследствие нарушения их радиометрической целостности и появления артефактов, то теперь использование сжатых изображений стало обычной практикой. Большинство приложений высокодетальных снимков не требуют сохранения радиометрической точности, а новые алгоритмы дешифрирования не так чувствительны к «шуму» потерь, как методы классификации, применявшиеся в эпоху Landsat.

Что в работе с данными ДЗЗ осталось неизменным так это пошаговость обработки и ориентированность многих программных продуктов на выполнение конкретных этапов.

Накопление у пользователей архивов ранее привязанных снимков сделало востребованной функцию автоматической привязки снимка к снимку (AutoSync в ERDAS IMAGINE). При монтаже множества снимков в единую мозаику теперь используются математическое моделирование вариаций освещенности (а не просто их статистическое выравнивание) и специальные средства, ранее применявшиеся только военным ведомством (image dodging).

Значительным шагом вперед в деле извлечения полезной информации из данных ДЗЗ стали коммерциализация и распространение алгоритмов дешифрования на основе объектно-ориентированного подхода и специальных фильтров. Feature Analyst (VLS, США) и семейство продуктов компании Definiens (ФРГ) хорошие примеры таких узкоспециализированных, но в своей области очень мощных программных средств.

В ближайшей перспективе тенденции развития ПО для работы с данными ДЗЗ сохранятся. Рост производительности компьютеров позволит и далее повышать автоматизацию рутинных операций обработки данных, а также реализовывать более совершенные алгоритмы, качественно улучшающие получаемые результаты.

Сохранится специализация ПО и разделение работы с данными ДЗЗ на этапы. Уже много лет муссируются слухи о грядущем слиянии средств обработки изображений и ГИС, тем не менее, до сих пор этого не произошло, по-прежнему сохраняется специализация отдельных приложений обработки данных ДЗЗ. Пока существует разделение труда между специалистами как средство повышения общей эффективности производственного процесса, комплексирование разнородных функций в программном обеспечении не имеет смысла [5].



## 2. МЕТОДИКА ИЗУЧЕНИЯ ЛЕСОПОКРЫТЫХ ТЕРРИТОРИЙ НА ОСНОВЕ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ

### 2.1. Использование данных дистанционного зондирования в идентификации лесопокрытых территорий

Современные системы ДЗЗ как мультиспектральные, так и гиперспектральные обладают различным количеством спектральных каналов, что затрудняет проведение визуальной классификации изображений, поэтому алгоритмы классификации реализованы в различном программном обеспечении, предназначенном для работы с данными ДЗЗ. Поскольку классификация является одной из основных задач обработки спутниковых изображений, требующая применения специализированных программных пакетов, то очевидна необходимость рассмотрения ее применения при использовании специализированного программного обеспечения. Под процессом классификации изображения будем понимать процесс количественного отбора данных из изображения и группирования точек или частей изображения в классы, предназначенные для представления различных физических объектов или типов. Результатом выполнения процесса классификации изображения будут являться карты классификации. Основные технологии классификации изображения используют радиометрические данные изображения.

Известны два типа классификации:

- классификация с обучением (контролируемая классификация)
- классификация без обучения (неконтролируемая классификация).

*Неконтролируемая классификация* – один из методов, используемых для трансформации многоспектральных данных изображения в тематические информационные классы. Эта процедура обычно предполагает, что изображения географических областей представляются в нескольких зонах

электромагнитного спектра, т.е. для классификации используются мультиспектральные космические снимки [9].

В способе неконтролируемой классификации вначале проводится автоматическое разделение пикселей на группы. Исходная информация, задаваемая дешифровщиком, количество классов, которые необходимо получить. На первом этапе изображение разделяется на массивы сходных по спектральным характеристикам пикселей – кластеры. Затем дешифровщик анализирует характеристики кластеров, сопоставляет их с характеристиками реальных географических объектов и определяет, к каким объектам относится кластер [19].

Полученная карта классификации более объективно отражает близкие по значениям дешифровочных признаков группы объектов. Однако, одни и те же объекты могут попасть в разные кластеры, например, из-за условий освещения (крыши домов), а разные объекты оказаться в одном кластере из-за близкой спектральной яркости (лесная растительность и гидрография). В таком случае необходимо объединить кластеры в единый класс, а во втором привлечь дополнительные дешифровочные признаки для различения объектов. На рис. 2.1 показан снимок Яковлевского района, полученный с помощью программы SASPlanet, к которому применялся алгоритм неконтролируемой классификации.

На рис. 2.2 показана классифицированная карта кластерной мозаики методом ISODATA. Заданные параметры: Number of Classes – 15, Maximum Iterations – 25, Convergence Threshold – 0.95, Initializing Options – PrincipalAxis (Главные оси), Standard Deviations (Среднеквадратичное отклонение) – 2.00. Самоорганизующийся способ кластеризации ISODATA (от Iterative Self-Organising Data Analysis Technique) – интерактивный самоорганизующийся способ анализа данных) использует для более точной, многошаговой обработки снимков.



Рис. 2.1. Космический снимок Яковлевского района

На классифицированных изображениях хорошо выделились следующие объекты: водные объекты, лесная растительность, дороги, различимы сельскохозяйственные земли. Плохо различима овражно-балочная сеть и населенные пункты. На основании вышеизложенного, можно сделать вывод, что алгоритм классификации ISODATA дает лишь общую картину территории, но для дешифрирования в крупном масштабе данный метод не совсем подходит.

Приведем преимущества и недостатки алгоритмов неконтролируемой классификации в целом по сравнению с алгоритмами контролируемой классификации. Преимуществами алгоритмов неконтролируемой классификации по сравнению с алгоритмами контролируемой являются:

1. Необязательное условие наличия априорной информации о свойствах дешифрируемой местности, в то время как при использовании алгоритмов контролируемой классификации требуется дополнительная информация для создания эталонных выборок.

2. Алгоритмы неконтролируемой классификации менее зависимы от человеческого фактора. Классы, созданные ими по спектральному составу

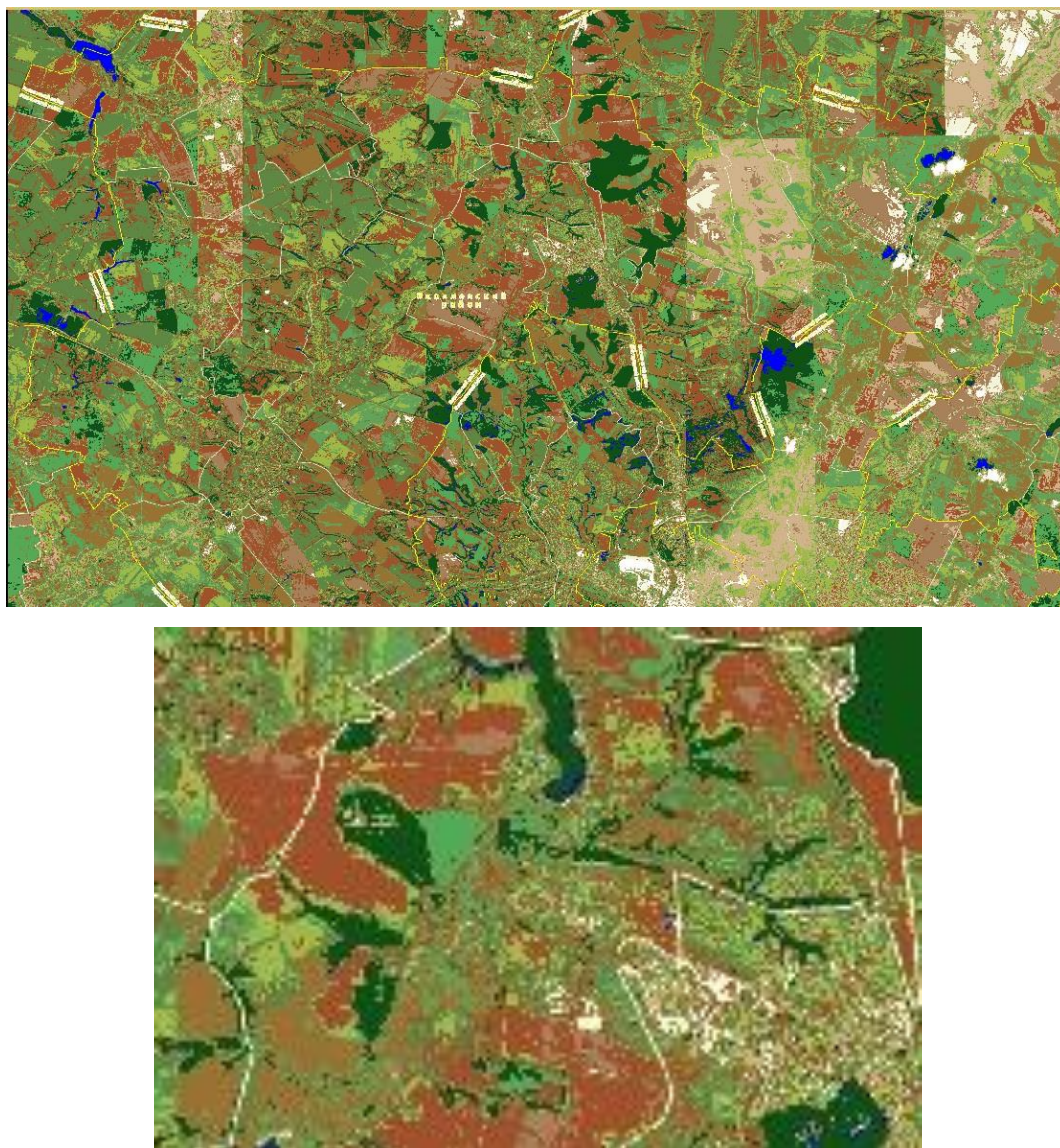


Рис. 2.2. Применение алгоритма ISODATA с количеством классов равным 15 (общий вид и фрагмент при увеличении)

более последовательны, чем созданные алгоритмами контролируемой классификации.

3. Алгоритмы неконтролируемой классификации создают уникальные классы. При проведении контролируемой классификации эти классы могут быть не распознаны как отдельные и могут принадлежать более общему классу, что приведет к ошибке и неверным результатам в процессе выполнения процедуры классификации [19].

Основными недостатками алгоритмов неконтролируемой классификации являются:

1. Выделение классов, с которыми специалист может не согласиться.
2. Специалист ограничен в контроле классов и их свойств.
3. Спектральные свойства полученных классов меняются с течением времени. Поэтому связь между информацией и спектральными классами не постоянна и определяется только снимком, что затрудняет процесс дешифрирования разновременных снимков [19].

Преимущества и недостатки алгоритмов неконтролируемой классификации приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1.

Преимущества и недостатки неконтролируемой классификации [9]

Преимущества	Недостатки
Априорная информация не обязательна	Несоответствие созданных классов представлениям специалиста
Созданные классы более последовательны (по спектральному составу)	Ограничения по контролю созданных классов
Созданные классы уникальны	Трудности при использовании разновременных снимков

Отметим, что алгоритмы неконтролируемой классификации широко используются совместно с алгоритмами контролируемой классификации для повышения качества дешифрирования данных ДЗЗ.

В способе контролируемой классификации используются заранее определенные человеком эталонные значения спектральной яркости объектов. Этот вид обработки осуществляет распознавание на снимке всех участков, являющихся заданными пользователем объектами, через представление “образцов” этих объектов (их спектральных кривых) специальной программе по обработке спутниковых снимков.

Иначе говоря, программа выделяет на снимке все территории, которые являются типами объектов, примеры которых на снимке пользователю известны, и которые он задает программе в качестве “образцов”. Программа определяет аналогичные образцам территории на карте – через сравнение спектральных кривых между пикселями образца и пикселями всего снимка, определяя эти спектральные кривые - через показатели уровня серого (DN) каждого пикселя в каждой из сцен снимка. Если спектральная кривая пикселя похожа на спектральную кривую образца (т.е. отвечает установленным пользователем критериям сравнения), то этому пикселю присваивается тип этого образца.

В ходе работы мы дали несколько эталонов для различных полигонов, главным из которых являлся эталон лесопокрываемых территорий (рис. 2.3). Также были созданы эталоны водных объектов, пашен, и других объектов. Данная операция проводилась для сравнения процентного отношения задаваемой выборке – оценки степени встречаемости на карте тех или иных пиксельных кластеров. Результат приведен на графике.

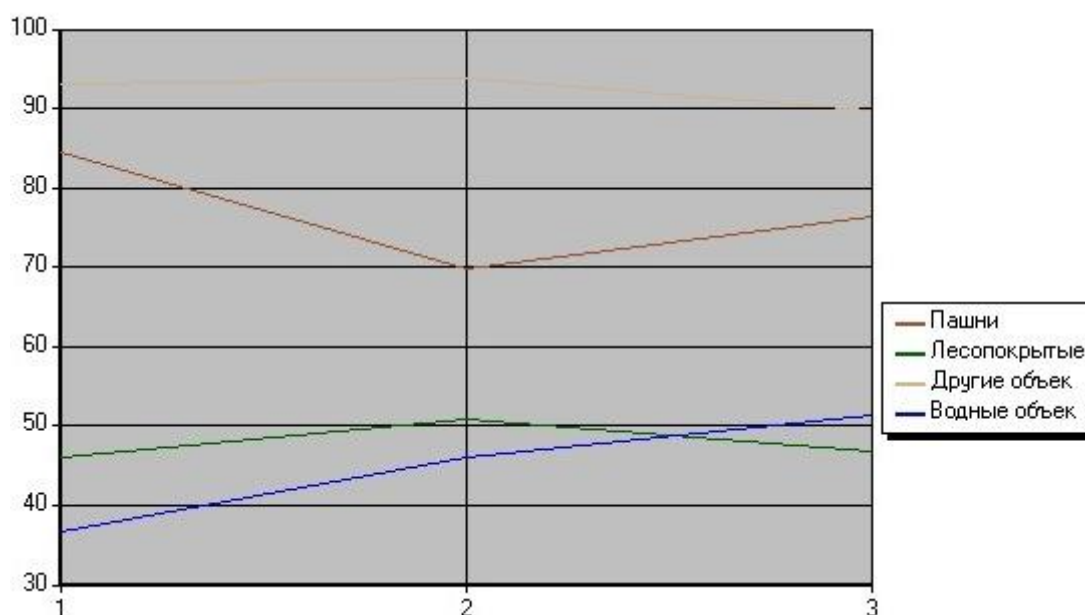


Рис. 2.3. График отношения выделенных кластеров для фрагмента территории Яковлевского района

На следующем этапе снимок был обработан по технологии контролируемой классификации, а в качестве параметрического правила были выбраны методы максимального подобия (Maximum Likelihood).

Результатом работы контролируемой классификации является так называемая карта классификации (рис. 2.4).

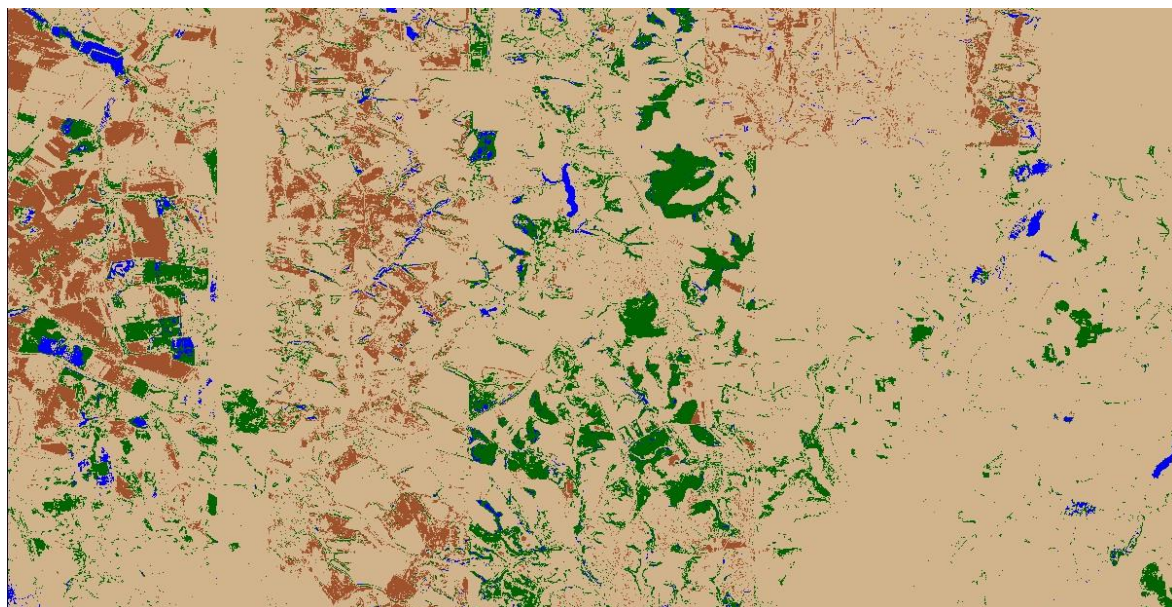


Рис. 2.4. Результаты обработки фрагмента космического снимка Яковлевского района по технологии контролируемой классификации

По построенной карте видно, что даже задание определенных кластеров не дает объективной оценки пространственного расположения тех или иных природных комплексов, мы выделили наиболее хорошо распознаваемые категории – пашни, лесные массивы и водные объекты, отнеся все остальные земли к категории других объектов, даже при таком примитивном подходе автоматическая векторизация прошла не корректно, в связи с тем, что мы задаем лишь один тип территории как эталонный, а на разных частях космоснимка даже водные объекты могут иметь разный тон и разную фактуру, что предопределяет высокую долю ошибок программ для территорий обширного охвата. Четко заметны полосы съемки и склейки фрагментов снимка, что также не допустимо при дешифрировании.

В тоже время, можно рекомендовать использование данного подхода для автоматического дешифрирования небольших локальных территорий с материалами космической съемки высоко разрешения (рис. 2.5).

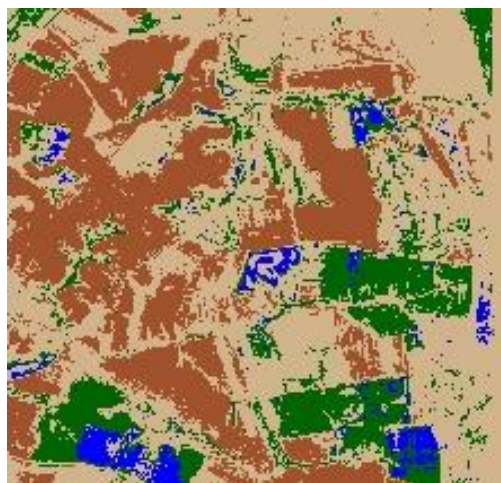


Рис. 2.5 Фрагмент автоматического дешифрирования локального участка Яковлевского района по технологии контролируемой классификации

## 2.2. Спектральный анализ лесопокрытых территорий

Характерным признаком растительности и ее состояния является спектральная отражательная способность, характеризующаяся большими различиями в отражении излучения разных длин волн. Знания о связи структуры и состояния растительности с ее спектрально отражательными способностями позволяют использовать аэрокосмические снимки для картографирования и идентификации типов растительности и их стрессового состояния.

Для работы со спектральной информацией часто прибегают к созданию так называемых «индексных» изображений. На основе комбинации значений яркости в определенных каналах, информативных для выделения исследуемого объекта, и расчета по этим значениям «спектрального индекса» объекта строится изображение, соответствующее значению индекса в каждом пикселе, что и позволяет выделить исследуемый объект или оценить его состояние. Спектральные индексы, используемые для изучения и оценки



состояния растительности, получили общепринятое название вегетационных индексов [3].

Наиболее популярный и часто используемый индекс – *NDVI* (*Normalized Difference Vegetation Index*)- нормализованный разностный индекс растительности, простой количественный показатель количества фотосинтетически активной биомассы (обычно называемый вегетационным индексом). Один из самых распространенных и используемых индексов для решения задач, использующих количественные оценки растительного покрова [4].

Индекс вычисляется по следующей формуле:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED},$$

где NIR – коэффициент отражения в ближней инфракрасной области спектра; RED – коэффициент отражения в красной области спектра.

Расчет NDVI базируется на двух наиболее стабильных (не зависящих от прочих факторов) участках спектральной кривой отражения сосудистых растений. В красной области спектра (0,6-0,7 мкм) лежит максимум поглощения солнечной радиации хлорофиллом высших сосудистых растений, а в инфракрасной области (0,7-1,0 мкм) находится область максимального отражения клеточных структур листа. То есть высокая фотосинтетическая активность (связанная, как правило, с густой растительностью) ведет к меньшему отражению в красной области спектра и большему в инфракрасной (Рис. 2.5).

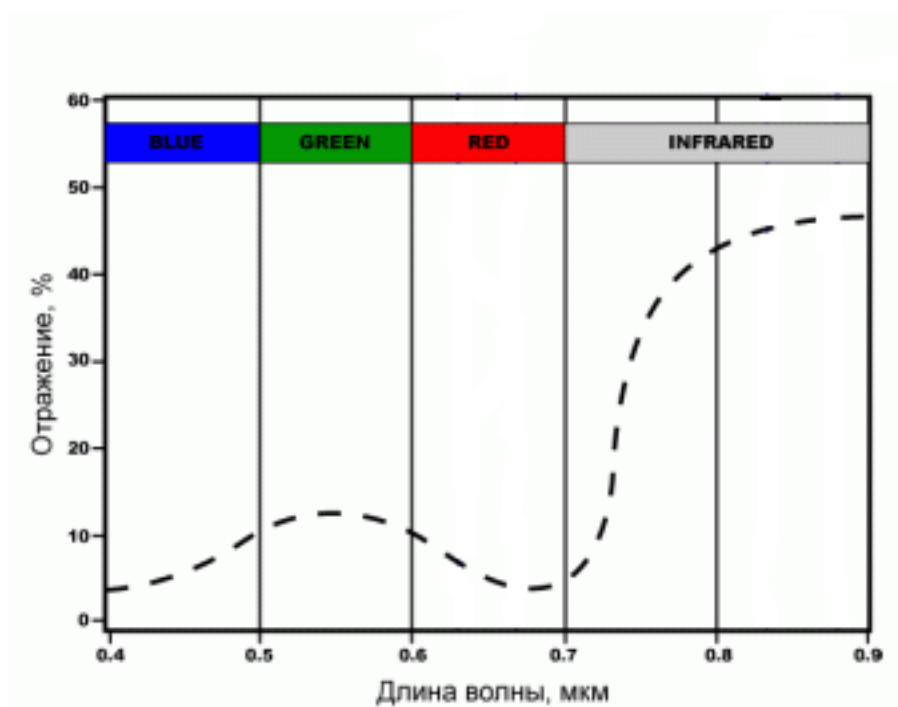


Рис. 2.5. Участки характеристической кривой отражения растительности (усредненной), используемые для расчета NDVI с помощью данных MODIS [14]

Отношение этих показателей друг к другу позволяет четко отделять и анализировать растительные от прочих природных объектов. Использование же не простого отношения, а нормализованной разности между минимумом и максимумом отражений увеличивает точность измерения, позволяет уменьшить влияние таких явлений как различия в освещенности снимка, облачности, дымки, поглощение радиации атмосферой и пр.

Для растительности индекс NDVI принимает положительные значения, и чем больше зеленая фитомасса, тем они выше. На значения индекса влияет также видовой состав растительности, ее сомкнутость, состояние, экспозиция и угол наклона поверхности, цвет почвы под разреженной растительностью. Индекс умеренно чувствителен к изменениям почвенного фона, кроме случаев, когда густота растительного покрова ниже 30%. Индекс может принимать значения от -1 до 1. Для зеленой растительности индекс обычно принимает значения от 0,2 до 0,8.

NDVI может быть рассчитан на основе любых снимков высокого, среднего или низкого разрешения, имеющим спектральные каналы в красном (0,55-0,75 мкм) и инфракрасном диапазоне (0,75-1,0 мкм). Алгоритм расчета NDVI встроен практически во все распространенные пакеты программного обеспечения, связанные с обработкой данных дистанционного зондирования (ArcViewImageAnalysis, ERDAS Imagine, ENVI, Ermapper, Scanex MODIS Processor, ScanView и др.) [18].

Как известно, отражение растительного покрова в красной и ближней инфракрасной областях электромагнитного спектра тесно связано с его зеленой фитомассой. Для того чтобы количественно оценить состояние растительности, широко применяется нормализованный разностный вегетационный индекс NDVI. Он характеризует также плотность растительности, позволяет растениеводам оценить всхожесть и рост растений, продуктивность угодий. Значения NDVI меняются в диапазоне от – 1 до 1 (рис. 2.6).

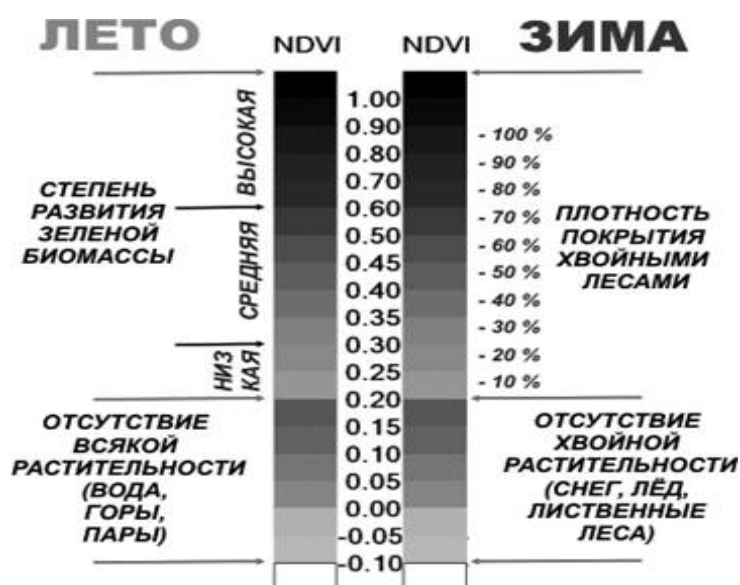


Рис. 2.6. Значения NDVI и соответствующие им типы растительного покрова [14]

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 (табл. 2.2).

Таблица 2.2

Спектральные параметры показателя NDVI для различных типов объектов [18]

Тип объекта	Коэффициент отражения в красной области спектра	Коэффициент отражения в ближней инфракрасной области спектра	Значение NDVI
Густая растительность	0,1	0,5	0,7
Разряженная растительность	0,1	0,3	0,5
Открытая почва	0,25	0,3	0,025
Облака	0,25	0,25	0
Снег и лед	0,375	0,35	-0,05
Вода	0,02	0,01	-0,25
Искусственные материалы (бетон, асфальт)	0,3	0,1	-0,5

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

NDVI позволяет выявить проблемные зоны угнетенной растительности, давая возможность принимать наиболее верные в долгосрочной перспективе решения, направленные на повышение урожайности. Участки с различным состоянием растительности или объемом зеленой фитомассы могут быть изображены различными цветами. При помощи статистической обработки карт NDVI помимо определения количества фитомассы можно также выделить площади посева различных сельскохозяйственных культур [3].

Для тех, кто занимается обработкой и интерпретацией космоснимков для нужд сельского хозяйства, охраны лесов или, скажем, изучает динамику опустынивания земель понятие об индексе вегетации растений NDVI должно быть знакомо.

Для вычисления NDVI были использованы изображения в ближнем инфракрасном канале, и в красном канале. Для снимков Landsat 7 (на примере которых мы будем создавать соответствующий композит) это соответственно каналы 4 и 3. Космические снимки Landsat 7 были выкачаны с сайта Геологической службы США (*USGS – United States Geological Survey*). Для подсчета индекса NDVI воспользуемся геоинформационной системой ArcGIS.

Как показано на рис. 2.7, просто берём и вытягиваем мышкой из панели *Каталог* в окно представления карты снимки с суффиксами B3(красный канал) и B4 (ближний инфракрасный 1 канал).

Далее в наборе инструментов *Алгебра карт* ищем утилиту *Калькулятор растра* (рис. 2.8).

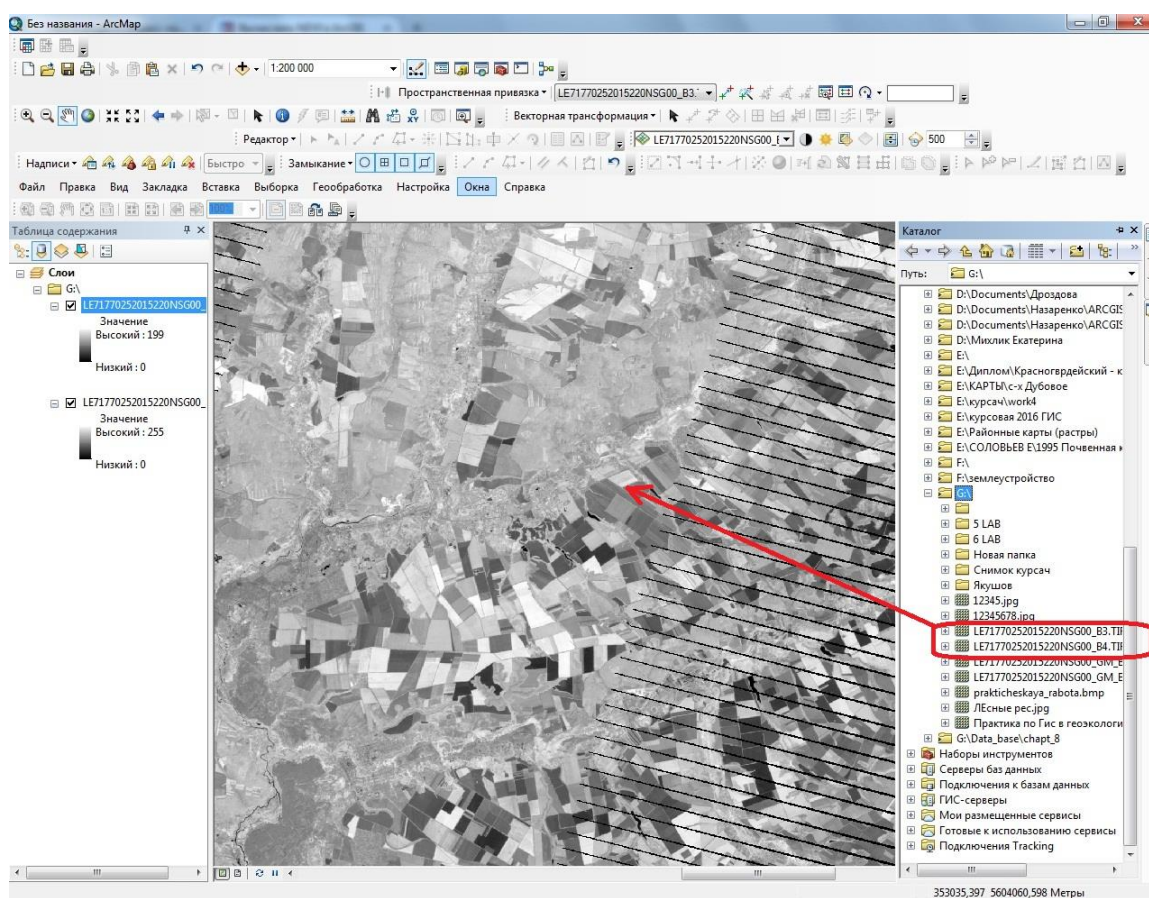


Рис. 2.7. Загрузка космоснимков Landsat в программу ArcGIS

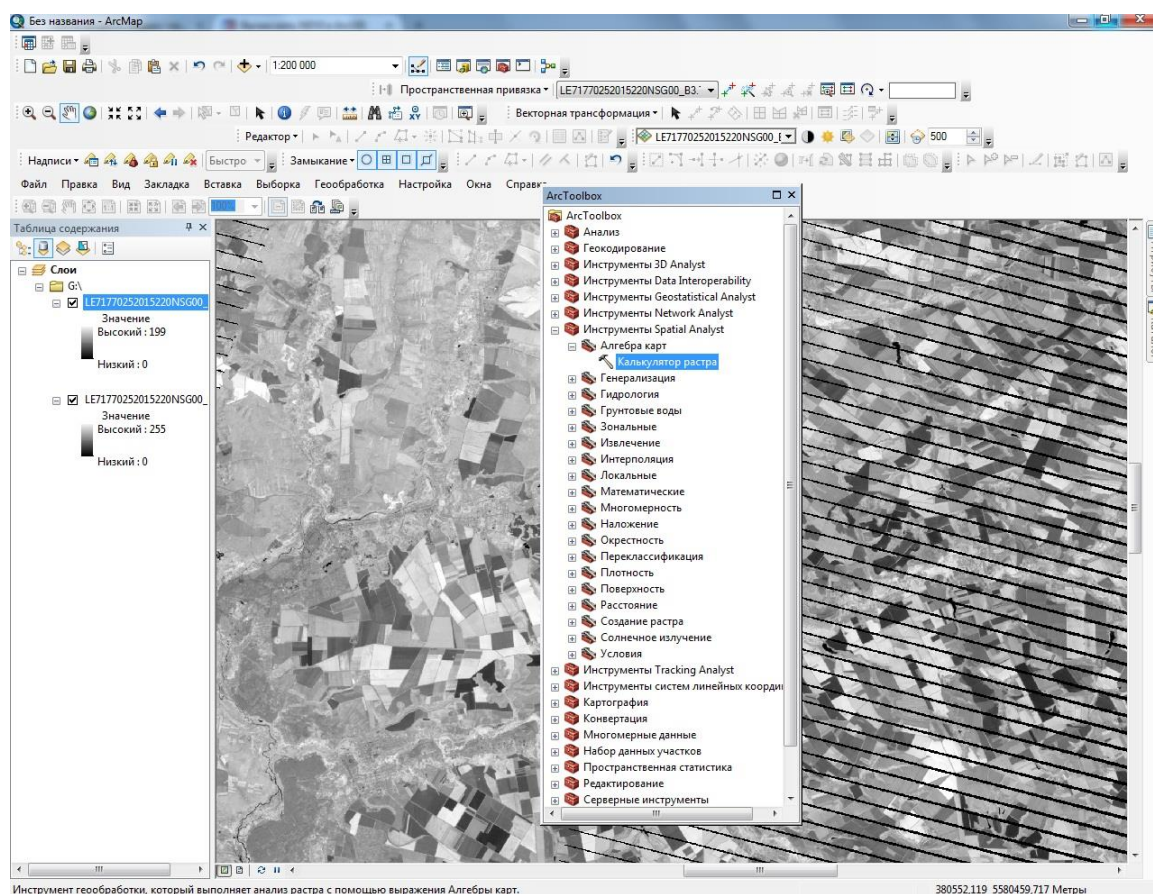


Рис. 2.8. Применение инструмента Калькулятор растра в ArcGIS

В поле для составления формулы вычислений пишем выражение в соответствии с приведенной в начале подглавы формулой для подсчета индекса NDVI (обведено красным на рис. 2.9).

Поначалу синтезированный таким образом растр со значением распределения индекса NDVI может выглядеть не совсем выразительно из-за цветовой палитры (рис. 2.10).

Чтобы сделать картинку более наглядной, имеет смысл заменить черно-белую палитру, например на фиолетово-зеленую. Наша карта стала явно более иллюстративной – зеленый цвет соответствует более высокому значению NDVI (рис. 2.11).

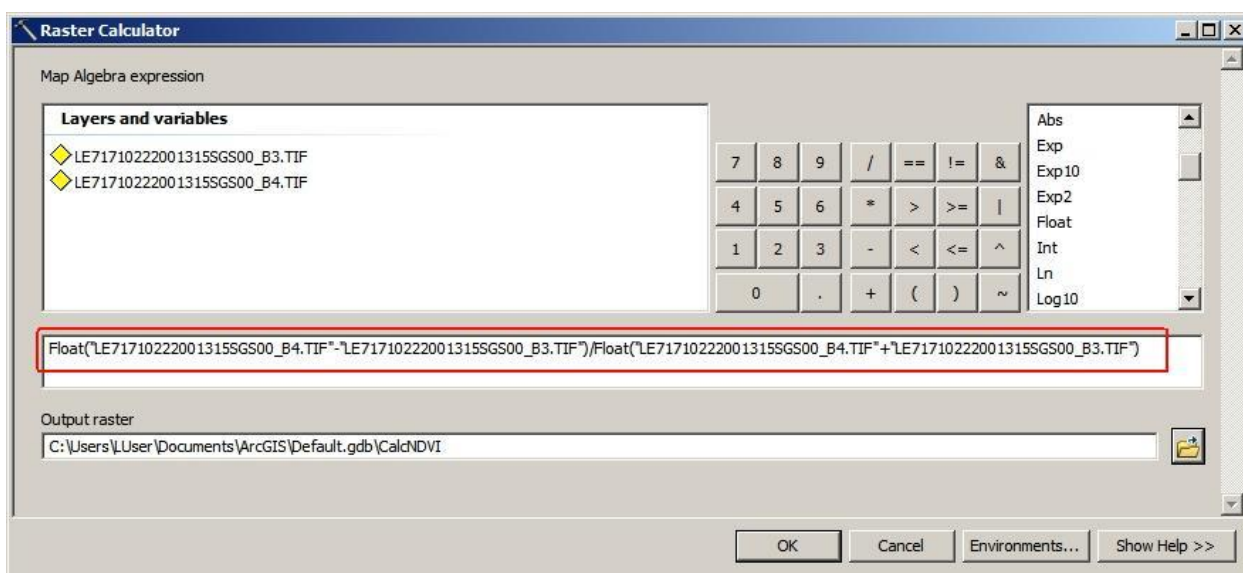


Рис. 2.9. Расчет индекса NDVI в Калькуляторе растра с помощью формулы

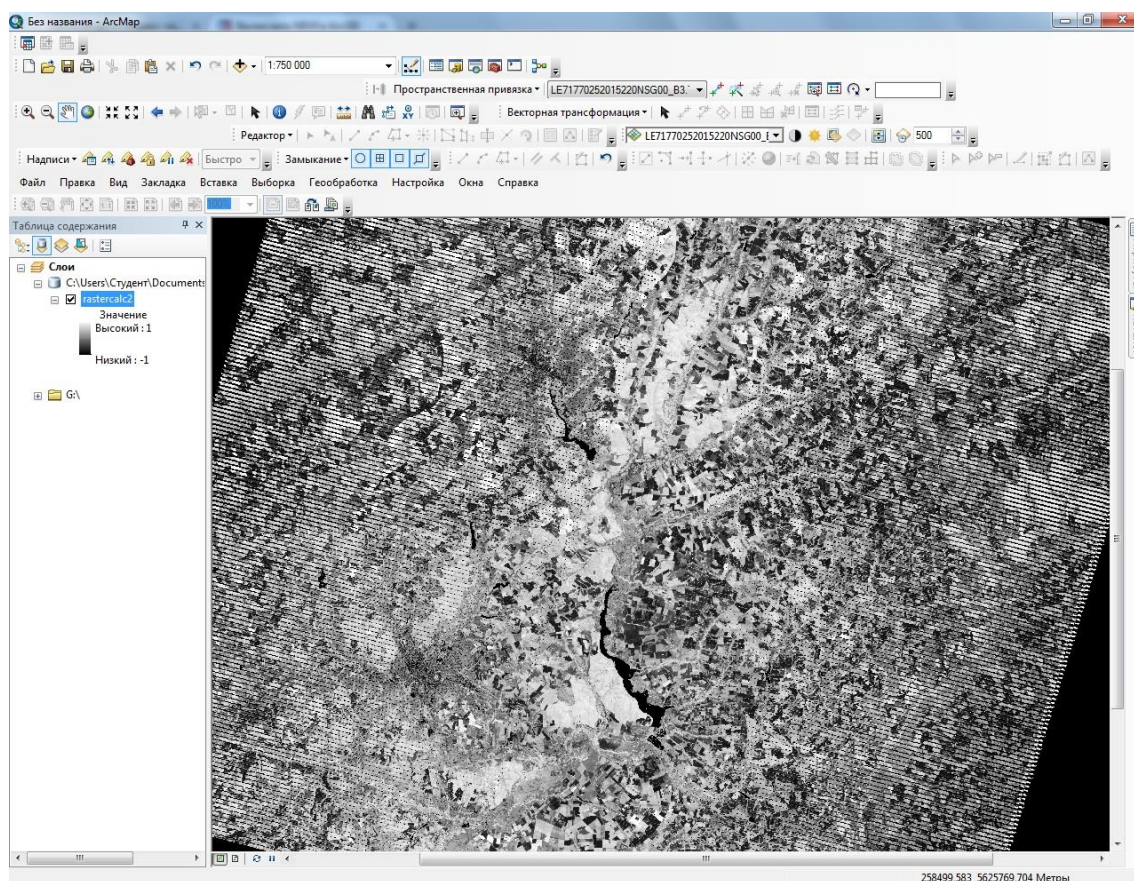


Рис. 2.10. Карта распределения индекса NDVI в черно-белом варианте

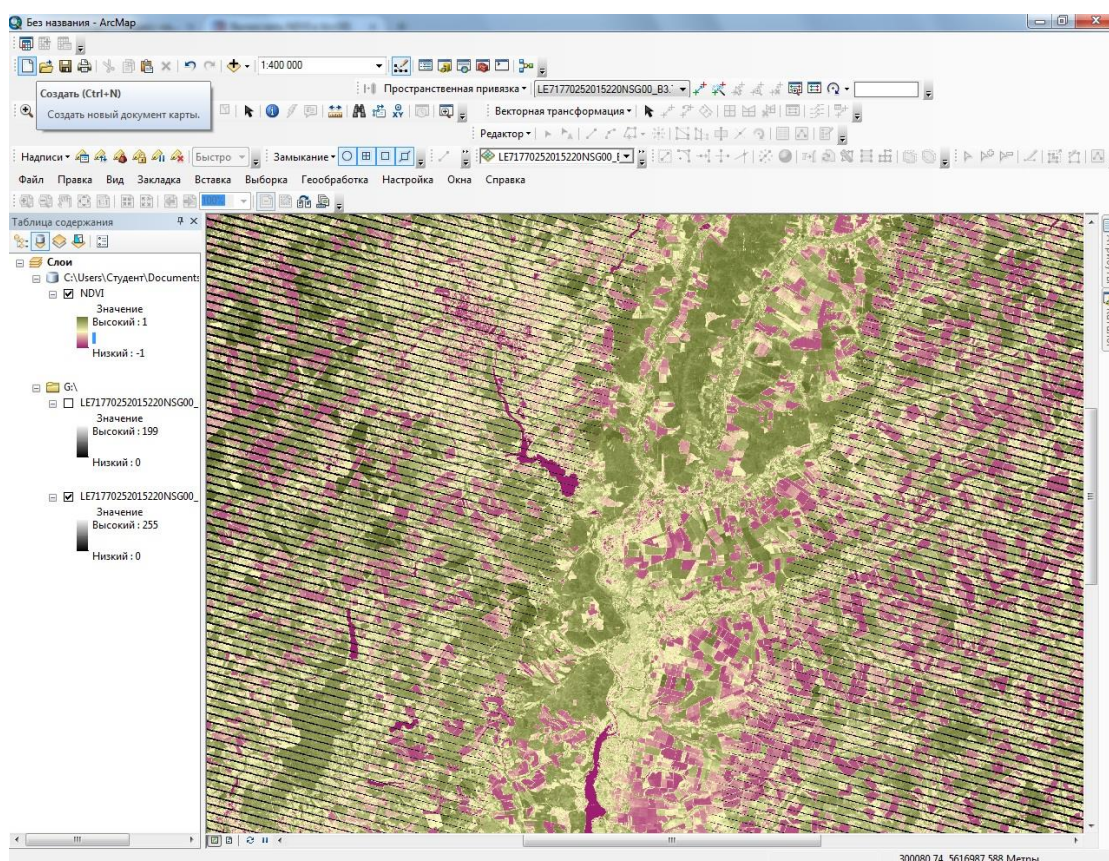


Рис. 2.11. Рабочий вариант карты вегетационного распределения индекса NDVI с измененной цветовой палитрой

В результате у нас получилась карта вегетационного распределения индекса NDVI, наглядно оценивающая состояние растительного покрова Яковлевского района (рис. 2.12).

Так на полученной схеме можно четко дифференцировать лесопокрываемые территории от пашни, которая зачастую тоже имеет зеленую гамму (в период вегетирования), кроме того глубина цвета (и соответственно коэффициент) указывают на объемы биомассы, что также является одним из определяющих критериев при лесотаксационных работах. На представленном фрагменте, даже без укрупнения масштаба, хорошо просматриваются участки с вырубками, лесные просеки, что позволяет использовать подобные ГИС материалы для мониторинга состояния лесопокрываемых территорий. При работе с материалами более крупного





### Условные обозначения

Индекс NDVI

Значение

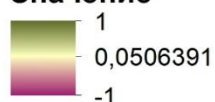


Рис. 2.12. Распределение индекса NDVI на территории Яковлевского района (фрагмент)

масштаба можно проводить дифференциацию по лесообразующим породам (в общем виде различать хвойные и широколиственные леса), у хвойных пород индекс более близок к 1.

Главным преимуществом вегетационных индексов является легкость их получения и широкий диапазон решаемых с их помощью задач. Так, NDVI часто используется как один из инструментов при проведении более сложных типов анализа, результатом которых могут являться карты

продуктивности лесов. Также на его основе возможно получение численных данных для использования в расчетах оценки и прогнозирования урожайности и продуктивности, биологического разнообразия, степени нарушенности и ущерба от различных стихийных бедствий, техногенных аварий и т. Д. [4].

#### Недостатки использования NDVI-индекса:

- Невозможность использования данных, не прошедших этап радиометрической коррекции (калибровки);
- Погрешности, вносимые погодными условиями, сильной облачностью и дымкой – их влияние можно частично скорректировать использованием улучшенных коэффициентов и композитных изображений с сериями NDVI за несколько дней, недель или месяцев (MVC – Maximum Value Composite). Усредненные значения позволяют избежать влияния случайных и некоторых систематических погрешностей. Как показывает практика, это очень часто применяемый подход для подготовки данных для создания карт NDVI.
- Необходимостью для большинства задач сравнения полученных результатов с предварительно собранными данными тестовых участков (эталонов), в которых должны учитываться сезонные эколого-климатические показатели, как самого снимка, так и тестовых площадок на момент сбора данных. Особенно значимыми данные материалы становятся при расчетах продуктивности, запасах биомассы и прочих количественных показателях.
- Возможностью использования съемки только времени сезона вегетации для исследуемого региона. В силу своей привязанности к количеству фотосинтезирующей биомассы, NDVI не эффективен на снимках полученных в сезон ослабленной или невегетирующей в этот период растительности.

Следует отметить, что любые вегетационные индексы не дают абсолютных количественных показателей исследуемого свойства, и их значения зависят от характеристик сенсора (ширина спектральных каналов,

разрешения), условий съемки, освещенности, состояния атмосферы. Они дают только относительные оценки свойств растительного покрова, которые могут быть интерпретированы и с привлечением полевых данных пересчитаны в абсолютные [4].

### 3. ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЯ ЛЕСОПОКРЫТЫХ ТЕРРИТОРИЙ ЯКОВЛЕВСКОГО РАЙОНА БЕЛГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ

#### 3.1. История облесения и современное состояние лесов региона

История облесения современной территории Белгородской области имеет глубокие исторические корни. В начале XVII в. территория региона представляла собой лесостепь. Леса занимали почти половину всей ее территории и существовали в неприкосновенности. В конце XVII в. начался первый этап неконтролируемой вырубki лесов.

Период с XVIII в. и до середины XIX в., характеризовался максимальным сокращением площади лесов. Обширные лесные площади вследствие экстенсивного развития хозяйства уступили свое место пашням, одинаково поглощавшим и леса, и степи.

Все возрастающий спрос на лесные материалы и площади под посевы приводит во второй половине XIX в. к очередному витку лесосведения с пиком этого процесса в 1850-1880 гг. (облесенность снизилась до 8-14%), ухудшается общее состояние лесных массивов. Кроме того, леса погибали в результате усиливающейся линейной эрозии и перевыпаса мелкого и крупного рогатого скота. Только в последнее 20-летие XIX в. лесоистребление в нашей области стало сокращаться.

Облесенность территории за последнее столетие сократилась незначительно, достаточно равномерно снижаясь на всей территории области, с 9,5% в конце XIX в. до 8,9% в настоящее время.

Сегодня, леса на территории области расположены неравномерно, большей частью представлены небольшими урочищами по оврагам, балкам или прибрежными лентами вдоль возвышенных правобережий рек в окружении сельскохозяйственных угодий и населенных пунктов.

Таким образом, за последние 300 лет площадь лесов в регионе сократилась более чем в 4 раза. На месте единых лесных массивов остались несколько разобренных крупных лесных урочищ, площадью более 1 тыс. га.

По данным официальной статистики в Белгородской области в 2017 году площадь лесопокрытых земель составляет 242,0 тыс. га или 9% от общей площади Белгородской области.

Леса области представлены отдельными участками разного размера: лесными дачами, урочищами, колками, а также частично лесополосами противозерозийного назначения. Только в ведении управления лесами Белгородской области насчитывается около 2,2 тыс. отдельных обособленных участков леса (контуров), неравномерно размещенных по территории.

Основная часть лесов приурочена по расположению к террасам, склонам и незатопляемым поймам рек, в то время как широкие возвышенные плато и верхние части склонов по водоразделам рек представлены лесами гораздо в меньшей степени [23].

Лесистость Белгородской области на большей части территории варьирует от 8 до 15%, снижаясь до 5% только на юго-востоке области. Анализ земель лесного фонда (рис. 3.1) в разрезе муниципальных районов показал, что максимальные показатели лесистости в Шебекинском, Старооскольском районах, а наименьшие в Вейделевском, Ровеньском, Прохоровском и Губкинском районах.

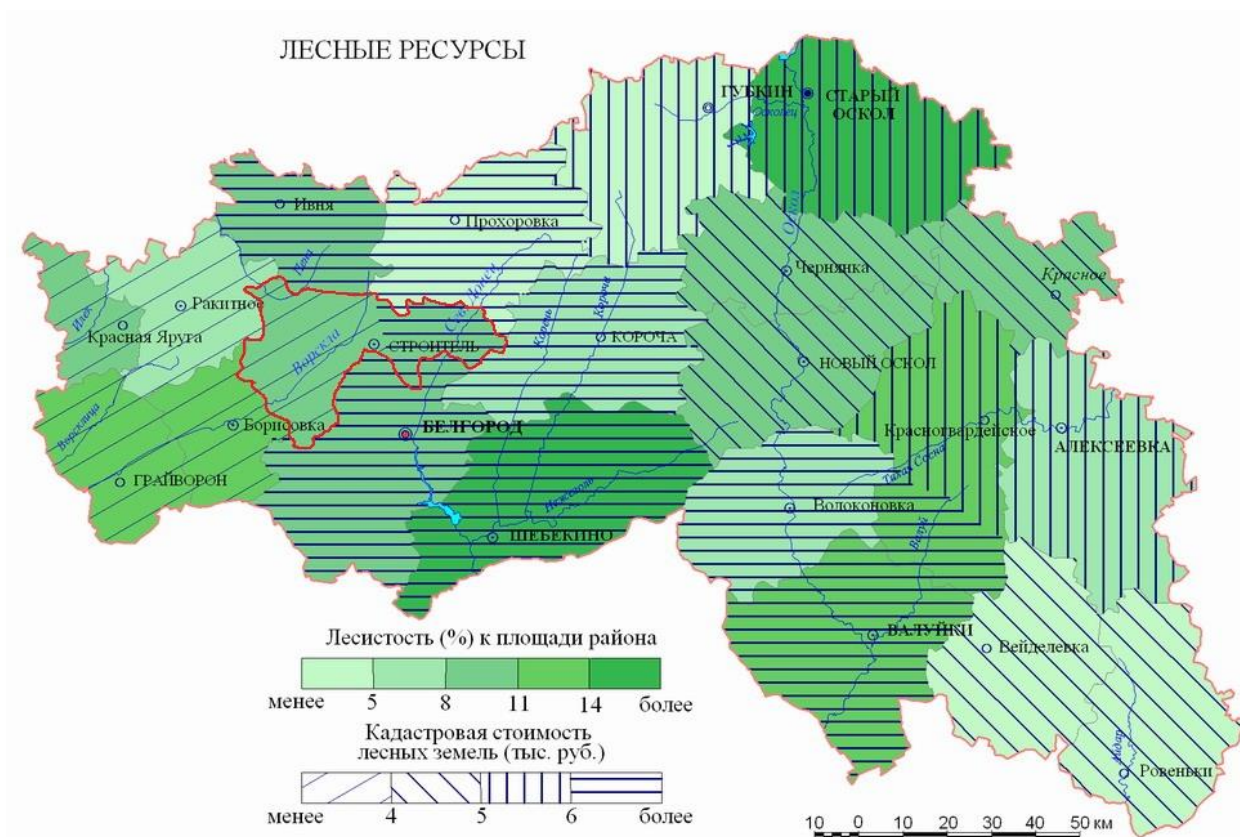


Рис. 3.1 Лесные ресурсы Белгородской области [35]

Модельным районом для изучения лесопокрытых территорий на основе ГИС-технологий стал Яковлевский район Белгородской области. Площадь района - 108977 га. Природная растительность района тяготеет к лесостепной зоне центрального Черноземья. Леса, некогда обширные дубравы, сохранились отдельными островками среди распаханых земель. Наиболее значительные леса называются урочищами, из них: "Ямская дача" - 1114 га, "Албино-Смородино" - 483 га, "Гриненков лес" - 538 га, "Маршалково" - 311,8 га. Как видно по рис. 3.1 лесистость района от 8 до 11 %.

### 3.2. Разработка карт и анализ изменения лесопокрытых территорий Яковлевского района

Для решения поставленных в выпускной квалификационной работе задач в качестве основного программного обеспечения был использован ГИС

«ArcGIS», версия 10.2, в качестве дополнительного – такие программные средства, как ГИС «SAS. Планета», растровый графический редактор и программный продукт для обработки данных дистанционного зондирования «ERDAS Imagine», общедоступные ресурсы космической съемки Геологической службы США (U.S. Geological Survey).

В работе использованы данные трех временных срезов – 1956, 1986 и 2016 гг.

Материал для ретроспективного исследования самого раннего периода времени был представлен фрагментами листов «Гостицево (М-37-38)» и «Короча (М-37-39)» из набора топографических карт генерального штаба масштаба 1 : 100 000 на территорию Советского Союза. В качестве источника пространственной информации для следующего временного среза был использован космический снимок свободного доступа со спутника Landsat 7, отражающий ситуацию на 1986 год. В качестве источника данных за 2016 г. использованы также материалы космосъемки со спутника Landsat 8, из ресурсной базы геологической службы США (табл. 3.1).

Исследования динамики площади лесных геосистем на основе ГИС и аэрокосмических технологий с использованием данных ДЗЗ базируются на сопоставительном дешифрировании разновременных космических снимков одной и той же территории, представляющих собой спектральные временные образы изображенных на них объектов, извлечении из них динамической информации, выявлении произошедших изменений, их графическом отображении и последующей содержательной интерпретации.

Все приемы совместного наблюдения разновременных космических снимков требуют предварительной коррекции – трансформирования и приведения к единым масштабу и проекции.

Перевод координат из одной системы в другую осуществляется с использованием «ArcGIS» 10.2, все снимки сшиваются с высокой точностью и выравниваются их спектральные характеристики, что в дальнейшем

существенно облегчает проведение дешифрирования (как визуального, так и автоматизированного).

Таблица 3.1

## Характеристика исходных данных

Название источника	Краткое описание	Информация о координатной основе	Временная характеристика	Происхождение данных	Формат файла
Листы топографической карты 1956г. (Гостищево М-37-38 и Короча М-37-39)	Растровое изображение (300 dpi)	Проекция «Mercator», система координат 1942 г. (СК-42)	1956 г.	Набор топографических карт генерального штаба масштаба 1 : 100 000	JPEG
Космические снимки, полученные на сервисе Геологической службы США (данные спутника Landsat 7)	Растровая модель (96 dpi).	Внешняя азимутальная проекция, WGS-84	1986 г.	Спутниковая съемка (высота 10–11 км)	TIFF
Космические снимки, полученные на сервисе Геологической службы США (данные спутника Landsat 8)	Растровая модель (96 dpi).	Внешняя азимутальная проекция, WGS-84	2016 г.	Высокоточная спутниковая съемка (высота 10–11 км)	TIFF

Дальнейшая обработка информации трансформированных снимков и оцифровка полигональной темы лесных ландшафтов производилась в созданном проекте ArcGIS с использованием инструмента «Полигон», там же предварительно было осуществлено формирование набора пространственной информации базы данных ГИС для целей картографирования с определением состава и характера локализации слоев географической основы, последующими разработкой содержания и составлением электронных тематических карт. Все полученные в процессе исследований



картографические материалы были составлены в масштабе 1:500 000, в котором территория Яковлевского района полностью размещается на листе формата А4.

С целью выявления динамики площади лесных ландшафтов в ГИС были произведены наложение (оверлей) векторных слоев, анализ и сравнение полученных карт с выявлением направленности (увеличение или снижение) произошедших изменений и их возможных причин. В случае обработки растровых картографических материалов возможно использование инструментария растровой алгебры (алгебры карт).

В результате картографо-аналитических работ выявлено, что доля облесенных территорий Яковлевского района в 1956 г. составила 12,6 % от общей площади, это 13751 га (рис. 3.2).

На рисунке 3.3 показана карта облесенных территорий Яковлевского района за 1986 г., площадь которых составила 12025 га, что составляет 11 % от общей площади.

Для оценки современного состояния лесопокрытых территорий Яковлевского района было проведено крупномасштабное дешифрирование, выделялись только лесопокрытые участки (крупные лесные массивы, байрачные леса, лесополосы и лесопосадки, городские парковые лесные массивы) (рис. 3.4).

Детальное дешифрирование космоснимка Landsat, взятого в открытом доступе с интернет-сайта Геологической службы США, позволило рассчитать, что по состоянию на 2016 г. в Яковлевском районе площадь лесопокрытых земель составляет 12943 га или 11,9% от общей площади района.

По данным составленных разновременных карт лесопокрытых территорий Яковлевского района можно отследить динамику изменения лесных площадей (рис. 3.5).

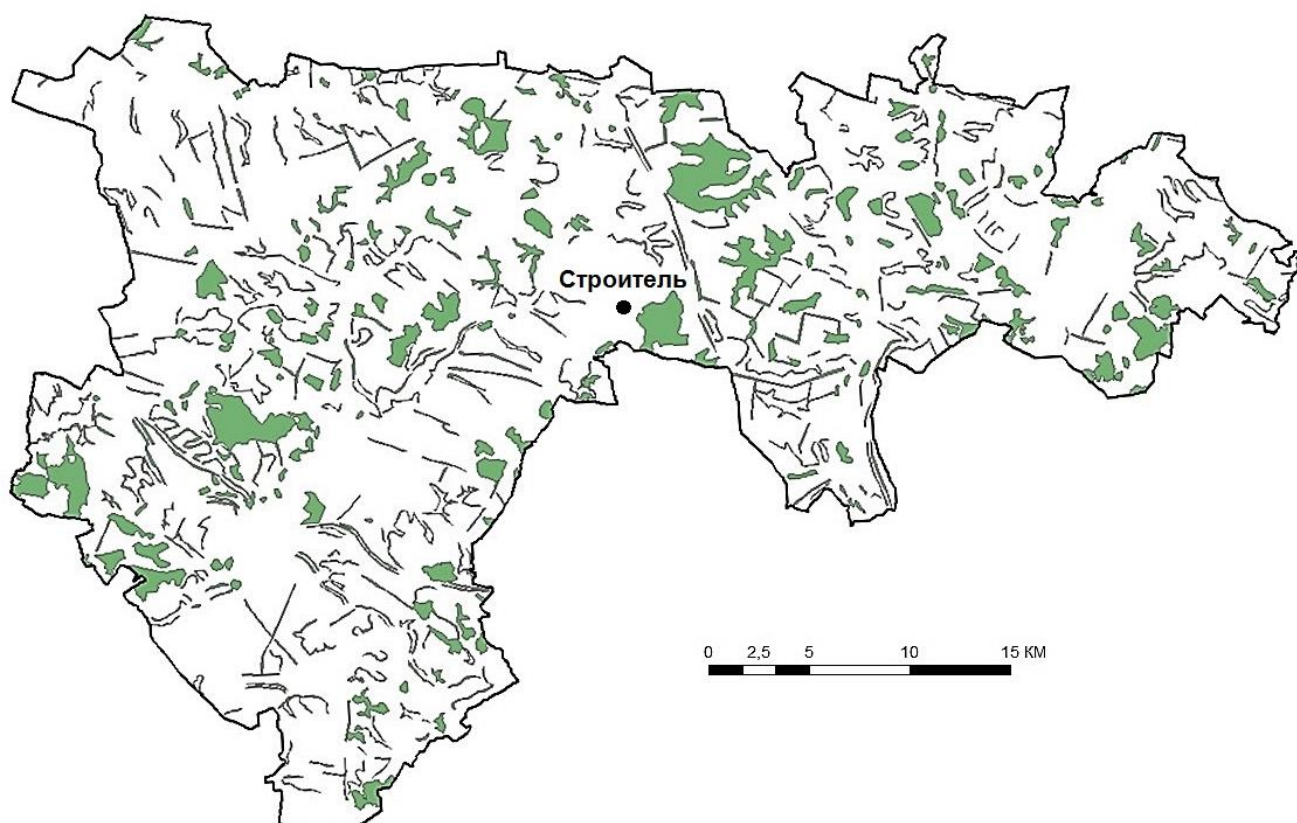


Рис. 3.2. Облесенные территории Яковлевского района Белгородской области, 1956 год.

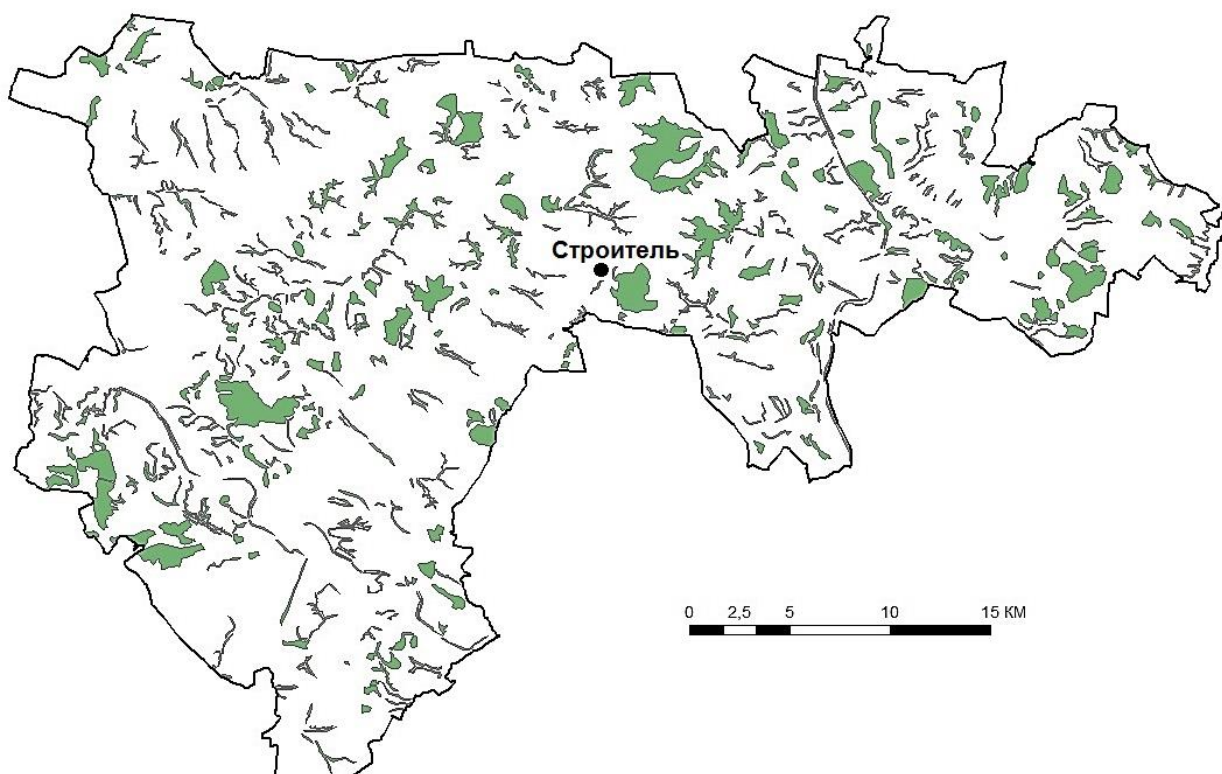


Рис. 3.3. Облесенные территории Яковлевского района Белгородской области, 1986 год

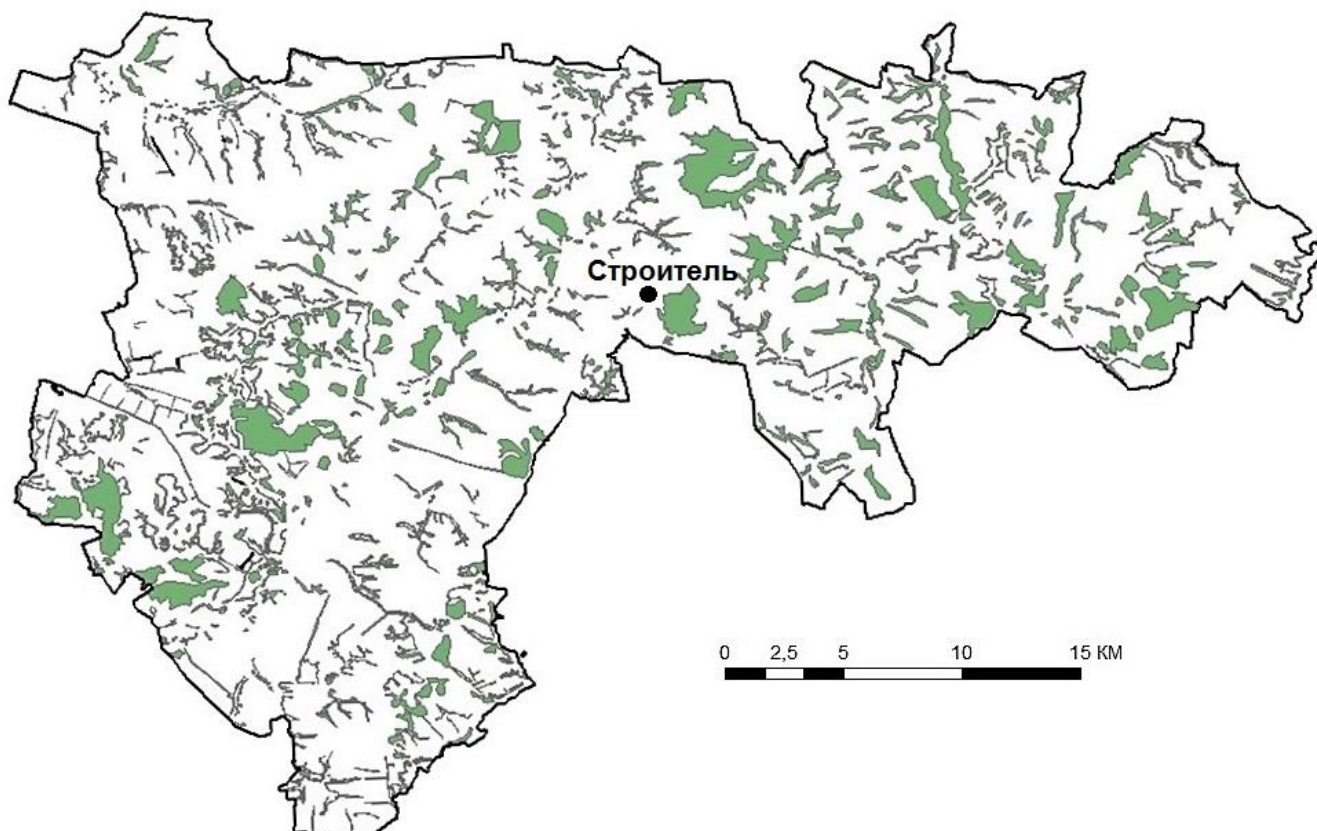


Рис. 3.4. Облесенные территории Яковлевского района Белгородской области, 2016 год.

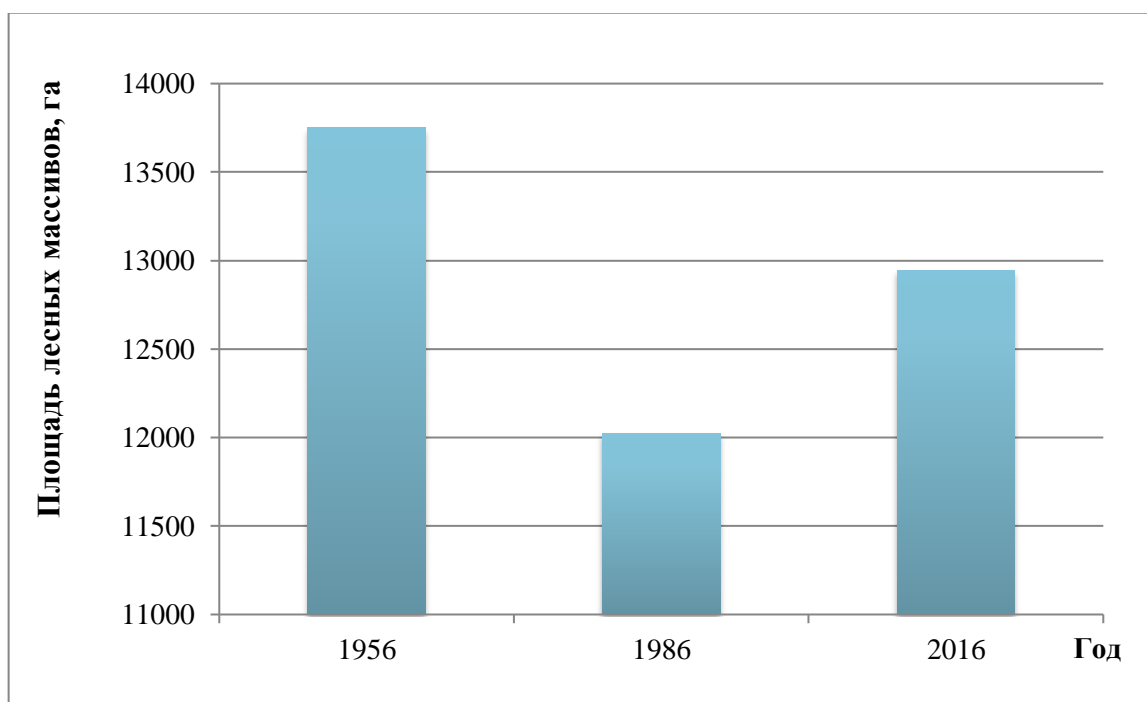


Рис. 3.5. Изменение площади лесопокрываемых территорий Яковлевского района с 1956 по 2016 годы

На основе представленного графика можно увидеть значительное уменьшение площади лесов в 80-е годы XX в., это связано с массовыми вырубками леса в поздний советский период. Но в 90-е годы в России шло массовое закрытие колхозов, земля становилась бесхозной, шел процесс массовых самозаростаний бывшей пашни и пустырей, первоначальные обширные несанкционированные рубки в конце 2000-х стали контролироваться, восстановленными лесхозами и лесничествами. Поэтому к 2016 году наблюдается увеличение площади лесопокрытых территорий Яковлевского района, хотя стоит отметить снижение их качественного состава, увеличение раздробленности и сведение на нет относительно крупных лесных массивов района.

### 3.3. Оценка лесопокрытых территорий на основе индекса NDVI

Для анализа многолетней динамики вегетационного индекса NDVI использовались многозональные космические снимки за 1986, 2001 и 2016 гг. съёмки в 8-ми и спектральных диапазонах с разрешением 30 м, полученные с аппаратов Landsat 5 и 7, а также в 11-ти спектральных диапазонах с разрешением 30 м, полученные с аппарата Landsat 8. Снимки были сделаны в летний период (июль), так как это период наибольшей вегетативной активности. При обработке снимков использовали программный пакет ArcGIS компании ESRI. В качестве территории исследования была выбрана территория Яковлевского района, расположенного в Белгородской области.

Для анализа 1986 года был использован космический снимок, полученный с аппарата Landsat 5 в 3 (красном) канале и 4 (ближнем инфракрасном) канале. На основе методики обработки изображения изложенной во 2 разделе получилась карта распределения вегетационного индекса NDVI (рис. 3.6), на которой хорошо идентифицируются лесные массивы, выделенные насыщенным зеленым цветом, а индекс принимает

максимальное положительное значение (0,8). Также на карте хорошо различимы водные объекты, которые соответствуют отрицательным значениям индекса (-0,24). Хорошо классифицируются пашни и сельскохозяйственные посевы, в зависимости от наличия зеленой фитомассы на них, чем ее больше, тем выше индекс.

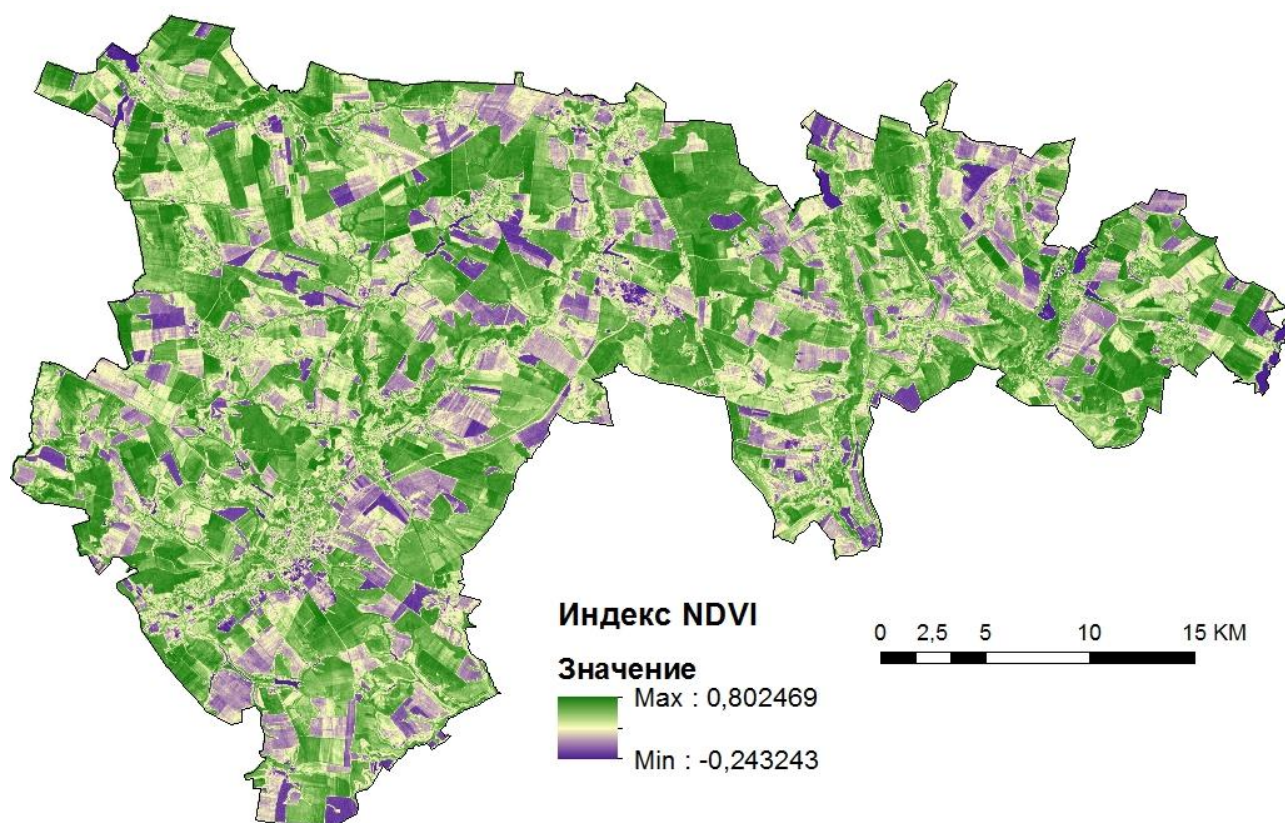


Рис. 3.6. Распределение индекса NDVI на территории Яковлевского района, июль 1986 года

Для 2001 года был использован космический снимок, полученный с аппарата Landsat 7 в 3 (красном) канале и 4 (ближнем инфракрасном) канале. В итоге получилась карта распределения вегетационного индекса NDVI (рис. 3.7), на полученной карте хорошо идентифицируются лесные объекты, они отображаются насыщенным зеленым цветом и соответственно имеют самые высокие значения индекса (до 0,65), а также посевы сельскохозяйственных культур, они выделяются светло-зеленым и белым

цветом. Распаханные земли и водные объекты имеют отрицательные значения индекса (до -0,44) и четко отображены фиолетовой гаммой.

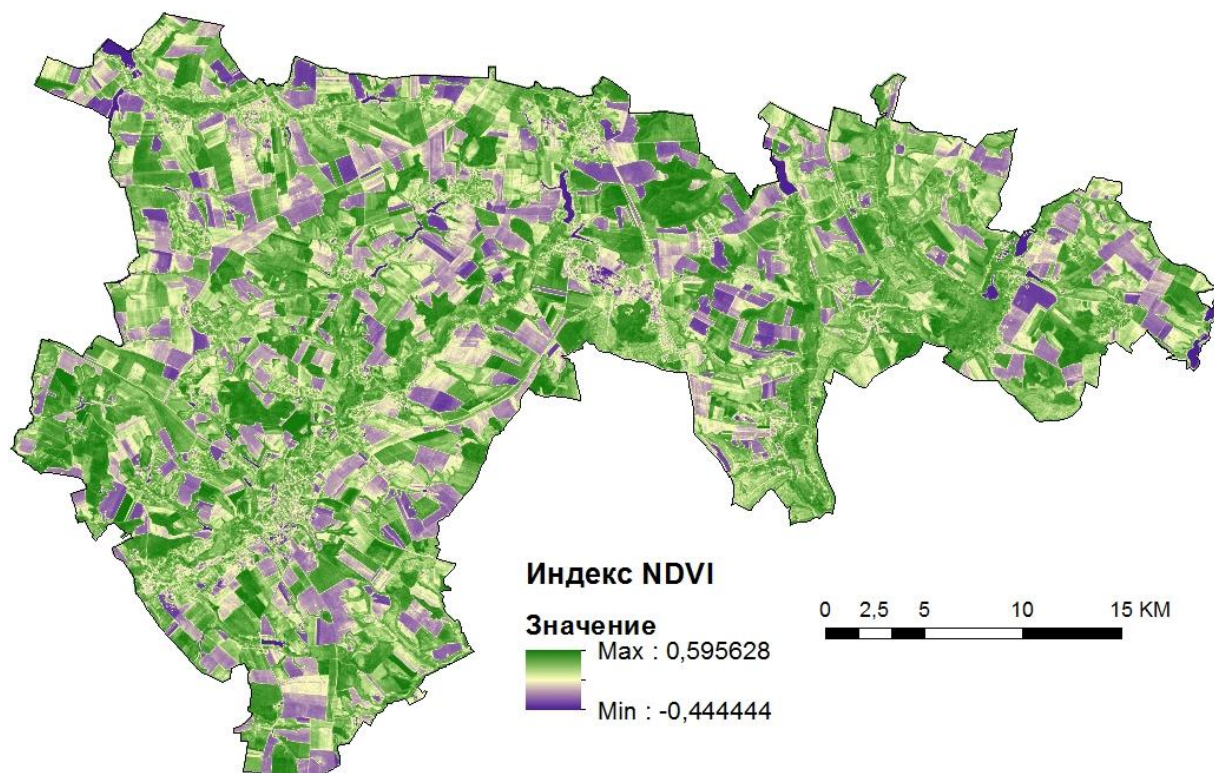


Рис. 3.7. Распределение индекса NDVI на территории Яковлевского района, июль 2001 года

Для 2016 года был использован космический снимок, полученный с новейшего космического аппарата - Landsat 8. Но в отличие от предыдущих карт, для идентификации здесь использовались 4 и 5 каналы. На карте распределения вегетационного индекса NDVI за указанный период (рис. 3.8), хорошо идентифицируются лесные объекты и посевы сельскохозяйственных культур, которые из-за наличия зеленой фитомассы имеют положительные значения индекса и отображаются зеленым цветом. Также хорошо различимы населенные пункты, показанные белым цветом. Распаханные земли и водные объекты имеют отрицательные значения индекса и четко

отображены фиолетовой гаммой, максимальные значения индекса составили 0,65.

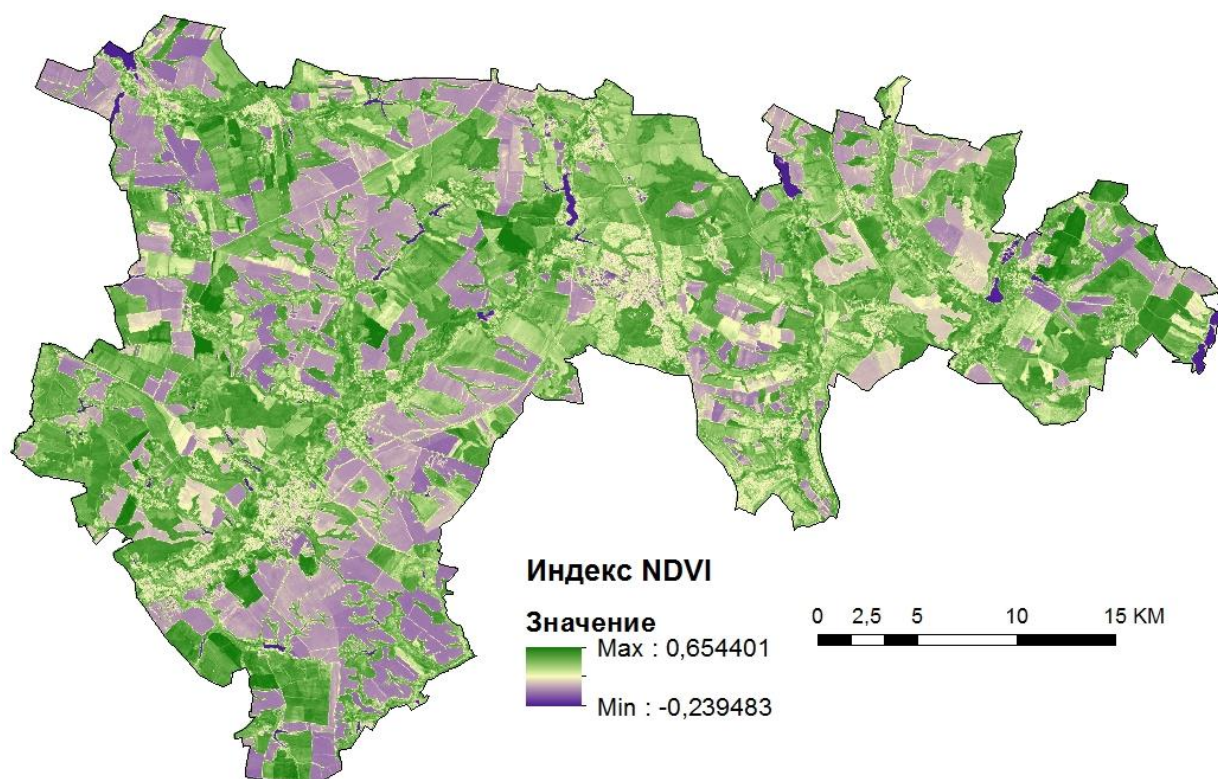


Рис. 3.8. Распределение индекса NDVI на территории Яковлевского района, июль 2016 года

Таким образом, общие особенности многолетней динамики вегетационного индекса NDVI сохраняются на протяжении 30 лет. NDVI позволяет оценить количество биомассы на конкретной территории, узнать количество хлорофилла, содержащегося в зелени, что позволяет легко определять все негативные изменения и реагировать на них прежде, чем они нанесут масштабный ущерб растительности. Установлено, что благодаря особенности отражения в ближней инфракрасной и красной областях спектра, природные объекты, не связанные с растительностью, имеют фиксированное значение NDVI, что позволяет использовать этот параметр для их идентификации.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате решения поставленных в выпускной квалификационной работе задач, мы можем сделать следующие выводы:

1. Космические снимки имеют огромное значение при оценке лесопожарной обстановки. Уникальной особенностью космических снимков является возможность охвата всего явления в целом, что позволяет производить обобщение данных на объективной основе. Данные ДЗЗ с высоким и сверхвысоким пространственным разрешением позволяют повысить эффективность проведения государственной инвентаризации лесов, повысить точность определения типов леса и конкретных пород древостоя, детально идентифицировать площади, подвергшиеся воздействию пожара.

2. Для оценки возможностей использования методов изучения лесных массивов с помощью ГИС-технологий нами был апробирован механизм неконтролируемой классификации изображения в растровом редакторе ERDAS Imagine, показавший высокую долю погрешностей в кластеризации территории и неприменимость для лесохозяйственных целей. Изучение метода контролируемой классификации и апробация его на фрагменте территории Яковлевского района показали низкую информативность и достоверность использования данного алгоритма для территорий регионального ранга. В тоже время, можно рекомендовать использование данного подхода для автоматического дешифрирования небольших локальных территорий с материалами космической съемки высоко разрешения.

3. Использование ГИС-технологий в целях мониторинга состояния лесных массивов было оценено нами на базе вычисления индекса вегетационной активности NDVI. Построенная карта в программе ArcGIS обладает высокой наглядностью и позволила не только оценить состояние лесных угодий, но и дифференцировать лесопокрытые территории от пашни, которая зачастую тоже имеет зеленую гамму (в период вегетирования), хорошо дифференцируются участки с вырубками, лесные просеки, что



позволяет эффективно использовать подобные ГИС-материалы для мониторинга состояния лесопокрытых территорий.

4. Анализ полученных результатов и картографических материалов показал, что площадь лесопокрытых территорий Яковлевского района Белгородской области, полученная по картографическим материалам 1956 и данным космической съёмки 1986 и 2016 гг. не одинакова, отмечено резкое снижение изучаемых территории, практически на 1,5 га к 1986 г. и некоторый рост (на 1 га) к окончанию исследуемого периода. Главной причиной увеличения площади лесных геосистем следует считать забрасывание и неиспользование земель сельскохозяйственного назначения. Вместе с тем необходимо отметить, что на части территории района произошло незначительное уменьшение площади крупных лесных геосистем, связанное с вырубкой леса и пожарами (главным образом, пожара 2010 г.).

Полученные в результате исследований геоинформационно-картографические модели и данные могут быть использованы при проведении природного компьютерного картографирования на локальном уровне и создании более детальных карт соответствующего комплексного атласа (растительности, лесов, лесных полегающих полос, лесохозяйственной нарушенности и др.

Полученные материалы являются геоинформационно-картографической основой для принятия управленческих решений в сфере лесного хозяйства и лесопользования, организации и ведения мониторинга и направлены на решение задач оптимизации регионального природопользования.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Arcview GIS. Руководство пользователя: Учебное пособие. – М.: МГУ, географический факультет, 1998. – 364 с.
2. Авраменко П.М. Природные ресурсы и окружающая среда Белгородской области / П. М. Авраменко – Белгород: БелГУ, 2007. – 555 с.
3. Бондур В.Г. Принципы построения информационно-аналитических центров глобального экологического мониторинга. – М., 1996. – 235 с.
4. Бочарова А.А. Методические основы оценки рационального использования лесных участков / А.А. Бочарова, В.Б. Жарников // Вестник Сибирской государственной геодезической академии. – 2013. – № 4. – С. 25–31.
5. Бугаевский Л.М., Цветков В.Я. Геоинформационные системы: Учебное пособие для вузов. – М: Златоуст, 2000. – 222 с.
6. Варфоломеев А. Ф. Коваленко Е.А., Манухов В. Ф. ГИС-технологии при изучении и оценке взаимосвязи пространственного распространения почвенного покрова и рельефа // Геодезия и картография. – 2013. – № 7. – С. 47–53.
7. Варфоломеев А.Ф., Манухов В. Ф., Меркулов П. И. Геоинформационные технологии в исследовании эколого-хозяйственного баланса территорий // Геодезия и картография. – 2010. – № 4. – С. 43–47.
8. Воробьев О.Н., Курбанов Э.А. Оценка динамики и нарушенности лесного покрова в Среднем Поволжье по снимкам Landsat // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2016. – Т. 13. – № 4. – С. 124–134
9. География: справочник для старшеклассников и поступающих в вузы. / Неклюкова Н.П., Душина И.В., Раковская Э.М. [и др.]. – М.: АСТ-ПРЕСС ШКОЛА, 2010. – 656с.

10. Геоинформационные технологии при решении задач в сфере природопользования // Материалы II Всероссийской научно-практической конференции. – 2009 [Электронный ресурс] – URL: [http://gisconf.uriit.ru/materials/materials\\_gis2015.pdf](http://gisconf.uriit.ru/materials/materials_gis2015.pdf) (дата обращения: 19.04.2018)
11. Дмитриев И.Д. Лесная аэрофотосъемка и авиация. – М.: «Лесная промышленность», 1996. – 345 с.
12. Доклад заседания расширенной коллегии Государственного комитета лесного хозяйства от 27.01.2011.
13. Кашкин В.Б. Дистанционное зондирование Земли из космоса. Цифровая обработка изображений. / В.Б. Кашкин, А.И. Сухинин А.И.// Логос. – 2001. – С. 76–81.
14. Копылов В.Н. Геоинформационная технология оценки последствий лесных пожаров с использованием данных дистанционного зондирования [Текст] / В.Н. Копылов, Ю.М. Полищук, В.А. Хамедов // Геоинформатика. – 2006. – № 1. – С. 56–61.
15. Королев Ю.К., Баранов Ю.Б. Методы обработки данных дистанционного зондирования. – М., 1996. – 341 с.
16. Коротенко Г.М. Использование данных дистанционного зондирования земли для мониторинга лесных пожаров на территории Украины [Электронный ресурс] / [Коротенко Г.М., Евсюков М.В.] // Сборник научных статей “III Всеукраинского съезда экологов”. – Винница, 2011. – Т.1. – С.141–144.
17. Курбанов Э. А., Воробьев О. Н. Четыре десятилетия исследований лесов по снимкам Landsat // Вестник ПГТУ. – 2014. – № 1(21). – С. 18–32.
18. Курбанов Э.А. Оценка зарастания земель запаса Республики Марий Эл лесной растительностью по спутниковым снимкам / Э.А. Курбанов, О.Н. Воробьев, А.В. Губаев, С.А. Лежнин, С.А. Незамаев, Т.А.

Александрова // Вестник МарГТУ. – Йошкар-Ола: МарГТУ. – 2010. – № 2(9).– С. 14–20.

19. Курбанов, Э.А. Дистанционный мониторинг динамики нарушений лесного покрова, лесовозобновления и лесовосстановления в Марийском Заволжье / Э.А. Курбанов, Т.В. Нуреева, О.Н. Воробьев, А.В. Губаев, С.А. Лежнин, Т.Ф. Мифтахов, С.А. Незамаев, Ю.А. Полевщикова // Вестник МарГТУ. – Йошкар-Ола: Марийский государственный технический университет. – 2011. – № 3.– С. 17–24.

20. Лурье И.К., Косиков А.Г. Теория и практика цифровой обработки изображений. – М.: Научный мир, 2003. – 166 с.

21. Международный опыт применения данных в сфере ДЗЗ. // Лесные ресурсы. – 2009 [Электронный ресурс] – URL: <https://www.scanex.ru> (дата обращения: 01.05.2018)

22. Петин А.Н. Экология Белгородской области. 8-11 класс: учеб. пособие для учащихся / А.Н. Петин, Л.Л. Новых, В.И. Петина – М.: МГУ, 2002. – 288 с.

23. Постановление губернатора Белгородской области от 23 ноября 2017 года № 118 "Об утверждении Лесного плана Белгородской области"

24. Савиных В.П. География из космоса / В.П. Савиных, В.А. Малинников, С.А. Сладкопечев, Э.М. Цыпина // Московский государственный университет геодезии и картографии. – 2000. – 224 с.

25. Состояние окружающей среды и использование природных ресурсов Белгородской области в 2008 году: справочное пособие / П.М. Авраменко, П.Г. Акулов, А. И. Анисимов и др. /Под. ред. С.В. Лукина. – Белгород: КОНСТАНТА, 2009. – 276 с.

26. Сухих В.И. Научные основы и первые результаты дистанционного мониторинга незаконных рубок леса [Текст] / В.И. Сухих [и др.] // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2006. – Вып. 3. – Т.1. – С. 32–38.

27. Сухих В.И., Гусев Н.Н., Данюлис Е.П. Аэрометоды в лесоустройстве. – М.: Лесная промышленность, 1977. – 192 с.
28. Хамедов В.А. Анализ существующих требований и ограничений в области сельского, водного, дорожного хозяйства, природопользования, туристско-рекреационного комплекса, контроль соблюдения которых целесообразно осуществлять на основе использования результатов космической деятельности (Шифр «Стратегия-РКД-ЮНИИИТ»): отчет о НИР : № инв. РС-5/13- 1-1/13 / рук. работы В.А. Хамедов; исполн.: Ю.М. Полищук, Г.А. Кочергин, А.Н. Богданов [и др.]. – Ханты-Мансийск: ЮНИИ ИТ, 2013. – 142 с.
29. Хамедов В.А. Применение информационно-космических технологий в лесном хозяйстве [Текст] / В.А. Хамедов [и др.] // Аэрокосмические методы и геоинформационные технологии в лесоведении и лесном хозяйстве : материалы 4-ой Международной конференции. – М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2007. – С. 81–83.
30. Чабан Л.Н. Тематическая классификация многозональных (многослойных) изображений. Методические указания для лабораторного практикума. – М.: МИИГАиК, 2006. – 115 с.
31. Чандра А.М., Гош С.К. Дистанционное зондирование и географические информационные системы. – М.: Техносфера, 2008. – 312 с.
32. Шапиро Л., Стокман Дж. Компьютерное зрение. – М.: Бином, 2006. – 752 с.
33. Швиденко, А.З. Влияние природных пожаров в России 1998-2010 гг. на экосистемы и глобальный углеродный бюджет /А.З. Швиденко, Д.Г. Щепашенко, Е.А. Ваганов, А.И. Сухинин, Ш.Ш. Максюттов, И. МкКаллум, И.П. Лакида // География. – 2011. – № 4(441).– pp. 544-548.
34. Шовенгердт Р.А. Дистанционное зондирование. Модели и методы обработки изображений. – М.: Техносфера, 2010. – 560 с.

35. Экология Белгородской области. [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.dishisvobodno.ru/ekologiya-belgorodskoy-oblasti.html> (дата обращения 15.05.2018).