

ТЕРЕХИН Эдгар Аркадьевич

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МОНИТОРИНГА
ЗЕМЕЛЬ ЛЕСНОГО ФОНДА БЕЛГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ
МЕТОДАМИ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ**

25.00.26 – землеустройство, кадастр и мониторинг земель

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Белгород – 2011

Работа выполнена на кафедре природопользования и земельного кадастра
ФГАОУ ВПО «Белгородский государственный национальный
исследовательский университет»

Научный руководитель: **ЛИСЕЦКИЙ Федор Николаевич**
доктор географических наук, профессор

Официальные оппоненты: **РУСИНОВ Павел Сергеевич**
доктор географических наук, профессор

ЗИНОВЬЕВ Виктор Григорьевич
кандидат биологических наук, доцент

Ведущая организация: **ГОУ ВПО «Белгородский государственный
технологический университет им. В. Г. Шухова»**

Защита состоится 17 мая 2011 г. в 13 часов на заседании диссертационного совета ДМ 212.036.02 при Воронежском государственном педагогическом университете, по адресу: 394043, г. Воронеж, ул. Ленина, 86, ауд. 408.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке научных работников ВГПУ по адресу: 394043, Воронеж, ул. Ленина, 86, ауд. 34.

Автореферат разослан 12 апреля 2011 г.

Отзывы на автореферат (в двух экземплярах, заверенных печатью) просим направлять по адресу: 394043, Воронеж, ул. Ленина, 86. Естественно-географический факультет, ученому секретарю диссертационного совета ДМ-212.036.02. Факс: 8 (4732) 55-19-49, E-mail: shmykov@vspsu.ac.ru

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат географических наук,
доцент

В.И. ШМЫКОВ

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования. Площадь земель лесного фонда России (1104,9 млн. га) составляет больше половины ее территории (65%). Леса, произрастающие на них, содержат 22% мировых запасов древесины. Значительные лесные ресурсы в целях их рационального использования требуют управления, мониторинга и контроля, которые непосредственно связаны с применением современных технологий. Получение сведений о лесохозяйственных показателях насаждений по схеме классического лесоустройства – долговременный, трудоемкий и дорогостоящий процесс. Поэтому необходимы способы, которые позволяют облегчить его выполнение, посредством обеспечения предварительных оценок основных характеристик насаждений, например, возраста, высоты и диаметра на новой технологической основе. Методы дистанционного зондирования и геоинформационные технологии, стремительно совершенствующиеся в настоящее время, должны способствовать решению этой проблемы. Объектом мониторинга земель лесного фонда России выступают, в первую очередь, лесные земли, занимающие свыше 72% его площади. Лесной кодекс, вступивший в действие в 2007г., предусматривает более масштабное применение космических данных дистанционного зондирования (ДДЗ) Земли при проведении их контроля и государственной инвентаризации лесов (Комментарий к Лесному кодексу, 2008), что стимулирует внедрение ДДЗ в структуру мониторинга и оценки лесов.

Особенно актуально внедрение современных технологий мониторинга и оценки в систему контроля лесных земель, на которых произрастают особо ценные лесные породы, например, дуб черешчатый. Доля лесных экосистем с преобладанием дуба среди лесов России составляет не более 5% их общей площади. В то же время в ряде областей, в том числе в Белгородской области, дуб является основной лесобразующей породой, занимающей 70% лесопокрываемых площадей.

Актуальность исследования обусловлена необходимостью разработки способов внедрения космических ДДЗ в систему мониторинга и оценки лесных земель.

Объект исследования – лесные земли Белгородской области.

Предмет исследования – состояние и методы оценки лесных земель по материалам многозональной космической съемки с учетом фактора региональных географических условий.

Основная цель исследования – повышение эффективности оценки и мониторинга лесных земель Белгородской области. Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Проанализировать отечественный и зарубежный опыт исследования лесных земель аэрокосмическими методами.
2. Изучить природно-хозяйственные условия Белгородской области и обосновать необходимость применения аэрокосмических методов при оценке состояния лесных земель ее территории.

3. Обосновать спектральные показатели лесных массивов, наиболее информативные для оценки их важнейших таксационных характеристик.
4. Провести статистический анализ связей между таксационными показателями лесного насаждения и его спектральными отражательными свойствами.
5. Создать электронную карту лесопокрытых земель Белгородской области методом дешифрирования спектральных признаков на космических снимках.
6. Разработать способ детектирования изменений в состоянии лесных земель Белгородской области с применением ДДЗ.

Теоретические основы исследования. Вопросы, связанные с аэрокосмическими исследованиями и дистанционной оценкой характеристик лесных насаждений, мониторингом лесных земель, рассмотрены во многих работах отечественных и зарубежных исследователей: С.А. Барталева, И.М. Данилина, Е.П. Данюлиса, И.Д. Дмитриева, Б.В. Виноградова, В.М. Жирина, А.С. Исаева, Е.Н. Калашникова, В.В. Козодерова, Е.С. Мурахтанова, П.С. Русинова, Г.Г. Самойловича, В.И. Сухих, Н.Г. Харина, М. Batistella, D.S. Boyd, W. Chen, G.M. Foody, F. Lambin, J. Landsberg, T. Kajisa, D. J. King, S. Franklin, R.J. Hall, S.A. Sader, D. Lu, E. E. Moran, B. Matsushita, M.L. Nordberg, J.A. Tullis, M. Tsutsumi, R. Virk, M. Phua, D.Lutz, M.A. Wulder, Y. Zhang и др. Работы перечисленных исследователей указывают на возможность использования методов дистанционного зондирования Земли для оценки биофизических и таксационных показателей лесных насаждений и картографирования лесных земель, а также на перспективы дальнейших исследований в указанных направлениях. В то же время они обозначают ряд нерешенных задач, связанных с использованием этих методов.

Материалы и методы исследования. В исследовании применяли следующие методы: сравнительно-географический, обработки данных дистанционного зондирования Земли, геоинформационного анализа и моделирования, математико-статистической обработки полученных материалов.

В значительной степени использован архив спутниковых данных и программное обеспечение для обработки ДДЗ (ERDAS IMAGINE) и геоинформационного анализа (ArcGIS) Федерально-регионального центра аэрокосмического и наземного мониторинга объектов и природных ресурсов НИУ «Белгородский государственный университет».

В работе использовали материалы многозональной космической съемки со спутников Landsat TM, ETM+, данные комплексных лесоустроительных работ Белгородской области, собственных полевых обследований, проведенных с 2008 по 2010 гг., материалы отечественных и зарубежных интернет-архивов: Springer Link, InterSciens, изданий Canadian Journal of Remote Sensing, Remote Sensing of Environment, Indian Society of Remote Sensing, Journal of Forestry Research. Привлекали данные из ежегодных отчетов о состоянии окружающей среды Белгородской области, фондовые данные по учету лесных земель Белгородской области, информация о ее физико-географических и лесорастительных условиях.

Достоверность результатов. Достоверность полученных результатов и выводов подтверждается обширным фактическим (экспериментальным) материалом: обработана информация с 1288 таксационных выделов, включающая полное лесотаксационное описание насаждений, на 492 оценочных площадях исследованы спектральные характеристики лесных массивов. Исследовательские полигоны были выбраны с учетом географических и лесорастительных особенностей Белгородской области. Для используемых спутниковых данных выполнена атмосферная и радиометрическая корректировки, обеспечивающие достоверность полученных результатов анализа спектра снимков. В работе применяли современные методы и средства обработки данных, в т.ч. программный пакет для обработки ДДЗ ERDAS IMAGINE, геоинформационные системы ArcGIS, БелГИС, Global Mapper, пакет для статистической обработки STATISTICA. При исследовании спектральных отражательных свойств лесных насаждений в значительной степени учтен не только отечественный, но и зарубежный опыт обработки снимков (проанализировано 119 иностранных источников).

Научная новизна. Разработан способ интеграции ДДЗ с материалами лесоустроительных работ и наземных обследований, позволяющий с учетом региональных природных условий проводить оценку количественных связей между таксационными характеристиками насаждения и его спектральными отражательными свойствами. Впервые для дубрав, как лесных ресурсов Белгородской области выявлены спектральные показатели, обоснованные автором как наиболее информативные для оценки важнейших таксационных характеристик: возраста, высоты и диаметра. Выявлены и проанализированы зависимости изменения спектральных отражательных свойств насаждений (оцененных через группу спектральных показателей) от их биометрических (таксационных) характеристик. Разработана методика выявления многолетних изменений в основных насаждениях, основанная на использовании спектральных индексов.

Основные защищаемые положения.

1. Результаты анализа природно-хозяйственных условий Белгородской области и обоснование необходимости применения аэрокосмических методов при оценке состояния лесных земель ее территории.
2. Способ выбора и обоснования спектральных показателей, наиболее информативных для оценки возраста, высоты и диаметра лесных насаждений с преобладанием дуба в качестве основной лесообразующей породы.
3. Результаты анализа количественных связей между таксационными показателями лесных насаждений и их спектральными отражательными свойствами.
4. Результаты картографирования лесопокрытых земель Белгородской области по материалам космической съемки со спутников Landsat TM, ETM+.
5. Обоснование возможности детектирования качественных многолетних изменений, происходящих в лесных землях, по материалам дистанционного зондирования Земли с применением спектральных индексов.

Практическая значимость и применение результатов исследования.

Результаты исследования влияния таксационных показателей лесных насаждений на их спектральную отражательную способность, а также методика детектирования многолетних изменений в сосновых лесах с помощью индекса EWDI могут быть использованы для совершенствования аэрокосмического мониторинга лесных земель. Предложенный способ интеграции данных дистанционного зондирования и материалов лесотаксационных работ может быть адаптирован для любого лесного региона в целях выявления наиболее информативных спектральных показателей и оценки таксационных характеристик насаждений. Полученная электронная карта лесопокрытых земель может стать геоинформационной основой для совершенствования управления и мониторинга лесных земель Белгородской области и анализа лесов как составляющей экологического каркаса региона.

Материалы диссертации вошли в отчеты по следующим проектам: гранту «Фундаментальные основы развития геоаналитических систем на базе научно-образовательного кластера «Геоинформатика и технологии дистанционного зондирования в естественных науках» аналитической ведомственной целевой программы «Развитие научного потенциала высшей школы (2009-2010 гг.)» (ГР №01200951916), гранту РФФИ «Мониторинг техногенного воздействия и рациональное природопользование в действующих и вновь создаваемых промышленных районах» на 2009-2011 гг. (ГР №01200953), гранту «Разработка ресурсосберегающей системы управления агроландшафтами Европейской лесостепи России на основе данных дистанционного зондирования Земли и геоинформационного моделирования» (ГР №01201057328), гранту Президента РФ (проект МК-1189.2010.5), государственному контракту «Разработка региональных компьютерных моделей для оценки сценариев развития и оптимизации природопользования в степной и лесостепной зонах Европейской территории России на основе глобальных моделей LPJ-DGVM и SEVER-DGVM», (2009-2010 гг.) (ГР № 0120958260).

Апробация работы. Материалы диссертационной работы доложены автором на научных и научно-практических конференциях: 12-й Международной научно-производственной конференции «Проблемы сельскохозяйственного производства на современном этапе и пути их решения» (Белгород, 2009), Международной научно-практической конференции «Географические исследования: история, современность и перспективы» (Курск, 2010), Международных научно-практических конференциях студентов, аспирантов и молодых ученых Регион-2009, 2010 (Харьков, 2009, 2010), Международной научной конференции ИнтерКарто-ИнтерГИС-16 (Ростов-на-Дону, Зальцбург, 2010).

Публикации. По теме диссертационного исследования автором опубликовано 10 научных работ, включая две из перечня ВАК, общим объемом 2,63 п.л., в том числе 2,11 авторских.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованных источников из 230 наименований, включая 119 иностранных. Основной текст диссертации изложен на 148 страницах машинописного текста и содержит 30 таблиц и 30 рисунков.

ОСНОВНЫЕ ЗАЩИЩАЕМЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1. Результаты анализа природно-хозяйственных условий Белгородской области и обоснование необходимости применения аэрокосмических методов при оценке состояния лесных земель ее территории.

Белгородская область практически полностью расположена в зоне лесостепи. Климат умеренно-континентальный с довольно мягкой зимой со снегопадами и оттепелями и продолжительным летом. Средняя годовая температура воздуха изменяется от $+5,4^{\circ}$ на севере до $+6,8^{\circ}$ на юго-востоке. Безморозный период составляет 155–160 дней. Наибольшее количество осадков выпадает в западных и северных районах области и составляет в среднем 540–550 мм. Среди почв преобладают черноземы (типичные, выщелоченные, солонцеватые, карбонатные). Оптимальные климатические и почвенные условия территории области способствуют ее активному сельскохозяйственному использованию. Плотность сельского населения составляет 18,9 чел/км², что в 8 раз выше среднего по России показателя (2,3 чел/км²). Регион ежегодно производит в масштабах СНГ 12% сахара и около 6% растительных масел. Следствием этого является значительное антропогенное давление на природные комплексы, высокая распаханность территории и преобладание антропогенно-преобразованных ландшафтов над естественными.

Леса, занимавшие в начале 1 тысячелетия н.э. около 40% современной территории области (Чендев, 2004), в настоящее время составляют 8,6% ее территории (2713,4 тыс. га). Этот показатель соответствует средней лесистости Центрально-Черноземного региона – 8,7% (Бугаев, 2006). Однако леса играют важнейшую водоохранную и санитарную роль и полностью отнесены к первой группе, являясь составляющей экологического каркаса территории. Одновременно леса Белгородской области почти на 70% представлены особо ценной лесной породой – дубом черешчатым, доля которого среди лесов России не превышает 5%.

К числу основных проблем лесного фонда области относятся устаревание материалов лесоустройства (последнее лесоустройство проводилось в 1994 г.) и, как следствие, невозможность ведения грамотно-спланированного лесного хозяйства, отсутствие системы оперативного контроля и своевременного ухода за лесами.

Леса области в связи с важной региональной экологической ролью требуют особого мониторинга и контроля, включающего оценку состояния лесных насаждений, их таксационных показателей, динамику изменений площадей, выявление погибших древостоев и лесных культур, незаконных рубок. Выполнение большинства перечисленных задач дорогостояще и трудновыполнимо. В связи с этим встает проблема совершенствования системы оценки и мониторинга лесных земель Белгородской области с применением современных технологий, среди которых ведущее место занимают методы обработки и материалы космической съемки.

2. Способ выбора и обоснования спектральных показателей, наиболее информативных для оценки возраста, высоты и диаметра лесных насаждений с преобладанием дуба в качестве основной лесообразующей породы.

Совершенствование методов лесохозяйственного дешифрирования, связанное с углубленным изучением структуры лесов и моделированием таксационных характеристик насаждений – одно из главных направлений лесного хозяйства и аэрокосмического мониторинга лесных земель, которым должно быть отдано приоритетное начало (Сухих, 2008). Моделирование таксационных характеристик лесных экосистем заключается в установлении количественных отношений между ними и спектральными отражательными свойствами лесных насаждений. Однако, решение этой задачи невозможно без предварительного выявления спектральных показателей, наиболее чувствительных к изменению основных таксационных параметров – возрасту, высоте и диаметру. Связано это с тем, что далеко не все спектральные показатели характеризуются тесной связью с биометрическими (таксационными) характеристиками лесных массивов. Под спектральными показателями понимаются спектральные диапазоны или каналы космических снимков (в нашем случае – снимков Landsat TM), а также спектральные индексы, рассчитываемые по спутниковым изображениям. Спектральными индексами называются преобразования, заключающиеся в алгебраических операциях с каналами снимков. Анализ этих показателей относится к методам дешифрирования, основанным на преобразовании спектральных яркостей. Во многих случаях индексы позволяют выявлять различия, четко не наблюдающиеся на исходных снимках.

К настоящему времени выполнен ряд исследований (Foody, 2001; Gerylo, 2002; Phua, 2003; Lu, 2004; Chen, 2007), доказывающих возможность оценки биофизических и таксационных характеристик насаждений по ДДЗ с условием предварительного выявления информативных спектральных показателей. Планировалось ответить на вопрос, какой спектральный индекс или диапазон наиболее предпочтителен для анализа возраста, высоты или диаметра лесного насаждения, типичного для лесостепной провинции Среднерусской возвышенности. Сложность исследования по выявлению наиболее информативных спектральных показателей заключалась в необходимости анализа физико-географических и лесорастительных особенностей территории, обработки значительного количества материалов наземных исследований, формирования на их основе базы данных, а также выполнения всех основных стадий обработки космических снимков, включая атмосферную и радиометрическую коррекцию. Главной и наиболее сложной задачей при исследовании лесных насаждений дистанционными методами является интеграция данных космической съемки и материалов наземных обследований.

Предложенная универсальная схема (Рис. 1) позволяет решить данную задачу путем совместного использования трех групп методов: обработки ДДЗ, ГИС-анализа и статистической обработки данных.

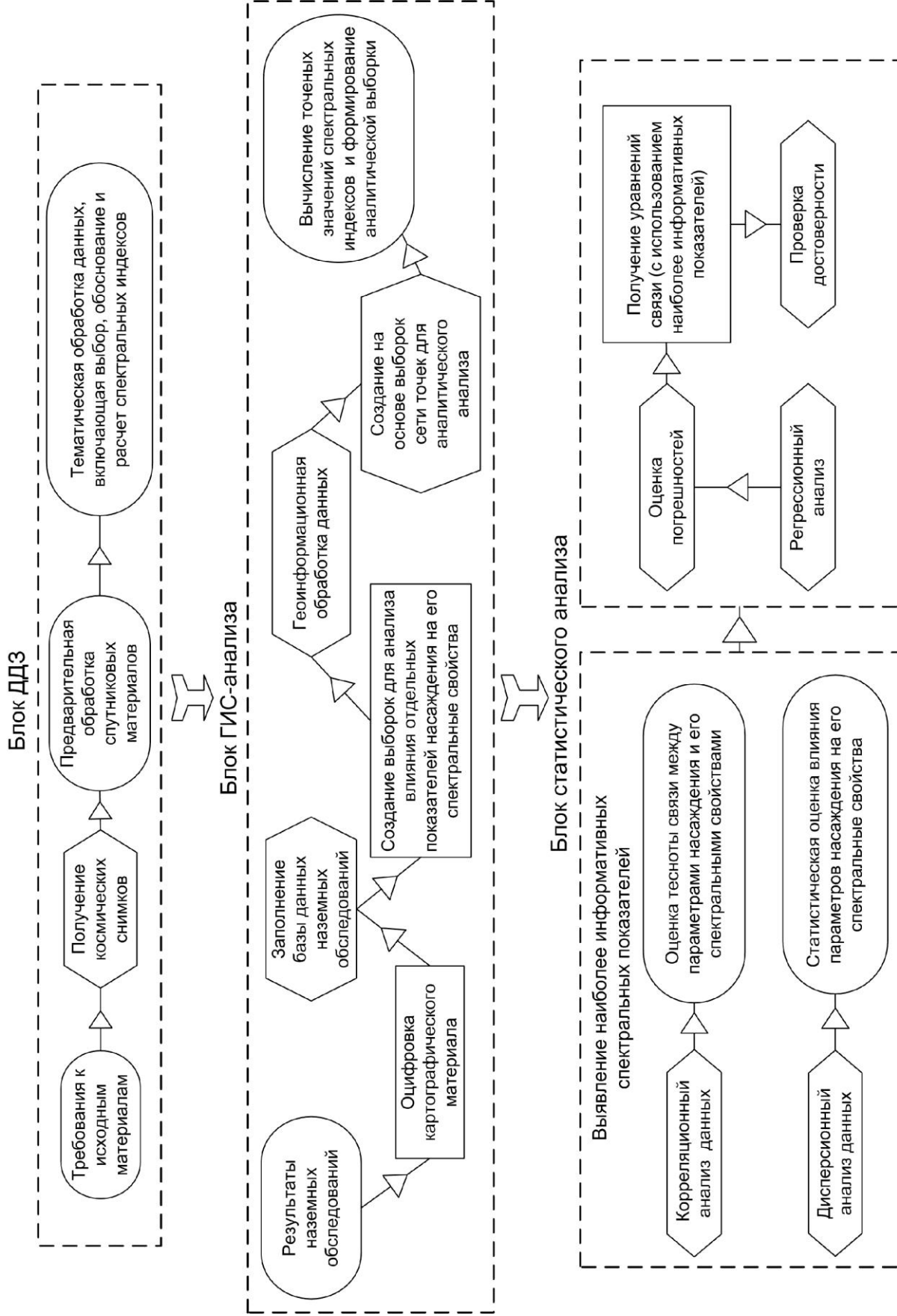


Рис. 1 Схема интеграции материалов наземных обследований и ДДЗ

Для выявления наиболее информативных спектральных показателей и дальнейшего расчета уравнений связи между ними и таксационными характеристиками насаждений, последовательно выполняли этапы, начиная от подборки исходных материалов и заканчивая созданием прогнозных уравнений связи. Схема является основой способа выявления наиболее информативных спектральных показателей для оценки таксационных характеристик насаждения.

Блок ДДЗ. Снимки со спутника Landsat 5 TM, выбранные в качестве ДДЗ на территорию Белгородской области, были подобраны таким образом, чтобы даты съемки максимально соответствовали срокам выполнения последних лесоустроительных работ, которые были проведены на территории области в 1994-1995 гг. Данные Landsat выбрали на основании критериев, к которым относятся количество и качество каналов, пространственное и радиометрическое разрешение, размер спутниковой сцены, наличие снимков на нужные даты, обширный мировой опыт предварительной корректировки данных. Снимки были отобраны из архива съемки высокого разрешения Национальной геологической службы США (USGS). Атмосферная и радиометрическая коррекция ДДЗ, являющиеся необходимым условием получения достоверных результатов спектральной обработки снимков, выполнены по методике (Chander, 2009), что позволило перевести снимки в безразмерные атмосферно-откорректированные коэффициенты отражения.

Руководствуясь результатами предыдущих исследований (Phua, 2003; Lu, 2004; Chen, 2007), для анализа предварительно отобрали 20 спектральных индексов, относящихся к разным группам по методике расчета или используемым каналам, а также спектральные диапазоны, соответствующие каналам снимков Landsat (6 диапазонов). Таким образом, были проанализированы 26 спектральных показателей. Рассчитанные по формулам индексов растры их значений, а также растры коэффициентов отражения, являлись основным источником получения спектральной информации о лесных массивах.

Блок ГИС-анализа. Получение данных наземных обследований в виде материалов лесоустройства, выполненное на трех исследовательских полигонах (рис. 2) общей площадью 6693 га, позволило собрать полную лесотаксационную информацию с 1288 выделов. Все участки (полигоны) были выбраны таким образом, чтобы максимально репрезентативно представлять леса, типичные для Белгородской области, расположенные в лесостепной зоне и характеризующиеся доминированием дубравы свежей в качестве типа лесорастительных условий и дуба черешчатого в качестве основной лесообразующей породы. При выборе полигонов учитывалось физико-географическое районирование территории исследования. Лесоустроительные планшеты всех лесных массивов, расположенных на исследовательских участках, были отсканированы, географически привязаны и переведены в цифровую форму. Присоединенная к ним и заполненная база данных таксационного описания выступала в качестве основы для создания аналитической выборки из лесных выделов и последующего развертывания в них сети исследовательских площадей.

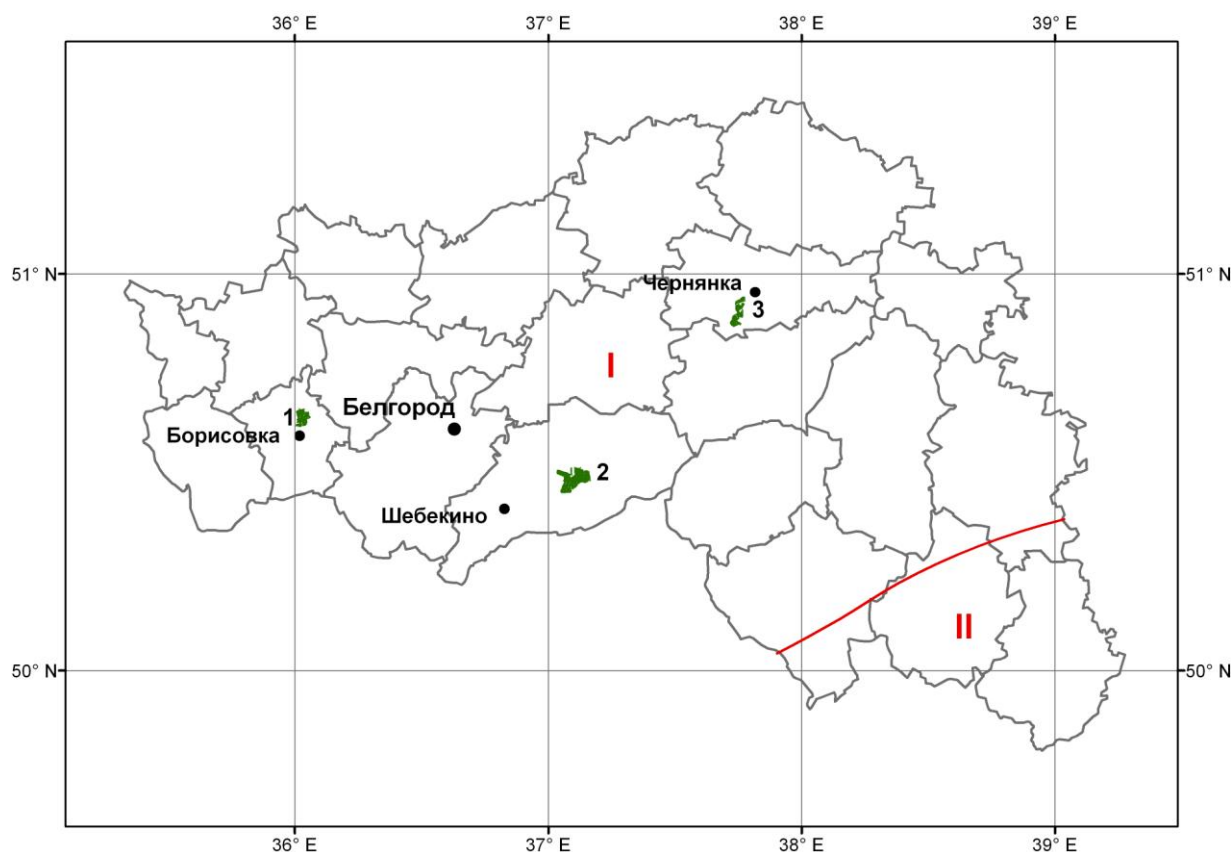


Рис. 2. Расположение объектов исследования на территории Белгородской области. 1- Борисовский участок, 2-Шебекинский участок, 3-Чернянский участок.

I-лесостепная зона, II-степная зона

Цель развертывания сети заключалась в получении совокупности значений возраста, высоты и диаметра лесных насаждений, а также их спектральных характеристик. Исследовательская сеть, развернутая в кварталах и выделах лесных массивов, состояла из круговых оценочных площадей диаметром 60 м, который соответствовал двукратному пространственному разрешению снимка. По причине трудоемкости выполнения процесса создания сети, в геоинформационной системе ArcGIS был разработан алгоритм, позволивший развернуть сеть автоматически. Оценочные площади располагались в лесотаксационных выделах, выбранных на основании группы критериев.

1. Тип условий местности или тип лесорастительных условий по классификации Алексеева-Погребняка (Колесниченко, 1981) – дубрава свежая, индексное обозначение в классификации – Д₂.

2. Основной элемент породного состава лесного насаждения (основная лесообразующая порода) – дуб нагорный высокоствольный (ДНВ) – являющийся наиболее распространенной древесной породой на территории Белгородской области (Природные ресурсы, 2007).

3. Минимальная площадь анализируемого выдела (2 га) – была выбрана, исходя из пространственного разрешения используемых снимков для достоверного извлечения из них спектральных характеристик.

В одном выделе располагалось не более одной оценочной площади. Рассчитанные на каждой площади спектральные индексы и зональные коэффициенты отражения вместе с соответствующими таксационными характеристиками насаждений, позволили создать репрезентативную выборку значений спектральных показателей и таксационных признаков. Анализируемая выборка со всех участков (492 оценочные площади) включала, таким образом, данные о таксационных характеристиках насаждений и соответствующих им спектральных показателях.

Блок статистического анализа включал проведение корреляционного и дисперсионного анализов, позволяющих выявить наиболее информативные спектральные показатели для оценки возраста, высоты или диаметра лесного насаждения. Под информативностью подразумевается теснота связи между таксационными характеристиками насаждений и конкретным спектральным показателем – индексом или диапазоном. С точки зрения дисперсионного анализа наиболее информативным является диапазон или индекс, характеризующийся максимально различными значениями для разных классов возраста, высот и диаметров. Степень различий оценивается величиной отношения F-критерия к табличному значению на определенном уровне значимости (0,05). Чем выше значение F-критерия, тем существеннее различия между значениями спектральных показателей, соответствующих разным величинам таксационных характеристик. С позиций корреляционного анализа наиболее информативным спектральным показателем является спектральный диапазон или индекс, характеризующийся максимальными (по модулю) коэффициентами линейной корреляции с таксационными характеристиками лесного насаждения. Все коэффициенты корреляции также оценивали на уровне значимости 0,05.

По результатам обоих видов анализа, проведенных по суммарной совокупности данных со всех полигонов, установлен наиболее информативный спектральный диапазон снимков Landsat TM – 5-й средний инфракрасный – Band 5 (1,55–1,75 мкм). Его коэффициенты корреляции с возрастом, высотой и диаметром насаждения равны соответственно -0,72, -0,82 и -0,71. Наиболее информативными спектральными индексами являются КТ1 (1-я компонента спектральных преобразований Каута-Томаса) и РС2 – вторая главная компонента снимка. По результатам дисперсионного анализа выяснено, что эти же показатели характеризуются наибольшими значениями F-критерия (на уровне значимости 0,05). Перечисленные индексы целесообразно использовать при исследовании количественных связей между таксационными характеристиками лесного насаждения и его спектральными отражательными свойствами.

3. Результаты анализа количественных связей между таксационными показателями лесных насаждений и их спектральными отражательными свойствами.

Поиск и обоснование количественных связей между таксационными и биофизическими показателями насаждений (возрастом, высотой, диаметром, биомассой и др.) и их спектральными отражательными свойствами – одна из ключевых задач оценки и мониторинга лесных земель, исследования которой

активно развиваются в настоящее время (Lutz, 2008). Исследования В.И.Сухих, Н.Г.Харина, В.В. Козодерова, S. Franklin, М.А. Wulder, D. J. King, G.M. Foody, D. Lu и других ученых показали необходимость и перспективность анализа характеристик насаждений по их спектральным отражательным свойствам. Особенностью данного вида исследований является эмпирический характер установленных зависимостей и значительное влияние региональных свойств насаждений на форму рассчитываемых уравнений (Kajisa, 2009). В плане мониторинга лесных земель актуальность приобретает разработка уравнений, позволяющих прогнозировать характеристики насаждений по космическим снимкам. Высокие стабильные коэффициенты корреляции, полученные при обработке данных, собранных на всех исследовательских полигонах, позволили предположить наличие достоверных количественных связей между возрастом, высотой и диаметром насаждений и группой их спектральных показателей. Это являлось основной предпосылкой для успешного проведения регрессионного анализа и установления предполагаемых закономерностей. Выполненный предварительный анализ, направленный на оценку линейности корреляции, показал, что связи между возрастом, высотой, диаметром насаждения и наиболее информативными спектральными показателями (Band 5, КТ1, РС2) носят линейный характер (по показателю коэффициента линейности). Причем линейная зависимость имеет обратный характер. Обозначенная предпосылка характерна для насаждений, наиболее типичных для Белгородской области, в которых дуб преобладает в качестве основной породы.

Результаты регрессионного анализа с использованием одной независимой переменной (табл. 1), в качестве которой применили 5-й канал снимка и индексы КТ1 и РС2 (как наиболее информативные), показали, что коэффициенты отражения 5-го канала снимка и индекса КТ1 наиболее полно описывают связь с таксационными характеристиками лесного насаждения.

Таблица 1

Уравнения связи спектральных диапазонов/индексов с характеристиками лесного насаждения

Таксационный показатель	Анализируемый диапазон	Спектральный индекс/диапазон	Уравнение связи
Возраст (А), годы	5-120	Band 5	$A = 227,9 - 1373,5 \times \text{Band 5}$
		КТ1	$A = 7963,7 - 741,5 \times \text{КТ1}$
		РС2	$A = 182,8 - 429,9 \times \text{РС2}$
Высота (Н), м	2-27	Band 5	$H = 70,8 - 417,7 \times \text{Band 5}$
		КТ1	$H = 2236,7 - 208 \times \text{КТ1}$
		РС2	$H = 55 - 123,5 \times \text{РС2}$
Диаметр (D), см	2-56	Band 5	$D = 93,5 - 562 \times \text{Band 5}$
		КТ1	$D = 3166,6 - 294,76 \times \text{КТ1}$
		РС2	$D = 73,7 - 171,1 \times \text{РС2}$

Примечание: Band 5 – 5-й, средний инфракрасный канал снимка Landsat, КТ1 – первая компонента спектральных преобразований Каута-Томаса, РС2 – вторая главная компонента спутникового изображения Landsat.

В пошаговом регрессионном анализе принимали участие также спектральные индексы, теснота связи которых с параметрами насаждений несколько ни-

же, чем показателей Band 5, KT1 и PC2. Это индексы GEMI, KT2, RDVI, NLI, TM53 (табл. 2). Сопоставлением линейных уравнений связи, использующих один и несколько спектральных показателей, установили, что точность прогнозирования таксационных характеристик по уравнениям, применяющих группу показателей не выше, чем точность их предсказания по уравнениям с одной независимой переменной.

Таблица 2

Уравнения связи между таксационными характеристиками насаждения и его спектральными показателями, построенные по нескольким независимым переменным

Таксационный показатель	Анализируемый диапазон	Независимые переменные	Уравнение связи
Возраст (А), годы	5-120	KT1, GEMI, PC2, KT2	$A=21158,4-2101,8 \times KT1+1085,7 \times GEMI+131 \times PC2-770,7 \times KT2$
Высота (Н), м	2-27	KT1, GEMI, KT2, PC2, RDVI, NLI, TM53	$H=10853,81-1184,88 \times KT1+870,59 \times GEMI-1232,74 \times KT2+42 \times PC2+1053,82 \times RDVI-268,63 \times NLI+292,69 \times ND53-34 \times TM53$
Диаметр (D), см	2-56	KT1, GEMI, KT2, PC2, RDVI, NLI, TM53	$D=17000-1869,63 \times KT1+1485,26 \times GEMI-2020,2 \times KT2+55,2 \times PC2+1629,6 \times RDVI-455,6 \times NLI+165,4 \times ND53$

Примечание: Band 5 – 5-й, средний инфракрасный канал снимка Landsat, KT1 – первая компонента спектральных преобразований Каута-Томаса, PC2 – вторая компонента спутникового изображения. GEMI – глобальный индекс состояния среды, KT2 – вторая компонента спектральных преобразований Каута-Томаса, RDVI, NLI – нормализованные вегетационные индексы, TM53 – зональное отношение 5-го и 3-го каналов Landsat.

Кроме того, прогнозные уравнения, использующие группу спектральных показателей, обладают существенным недостатком – предсказанные по ним значения возраста, высоты и диаметра насаждений могут выходить за рамки реально допустимых значений, что не присуще уравнениям с одной независимой переменной при указанном диапазоне значений. Таким образом, при сопоставлении уравнений с одной и несколькими независимыми переменными, пришли к выводу, что уравнения с одним спектральным показателем более эффективны для оценки основных таксационных характеристик. В качестве таких показателей следует применять 5-й средний инфракрасный (1,55–1,75 мкм) канал Landsat, либо спектральный индекс KT1 (первая компонента спектральных преобразований Каута-Томаса), которые являются наиболее информативными для прогнозных оценок возраста, высоты и диаметра лесного насаждения. Применение полученных уравнений связи для прогноза возраста, высоты и диаметра насаждений позволило создать картограммы перечисленных лесотаксационных показателей на исследовательские полигоны, аналогичные картограмме возраста на рис. 3., которая построена по значениям индекса KT1 для Шебекинского участка.



Рис. 3. Прогнозная картограмма возраста лесного насаждения, построенная по значениям индекса КТ1 (Шебекинский участок). 1 – сеть оценочных точек, 2 – границы кварталов/выделов лесного массива

Аналогичные картограммы возраста, а также высоты и диаметра лесных насаждений подготовили для остальных (Борисовского и Чернянского) исследовательских участков. Картограммы выполнены по снимкам 1995 г. для сопоставления реальных значений возраста, высоты и диаметра с предсказанными по рассчитанным уравнениям. Сопоставление реальных и предсказанных значений показало, что наибольшим соответствием характеризуются средневозрастные насаждения (20-85 лет). Разница между реальными и предсказанными значениями составляет от 0 до 10 лет. Значительно большим расхождением характеризуются очень молодые насаждения (до 20 лет) и переспелые (свыше 80 лет) древостои, для которых ошибка предсказания достигает 15-17 лет. Высота и диаметр насаждений старше 20 и моложе 85-90 лет также предсказываются значительно точнее, чем для молодняков и переспелых древостоев. Таким образом, впервые для лесных земель Белгородской области и Центрального Черноземья проведена количественная оценка таксационных характеристик насаждений по их спектральным отражательным свойствам. Предложенный подход, основанный на предварительном выявлении информативных спектральных показателей и последующем расчете прогнозных уравнений, доказал свою эффективность и может быть применен для картографирования основных лесотаксационных характеристик дубовых насаждений с возрастом до 85 лет, что имеет важное значение для мониторинга и оценки лесных земель.

4. Результаты картографирования лесопокрытых земель Белгородской области по материалам космической съемки со спутников Landsat TM, ETM+.

Оперативное проведение регионального мониторинга лесного фонда и информационной поддержки лесного кадастра, подразумевающих применение ДДЗ и ГИС-технологий, невозможно без использования электронной карты лесопокрытых земель. Она необходима для картографирования многолетних изменений площадей и состояния лесных земель. Для осуществления мониторинга лесных земель на региональном уровне детальность карты должна соответствовать точности топографических карт масштаба 1:50000. Исходные спутниковые данные, по которым создается карта, должны удовлетворять ряду требований: пространственное разрешение снимков должно позволять дешифровать лесные массивы в соответствующем масштабе, снимки должны полностью покрывать территорию исследования (Белгородской области), спутниковые данные должны быть сделаны в ближайшие годы, чтобы достоверно отражать текущую ситуацию.

Выполнить подборку снимков с одного сенсора, одновременно удовлетворяющую всем перечисленным требованиям, затруднительно. Поэтому применяли комбинацию снимков со спутников Landsat 5 TM и Landsat 7 ETM+. Был создан блок информации, включающий два набора снимков на территорию Белгородской области. 1-й набор включал покрытие области снимками Landsat ETM+, сделанными в августе 2002 г., 2-й – покрытие из снимков Landsat TM, полученных в июне 2009 г. Преимущество совместного применения данных TM, ETM+ для создания и обновления карт заключается в том, что схемы пролетов спутников Landsat 5 и Landsat 7, на которых расположены эти сенсоры, идентичны, а снимки во многом близки друг другу по характеристикам. Таким образом, набор сцен Landsat 5TM по расположению снимков полностью соответствует набору данных ETM+. Набор снимков Landsat ETM+ состоял из четырех спутников сцен, полностью покрывающих территорию Белгородской области (зоны 178025, 177025, 176025 и 177024 мировой разграфки сцен Landsat). Снимки Landsat ETM+ в панхроматическом режиме удовлетворяют требованию пространственного разрешения. Также снимки ETM+ позволяют создать полное покрытие территории Белгородской области. Однако отсутствие полноценных снимков ETM+ на текущее время, связанное с поломкой сенсора в 2003 г., создает проблему обновления данных. Для их актуализации выполнена подборка данных TM, которые не дают возможность картографировать лесопокрытые земли в масштабе 1: 50 000 из-за ограничений в пространственном разрешении (30 м/пиксель), но позволяют обновлять информацию, полученную по данным ETM+.

Для создания карты, достоверно, отражающей расположение лесопокрытых земель в границах административного субъекта (в нашем случае – Белгородской области), необходимо наличие его векторной границы, полностью совпадающей с границей субъекта на космических снимках. Создание необходимой границы было выполнено путем сопоставления космических снимков

Landsat с топографическими картами. Электронная карта лесопокрытых земель в границах Белгородской области (рис. 4) выполнена путем визуального дешифрирования снимков Landsat ETM+ и обновлена по данным Landsat TM.

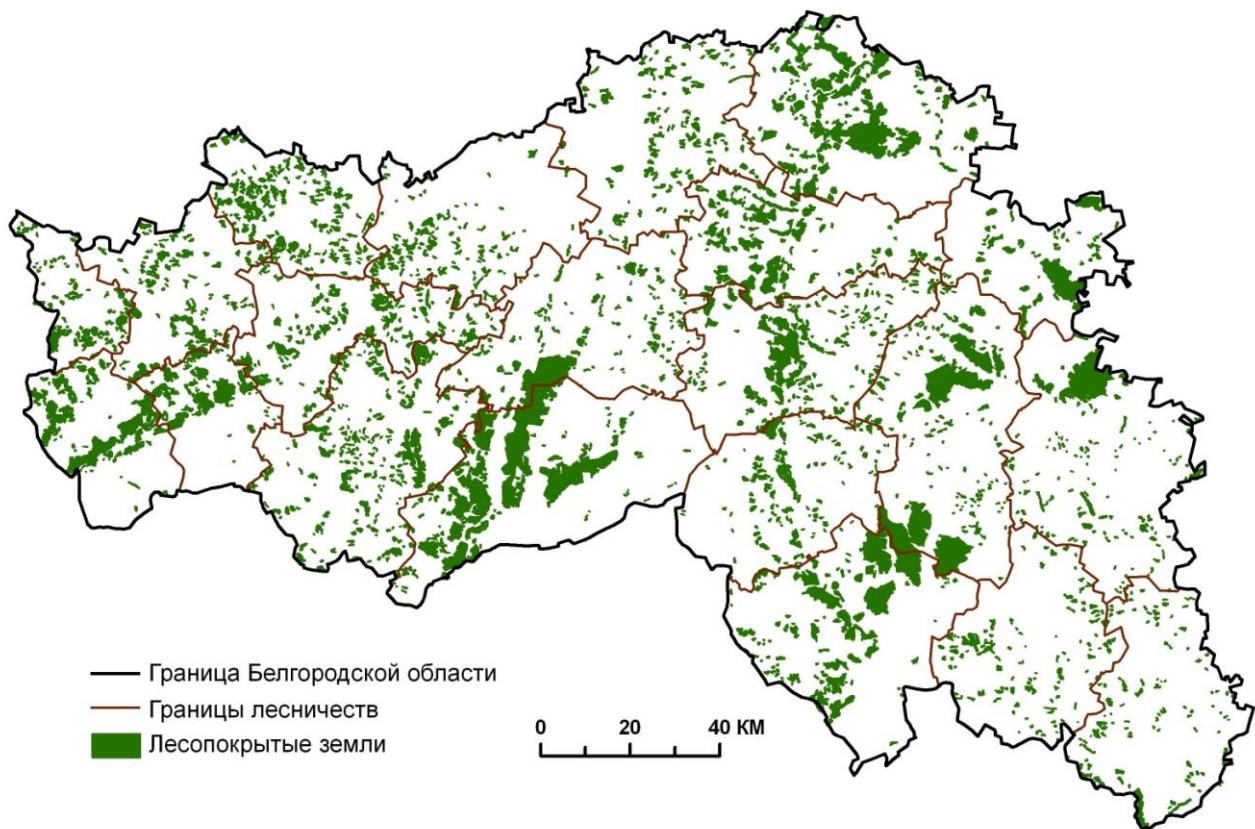


Рис. 4. Карта лесопокрытых земель Белгородской области с границами лесничеств, созданная путем дешифрирования ДДЗ

В результате была получена электронная карта лесопокрытых земель Белгородской области по состоянию на июнь 2009 года. Наборы космических снимков, векторная граница Белгородской области и векторная карта границ лесничеств Белгородской области были интегрированы в геоинформационной системе ArcGIS. Включение в полученную базу данных новых снимков позволит проводить актуализацию в изменениях площадей и состояния лесных земель. Электронная карта позволила провести оценку лесопокрытых земель в границах Белгородской области, а также в границах ее лесничеств. Созданная карта может выступать основой для мониторинга лесных земель и эффективного управления лесного фонда области. Преимущество карты заключается также в ее достоверности, обеспеченной использованием космических снимков высокого разрешения в качестве источника получения и обновления данных.

5. Обоснование возможности детектирования качественных многолетних изменений, происходящих в лесных землях, по материалам дистанционного зондирования Земли с применением спектральных индексов.

Выполнение детектирования качественных изменений в лесах, связанных с дефолиацией, усыханием и исчезновением лесных массивов, требует исследования динамики спектральных характеристик насаждений. Результаты работ

многих ученых (Franklin, 2005; King, 2005; Karia, 2006; Virk, 2006; Jupiter, 2008) доказывают возможность использования спектральных отражательных свойств лесных насаждений для выявления происходящих в них изменений. Установлен ряд спектральных показателей, информативных для оценки многолетних изменений, происходящих в лесах. Среди них наибольшей чувствительностью обладает индекс EWDI (усовершенствованный влажностный индекс). Он основан на спектральных преобразованиях Каута-Томаса, адаптированных для снимков Landsat TM (Crist, 1984; Franklin, 2005) в ходе которых исходный снимок трансформируется в изображения 3-х зон (компонент), которые условно называют «яркость», «зеленость», «влажность». Безразмерный индекс EWDI вычисляют по влажностной компоненте. Его рассчитывают как ее разность за отдельные годы.

Для детектирования экологических изменений в лесах выполнили параллельные оценки методом визуального дешифрирования многозональных космических снимков (Landsat) и значений индекса EWDI. В качестве объекта исследования был выбран Старооскольско-Губкинский промышленный район, расположенный на территории соответствующих административных районов Белгородской области. Объект исследования был подобран на основании характерной для него повышенной антропогенной нагрузки, обусловленной воздействием на окружающую среду предприятий горнопромышленного комплекса. Соответственно, леса, расположенные на этой территории, претерпевают значительные изменения, связанные с антропогенным воздействием. Чтобы охватить наибольший размах произошедших изменений подборку снимков выполнили за максимально удаленные друг от друга даты. При этом снимки отвечали ряду установленных требований: 1) изображения должны быть получены в один вегетационный период в сроки, максимально близкие друг к другу; 2) на снимках должна отсутствовать облачность и спектральный шум, связанный с ошибками работы сканера; 3) желательно, чтобы снимки были получены с одного сенсора, например, Landsat TM; 4) пространственное и радиометрическое разрешение снимков должно позволять получать из них необходимую спектральную информацию о лесных массивах. Снимки Landsat, выбранные на основе перечисленных критериев, были получены 13 и 28 июня 1986 и 2009 гг.

Главная часть исследования состояла в оценке возможности детектирования изменений в экологическом состоянии сосновых и лиственных лесов. Индекс EWDI применяли непосредственно для этой цели. Оценку изменений производили в границах лесов за 1986 г. Методика оценки включала следующие этапы.

1. Создание по снимкам отдельных векторных карт сосновых и лиственных лесов.
2. Расчет картограммы индекса EWDI по спутниковым данным 1986 и 2009 гг.
3. Извлечение средних значений индекса для каждого лесного массива, соснового или лиственного леса.

4. Сопоставление полученных значений с результатами визуального дешифрирования экологического состояния лесов, которое заключалось в оценке сомкнутости, дефолиации или исчезновении лесного массива.

Первоначально были проанализированы изменения в сосновых массивах. Выявление связи между значениями EWDI лесного массива и его экологическим состоянием было выполнено путем сопоставления значений индекса с результатами дешифрирования сосновых насаждений. Установленная искомая связь заключалась в следующем: между значениями индекса и экологическим состоянием насаждений существует обратная зависимость: увеличение значений индекса соответствует ухудшению состояния, уменьшение – улучшению. Значения индекса в диапазоне 34-145 указывают на очень значительное ухудшение состояния, либо исчезновение лесного массива. Соотношение между значениями EWDI и состоянием сосновых насаждений характеризует степень изменения экологического состояния сосновых лесов, произрастающих в районе горнодобывающих предприятий Курской магнитной аномалии (КМА): -35 – -17 (улучшение); -16,9 – 17 (существенных изменений нет); 17,1 – 34 (ухудшение); 34,1 – 145 (значительное ухудшение).

Картограмма индекса (рис. 5) показала, что существенных изменений в состоянии сосновых лесов, расположенных в непосредственной близости от Старого Оскола, не произошло.

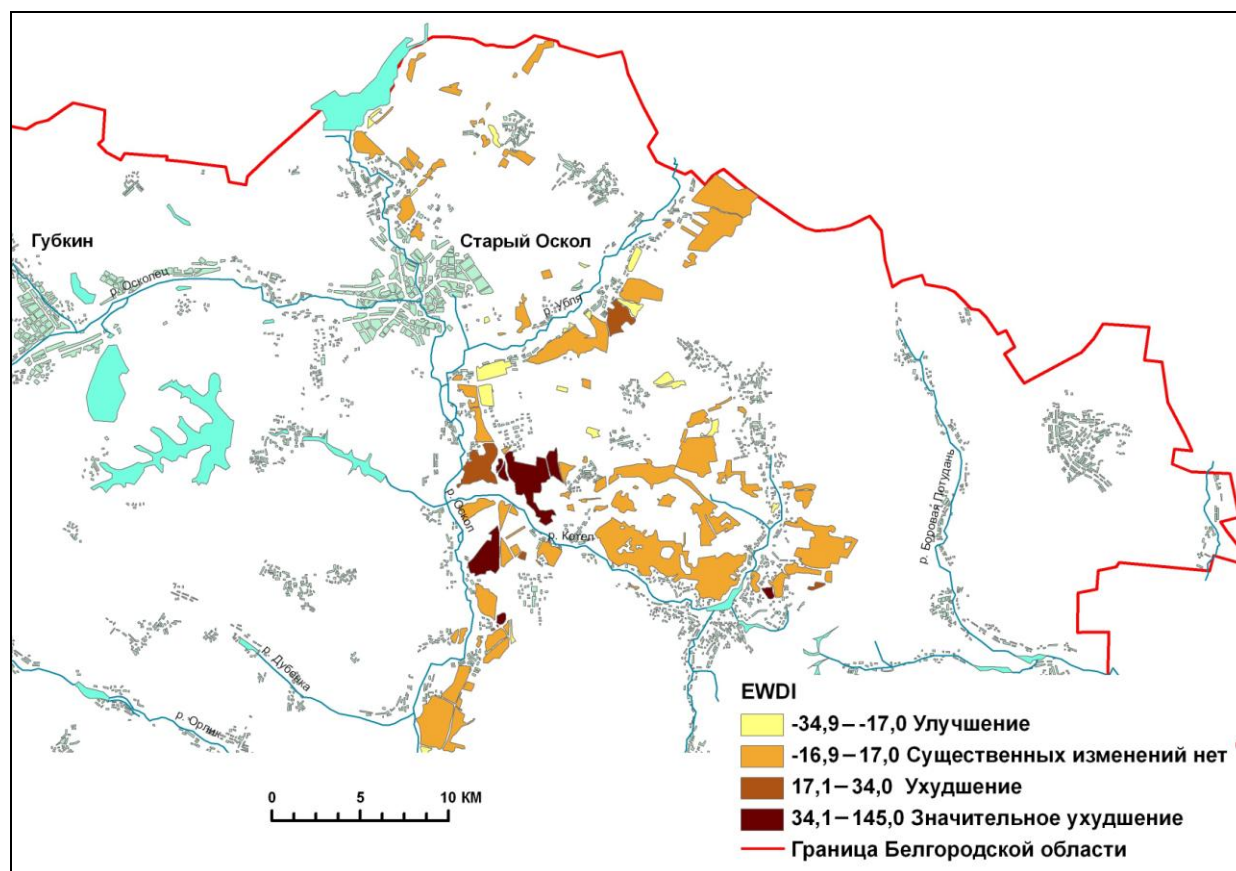


Рис. 5. Изменения в состоянии сосновых лесов Старооскольско-Губкинского промышленного района, оцененные по значениям индекса EWDI

В то же время значительные изменения произошли в насаждениях, прилегающих к Оскольскому электрометаллургическому комбинату (ОЭМК), что позволяет сделать вывод о том, что он оказывает значительно большее отрицательное влияние на сосновые насаждения, чем промышленный центр. Зона негативного воздействия электрометаллургического комбината простирается на расстояние до 11 км.

Анализ значений индекса, выполненный для лиственных насаждений по схеме, аналогичной исследованию сосновых лесов, не выявил закономерностей изменения значений EWDI от состояния насаждений. На наш взгляд, отсутствие связи обусловлено не низкой чувствительностью индекса к динамике состояния лиственных лесов, а несущественным изменением состояния лиственных насаждений, которые по своей природе более устойчивы к негативному воздействию окружающей среды, чем сосновые леса. Таким образом, оценка возможности детектирования многолетних изменений в состоянии лесных земель позволила установить, что спектральный индекс EWDI можно успешно использовать для анализа изменений экологического состояния сосновых лесов, находящихся в зоне повышенной антропогенной нагрузки, а также выявить зоны негативного воздействия на сосновые леса предприятий черной металлургии. Значения индекса находятся в обратной зависимости от степени изменения экологического состояния сосновых насаждений.

Заключение.

Полученные в ходе исследования результаты позволили сформулировать следующие основные **выводы**:

1. Анализ природно-хозяйственных условий Белгородской области и состояния ее лесного фонда выявил необходимость внедрения материалов и методов дистанционного зондирования Земли в систему оперативного мониторинга лесных земель региона.

2. Разработанный способ интеграции данных многозональной космической съемки, материалов лесотаксационных обследований и ГИС-технологий позволил выявить и обосновать наиболее информативные спектральные показатели для оценки таксационных признаков лесных насаждений, что имеет большое значение для целей кадастровой оценки и мониторинга лесных земель Белгородской области.

3. Наиболее информативными спектральными показателями насаждений для оценки возраста, высоты и диаметра лесных массивов, где преобладает дуб черешчатый в качестве основной лесообразующей породы, являются 5-й (средний инфракрасный) диапазон Landsat TM, индексы KT1 (1-я компонента спектральных преобразований Каута-Томаса) и PC2 (2-я главная компонента спутникового изображения).

4. Коэффициенты отражения каналов Landsat TM и большинство значений спектральных индексов находятся в обратной зависимости от возраста, высоты и диаметра лесных (дубовых) насаждений.

5. Для прогнозных оценок возраста, высоты и диаметра насаждений целесообразно использовать уравнения с одним спектральным показателем в каче-

стве независимой переменной. Применение полученных уравнений для определения возраста, высоты и диаметра насаждений позволило выполнить предварительные оценки перечисленных таксационных характеристик.

6. Путем использования комбинации космических снимков Landsat TM, ETM+ создана электронная карта лесопокрытых земель Белгородской области в масштабе 1:50 000, которая рассматривается в качестве опорного элемента для организации перспективного мониторинга лесных земель на новой технологической основе. Карта лесопокрытых земель имеет большое значение для геоинформационного анализа экологического каркаса Белгородской области и оценки пространственного размещения лесных экосистем.

7. Анализ значений спектрального индекса EWDI сосновых насаждений, расположенных в зонах повышенной антропогенной нагрузки, позволил выявить и оценить степень многолетних изменений, произошедших в их экологическом состоянии. Установленная связь между значениями индекса и изменениями, произошедшими в лесах, позволила проследить географические особенности размещения сосновых массивов с различной степенью динамики их состояния.

8. Применение аэрокосмических методов для мониторинга состояния лесных земель Белгородской области позволило повысить эффективность оценки таксационных характеристик насаждений и выявления многолетних изменений в сосновых лесах.

По материалам диссертации опубликованы следующие работы:

1. Терехин, Э.А. Анализ текстурных признаков земельных угодий по космическим снимкам landsat TM / Э.А. Терехин // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. – 2010. №8. – С. 47-52. *

2. Терехин, Э.А. Исследование связи между спектральными отражательными свойствами лесных насаждений Белгородской области и их лесотаксационными параметрами / Э.А. Терехин // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: естественные науки. – 2010. – №21(92). Вып. 13. С. 157-167.*

3. Терехин, Э.А. Мониторинг состояния лесных насаждений различного назначения с помощью данных дистанционного зондирования / Терехин Э.А. // Материалы Международной конференции студентов и аспирантов. – Белгород: БелГСХА, 2009. – С. 14.

4. Терехин, Э.А. Исследование защищенности сельскохозяйственных угодий лесными полосами по материалам дистанционного зондирования Земли / Э.А. Терехин // Материалы 12-й Международной научно-производственной конференции. Белгород: БелГСХА. – 2009. – С. 362.

5. Чепелев, О.А. Ретроспективный анализ состояния лесных массивов в Старооскольско-Губкинском промышленном районе по материалам космосъемки / О.А. Чепелев, О.М. Ломиворотова, Э.А. Терехин // Экология Центрально-Черноземной области Российской Федерации. – 2009. – № 2. – С. 36-39.

6. Польшина, М.А. Реализация ландшафтного подхода в лесоустройстве средствами технологий дистанционного зондирования Земли / М.А. Польшина, Э.А. Терехин // Дистанционное зондирование Земли из космоса: применение данных и технологий в образовании, науке и народном хозяйстве. – Барнаул: Алтайский госуниверситет, 2010. – С. 9-13.

7. Терехин, Э.А. Оценка влияния возраста древостоев на их спектральную отражательную способность (на примере дубрав Белгородской области) / Э.А.Терехин, А.П. Семенюк // Материалы Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых конференции Регион-2010. Стратегия оптимального развития. – Харьков: ХНУ, 2010.– С. 111–114.

8. Терехин, Э.А. Анализ зависимости спектральных индексов лесной растительности от возраста древостоев / Э.А.Терехин // Географические исследования: история, современность и перспективы: сб. статей по Материалам международной науч – практич. конф. – Курск: КГУ, 2010.– С. 107-111.

9. Терехин, Э.А. Изменение спектральных свойств дубовых насаждений в зависимости от их возраста и высоты / Э.А.Терехин // Географические проблемы сбалансированного развития староосвоенных регионов: материалы 2-й Международной научно-практической конференции. – Брянск: Изд-во «Курсив», 2010. – С.46-49.

10. Терехин, Э.А. Оценка взаимосвязи между спектральными индексами и биофизическими параметрами древостоев (на примере лесного массива «Лес на Ворскле») // ИнтерКарто-ИнтерГИС – 16. Устойчивое развитие территорий: теория ГИС и практический опыт: материалы Международной научной конференции. – Ростов-на-Дону: Изд-во ЮНЦ РАН, 2010. – С. 558-560.

**Статьи, опубликованные в изданиях, включенных в перечень ВАК России*

Получены следующие охранные документы на объекты интеллектуальной собственности:

1. База данных индикаторов состояния земельных, водных ресурсов и климатических параметров / Правообладатель: Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Белгородский государственный университет», авторы: В.И. Соловьев, П.А. Украинский, Э.А. Терехин. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2010620071. Заявка № 2009620598 дата поступления 1 декабря 2009 г. Зарегистрировано в Реестре баз данных 29 января 2010 г.

2. Программа мониторинга входных индикаторов, используемых в динамических глобальных моделях растительности (DGVMs) / Правообладатель: Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Белгородский государственный университет», авторы: В.И. Соловьев, П.А. Украинский, Э.А. Терехин. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2010610926, Заявка № 2009616889 дата поступления 2 декабря 2009 г. Зарегистрировано в Реестре баз данных 29 января 2010 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ

- Глава 1 СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ЛЕСНЫХ ЗЕМЕЛЬ АЭРОКОСМИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ. АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ НАПРАВЛЕНИЙ КОСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ЛЕСОВ
- 1.1 Современное развитие систем дистанционного зондирования Земли и их оценка для задач мониторинга лесных земель
 - 1.2 Особенности получения информации о параметрах и состоянии лесных экосистем по аэрокосмическим данным дистанционного зондирования
 - 1.3 Анализ уровня современных технологий аэрокосмического исследования лесов
- Глава 2 АНАЛИЗ ПРИРОДНО-ХОЗЯЙСТВЕННЫХ УСЛОВИЙ БЕЛГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ И ОБОСНОВАНИЕ НЕОБХОДИМОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ЛЕСНЫХ ЗЕМЕЛЬ ЕЕ ТЕРРИТОРИИ
- 2.1 Природные особенности территории Белгородской области
 - 2.2 Физико-географическое районирование Белгородской области
 - 2.3 Характеристика состояния и использования лесного фонда Белгородской области, задачи его мониторинга
- Глава 3 ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ И ДИНАМИКИ ЛЕСНЫХ ЗЕМЕЛЬ ПО МАТЕРИАЛАМ КОСМИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ
- 3.1 Схема оценки влияния параметров лесного насаждения на его спектральные отражательные свойства
 - 3.2 Атмосферная и радиометрическая коррекции спутниковых изображений
 - 3.3 Анализ информативности спектральных диапазонов и индексов для определения таксационных характеристик лесных насаждений
 - 3.4 Методика оценки связи между таксационными показателями насаждений и их спектральными отражательными свойствами
 - 3.5 Картографирование лесопокрытых земель Белгородской области по материалам космической съемки
 - 3.6 Технология детектирования изменений в лесах Белгородской области по данным съемки Landsat TM
- Глава 4 РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЛЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ ПО ИХ СПЕКТРАЛЬНЫМ ОТРАЖАТЕЛЬНЫМ СВОЙСТВАМ
- 4.1 Информативность спектральных показателей для оценки параметров лесного насаждения
 - 4.2 Оценка количественных связей между параметрами лесных насаждений и их спектральными отражательными свойствами
 - 4.3 Картографирование таксационных характеристик лесных насаждений по материалам космической съемки

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

ЛИТЕРАТУРА