

На правах рукописи

Ердяков Сергей Васильевич

**ДИСТАНЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ ТАЕЖНЫХ ЛЕСОВ С
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ ОБРАБОТКИ
ЦИФРОВЫХ И АРХИВНЫХ АНАЛОГОВЫХ АЭРО- И
КОСМИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ**

**06.03.02 – «Лесоведение, лесоводство,
лесоустройство и лесная таксация»**

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата сельскохозяйственных наук

Санкт-Петербург
2012

Работа выполнена в Санкт-Петербургском научно-исследовательском институте лесного хозяйства

Научный руководитель: Любимов Александр Владимирович,
доктор сельскохозяйственных наук, профессор

Официальные оппоненты: Тараканов Анатолий Михайлович,
доктор сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, ФБУ «Северный научно-исследовательский институт лесного хозяйства», заведующий лабораторией таёжных экосистем и биоразнообразия;

Коптев Сергей Викторович,
кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, ФГАОУ ВПО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова», доцент кафедры лесной таксации и лесоустройства

Ведущая организация: ФГБУН «Ботанический институт им. В.Л. Комарова»

Защита состоится 17 мая 2012 года в 15⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета Д 212.008.03 на базе ФГАОУ ВПО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова» по адресу: 163002, г. Архангельск, наб. Северной Двины, 17, главный корпус, 1220 ауд.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГАОУ ВПО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова».

Автореферат разослан « ____ » апреля 2012 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Клевцов Денис Николаевич

Общая характеристика диссертационного исследования.

Актуальность темы определяется необходимостью совершенствования технологии непрерывной многоуровневой инвентаризации лесов и дистанционной оценки их состояния в динамике и статике. Необходимо так преобразовать систему российского лесоустройства, чтобы она обеспечивала создание и непрерывное пополнение баз картографических и атрибутивных данных о лесах в реальном масштабе времени. Разработка такого рода технологий соответствует концепции развития российских регионов. Она позволяет решать задачи кадастровой оценки земель лесного фонда, определения экологического и ресурсного потенциала лесов, создания программно - методического обеспечения мониторинга лесов и их охраны.

Цель работы заключается в разработке рекомендаций по совместному использованию архивных, современных цифровых и многоспектральных изображений среднего, высокого и сверхвысокого разрешения для объективной и непрерывной оценки лесных ресурсов. В основу исследования положен ландшафтный метод дешифрирования материалов ДЗЗ, ГИС – анализ показателей спектральной яркости различных категорий земель лесного фонда, картографический метод анализа пространственно определенных объектов и математико - статистические методы анализа изучаемых геоданных.

Основные задачи исследования:

1. Анализ материалов ДЗЗ с оценкой их пригодности для определения таксационных и дешифровочных показателей лесов;
2. Изучение и практическая реализация ландшафтного районирования территории объекта инвентаризации и дистанционного мониторинга с созданием масок границ постоянных выделов, - участков, требующих одинаковых хозяйственных мероприятий;
3. Совершенствование автоматизированного дешифрирования таксационных показателей насаждений по цифровым и оцифрованным АКФС;
4. Обоснование рекомендаций по непрерывной инвентаризации и дистанционному мониторингу состояния земель лесного фонда;

Научная новизна. В результате исследования соискателем впервые были определены связи спектральной оптической яркости и плотности с геохимическими параметрами исследованного полигона, изучены связи между факторами среды и изображением насаждений на материалах дистанционного зондирования, разработаны методика и техника многоцелевого дешифрирования оцифрованных аналоговых и нефотографических цифровых АКФС с использованием ГИС-технологий. Для реализации цели исследования были проанализированы совокупности кривых спектральной яркости насаждений Лисинского аэрокосмического и ГИС-полигона, Тосненско-Гатчинско-Лужского ландшафтного полигона и доступные данные на земли лесного фонда Ленинградской области. Впервые

был разработан алгоритм дешифрирования формализованных показателей полого насаждений, построения индексных полей и тематических карт по материалам дистанционных съемок.

Положения, выносимые на защиту:

1. Результаты оценки пригодности цифровых и оцифрованных аналоговых АКФС для непрерывной инвентаризации лесов;
2. Методика и техника визуального, интерактивного и автоматизированного дешифрирования контуров и таксационных показателей насаждений по МДЗЗ - оцифрованным и цифровым цветным спектрально-зональным и многоспектральным аэроснимкам, а также космическим снимкам фотографического и нефотографического происхождения;
3. Коэффициенты и индексы для определения таксационных показателей насаждений и их полого по материалам ДЗЗ;
4. Структура геохимической компоненты базы атрибутивных данных изучаемого ландшафта;
5. Рекомендации по использованию материалов дистанционных съемок при всесезонной инвентаризации лесного фонда.

Практическая значимость работы. Полученные в процессе исследования результаты существенно дополняют базу знаний о закономерностях формирования изображений на материалах дистанционного зондирования и позволяют по-новому взглянуть на автоматизированное распознавание образов объектов ландшафтной оболочки Земли.

Результаты анализа информационной емкости материалов дистанционных съемок и особенностей формирования изображений на аналоговых (фотографических) и цифровых снимках пополняют базу фундаментальных знаний о распознавании образов и путях использования материалов дистанционного зондирования в лесном хозяйстве и охране природы. Рекомендации, разработанные в результате диссертационного исследования, могут быть использованы лесоустроительными предприятиями и проектными организациями для экологически безопасного лесопользования и контроля состояния окружающей среды на локальном и региональном уровне. Особое значение для практического использования имеют способы оценки воздействия промышленных выбросов на насаждения и состояние окружающей среды с учетом геохимической компоненты природных территориальных комплексов.

Личный вклад. Все этапы исследования выполнены под руководством и с личным участием автора. Автор принимал участие в сборе полевого материала. Постановка задач, пути их решения, классификация, обработка и анализ данных были выполнены лично автором. Представление результатов сделано с использованием математической статистики и ГИ технологий.

Обоснованность и достоверность результатов исследования подтверждаются высокой степенью совпадения результатов дешифрирования, данных пробных площадей, выделов уточненной таксации, ландшафтных профилей и таксационных описаний, сделанных при

инвентаризации лесов ЛУОЛХ и использованных в качестве контроля. Современные методы сбора и обработки информации и объем исходных данных были достаточными для обеспечения заданной точности результатов исследования.

Апробация и публикация результатов работы. Основные результаты исследования были опубликованы в 3 научных статьях и обсуждены на 6 научно-технических конференциях разного уровня. Все важнейшие вопросы исследования неоднократно обсуждались с ведущими специалистами в области лесной таксации, лесоустройства и ГИС.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 4 глав, выводов и практических рекомендаций. Объем работы составляет 196 страниц, в том числе: таблиц – 42, рисунков - 65. Библиографический список включает 179 наименований, в том числе 3 статьи, опубликованные автором в рекомендованных ВАК РФ реферируемых изданиях.

Глава 1. Состояние изученности проблемы

В главе *первой* сделан обзор и анализ методов инвентаризации лесов России. Особое внимание уделено выборочным и статистическим методам приведения лесов в известность и возможности использования их результатов для верификации данных, полученных дешифрированием МДЗЗ. Необходимость оценки обширных и труднодоступных территорий России привела к разработке методов эффективного использования материалов ДЗЗ. Если на первых этапах использование АКФС ограничивалось разрешением на местности, сложностью и субъективностью их обработки, то современные МДЗЗ технологичны и удовлетворяют самым высоким стандартам качества.

Накопленные за длительный период АКФС являются источником объективной информации о динамике земель лесного фонда. Главный их недостаток – жесткая основа и аналоговый принцип формирования изображений. Используемые для дешифрирования изображений методы визуальной оценки (эталонный и аналитический) являются субъективными, а неформализованные признаки объектов трудно поддаются алгоритмизации.

Анализ современных средств обработки географически определенных данных приводит к выводу о том, что ГИС-технологии в состоянии решить задачи совместного использования цифровых и аналоговых изображений для воссоздания траекторий развития лесонасаждений, оценки их современного состояния и прогноза динамики показателей насаждений на ближайшую и отдаленную перспективу.

Результаты работ предшественников позволили сформулировать последовательность совершенствования системы информационного обеспечения пользователей оперативной и достоверной информацией о лесах. В первую очередь – это организация дистанционного многоцелевого мониторинга с использованием ГИС. Система мониторинга обеспечивает актуализацию данных о лесном фонде и оценку состояния насаждений для ее последующей корреляции с состоянием окружающей среды. Дистанционный мониторинг предоставляет возможность количественно оценить изменения в

состоянии насаждений под воздействием естественных и техногенных факторов.

Глава 2. Объем и характеристика исходных материалов.

Программа и методика исследования.

Для реализации цели исследования были использованы следующие исходные материалы:

- Архивные и современные АКФС на обследуемые полигоны в виде контактных отпечатков, проекционной печати и негативов, а также записи изображений в растровых форматах для всего масштабного ряда (от 1:2500 до 1: 1500000 залетов 1946, 1954, 1955, 1965-66, 1980, 2004, 2009 гг. - всех сезонов года).
- Цифровая электронная топографическая карта Ленинградской области М 1:200000 и лесные карты объектов исследования М 1:25000, а также цифровые планшеты, использованные в качестве «наземной правды»;
- 124 постоянные пробные площади многоцелевого назначения и 68 эталонных выделов, заложенных в типичных насаждениях пропорционально их встречаемости и детально опознанные на МДЗЗ и основе;
- Результаты GPS – съемки границ опытных объектов и опорных точек;
- Данные о спектральной яркости эталонных объектов в зависимости от атмосферно-оптических условий, сезона года и фенологического состояния растительных сообществ.
- Материалы инвентаризаций лесов ЛУОЛХ с 1954 по 2005 гг.

Накопленные с 1954 г. архивные АФС, были оценены на пригодность для совместной обработки с современными цифровыми изображениями. При оценке АФС были учтены результаты научных и опытно - практических работ НИЧ Севзаплеспроект (В. И. Березин, В. И. Архипов, Е. П. Данюлис и др.).

Изучение признаков дешифрирования производилось на дешифровочных пробных площадях и типичных выделах. При стереоскопическом анализе на каждой пробе случайным методом отбиралось не менее 20 деревьев преобладающей и 5-10 деревьев сопутствующих пород. Каждая крона оценивалась по 8 признакам: цвет (49 значений), форма проекций крон (7), форма собственной тени (5), переход от освещенной к затененной части кроны (3), выпуклость кроны (4), форма падающей тени (5), размеры проекций крон (9) и структура кроны (3 значения). Методика и алгоритм анализа признаков разработаны лабораторией ДМ НИЧ ВО “Леспроект” [Архипов, Березин и др., 2005], ЛТА им. С. М. Кирова [Вавилов, Любимов, 2008] и ЛенНИИЛХ [Константинов, Березин, 2010].

Полученные показатели позволили оценить информативность используемых аэроснимков. Дешифрирование КФС производилось с использованием ландшафтных и морфологических признаков на 25 выделах с наземными данными, актуализированными к периоду съемки.

Коэффициенты состава преобладающей породы в смешанных ельниках определялись с высокими ошибками, но значение этого показателя является малозначимым. Преобладающая порода определялась с высокой достоверностью (70-80%). При дешифрировании КФС целесообразно определять только преобладающую и сопутствующую породы, без детализации.

Относительная полнота дешифрировалась с высокой точностью и постоянной отрицательной систематической ошибкой. Достоверность этого показателя позволила использовать его для определения запаса по участкам.

Достоверность дешифрирования основных таксационных показателей высокая: по преобладающим породам и группам возраста составила не менее 70%. Невысокая достоверность дешифрирования относительной полноты низкосомкнутых насаждений вызвана генерализацией изображения на КФС. Достоверно определялся этот показатель для среднеполнотных насаждений.

Полученные коэффициенты корреляции не высокие, но достоверные, так как $r / m_r > 4$, свидетельствуют о надежности результатов дешифрирования КФС. Корреляционная зависимость между данными дешифрирования КФС и АФС линейна, что подтверждает правомерность корреляционной оценки результатов дешифрирования КФС и их достоверность.

Наибольшие среднеквадратические ошибки дешифрирования характерны для запаса (от 14,1% до 16,7%), а наименьшие – для высоты яруса насаждений (от 4,7% до 7,4%).

В целом, при дешифрировании состава хвойных насаждений наблюдалось преуменьшение, а для сопутствующих пород – преувеличение коэффициентов состава. Незначительно занижались возраст, высота яруса, полнота и запас насаждений с преобладанием хвойных.

Если преобразовать контактные отпечатки или негативы в цифровые форматы изображений, то становится возможной их обработка средствами ГИС совместно с современными цифровыми МДЗЗ. Разрешение

сканирующих устройств позволяет избежать существенных потерь информации и сканированные АКФС могут использоваться совместно с цифровыми.

Глава 3. Основы классификации, дешифрирования и интерпретации многоспектральных и гиперспектральных материалов ДЗЗ

В *главе третьей* рассмотрены теоретические основы формирования материалов ДЗЗ и методика обработки синтезированных растровых изображений, включая этап создания тематических растрово - векторных карт.

Особенности архивных и современных МДЗЗ вызывают необходимость коррекции и унификации их показателей для совместной автоматизированной обработки средствами ГИ технологий. Процедура коррекции, унификации и калибровки архивных и современных изображений отработывалась на программно - вычислительных комплексах ERDAS_Imagine, Image_Processor, IDRISI и др.

Оценка качества изображений выявила необходимость коррекции таких показателей, как яркость, контрастность, насыщенность тонов и др. параметров, которые могут быть формализованы, градуированы, измерены и использованы для объективного дешифрирования изображений.

В работе сделан анализ таких факторов, определяющих яркость объектов, как индивидуальные особенности древесно-кустарниковой растительности, фенологическое состояние, освещенность и влияние «подложки».

Достоверность и точность дешифрирования таксационных показателей лесного фонда и фитоиндикации состояния насаждений зависят от фенологии лесных экосистем и их отдельных компонентов.

Изучению фенологического состояния лесов для повышения точности дешифрирования АФС всегда уделялось большое внимание [Самойлович (1948-1056); Булыгин (1953-1976); Дементьев (1951-1958); Лаборатория аэрометодов Мингео СССР (С. В. Белов) и мн. др.].

В результате обработки материалов, опубликованных предшественниками и личных наблюдений, сделан вывод о том, что в разные годы фазы фенологического состояния насаждений могут сдвигаться на 10—12 дней, однако общий ход кривых остается неизменным. Наибольшие цветовые и яркостные контрасты между породами наблюдаются во время осенней окраски лиственных. Весной контрасты меньше, но и они значительны. Летний период характеризуется наименьшими цветовыми и яркостными контрастами в видимой области спектра.

Зима – это идеальный период для контурного дешифрирования хвойных пород в смешанных насаждениях и, так называемых, «подпологовых» ельников в спелых и перестойных березняках и осинниках.

На космических снимках высокого разрешения различаются кроны отдельных деревьев и особенности их структуры. В таблице 1 приведены значения КСЯ здоровой хвои и листвы отдельных деревьев основных лесообразующих пород Лисинского АК полигона. Эти данные рекомендуются к использованию в качестве эталонов при оценке степени воздействия различных факторов на древостой. Показатель очень чувствителен к внешним воздействиям и полезен при экологическом мониторинге.

Таблица 1

КСЯ отдельных деревьев основных лесообразующих пород, определенных для различных МДЗ

Порода	Тип сенсора	Длина волны, нм				
		450	550	675	795	850
Сосна	SPOT 5	2	4	3.4	22	22
	LSTTM	3	4.6	3.6	22	22
	Ikonos	2.1	6	3.5	22	22
Береза	SPOT 5	1.8	4.9	2.5	37	38
	LSTTM	3	4.2	2.9	31	31
	Ikonos	2.2	5	3.5	35	36
Осина	SPOT 5	2.3	4	2.3	39	40
	LSTTM	2	5	2.3	35	36
	Ikonos	2.4	4.3	5.2	37	37
Ель	SPOT 5	1	3.3	2	12	14
	LSTTM	1.2	4.2	2.8	16	14

Вторым уровнем оценки СЯ растительных покровов является оценка яркости насаждений. Показатели спектральной яркости насаждений складываются из яркости полога (хвои и листвы, ветвей, сучьев и вершинок), частей стволов деревьев, а также деревьев второго яруса, подроста, подлеска, напочвенного покрова и обнажений почв. Лимитирует вклад перечисленных компонентов в суммарную яркость насаждения сомкнутость полога: чем она выше, тем меньше яркость насаждений зависит от яркости компонентов.

В данном исследовании приведены результаты измерений спектральной яркости чистых нормально сомкнутых насаждений, P_s которых варьировал в пределах 0.6 – 0.8.

Сезонные изменения коэффициентов спектральной яркости исследовались по результатам съемки чистых и смешанных насаждениях основных лесообразующих пород, болот и вырубок.

В таблице 2 приведены данные о коэффициентах спектральной яркости чистых ельников в экстремальные периоды их существования: середина зимы, начало весны и середина лета.

Таблица 2.

КСЯ чистых ельников в зимний и летний периоды

Полигоны	Длина волны, нм				
	450	550	650	750	850
Лисинский (январь-снег)	28	16	23	24	28

Гатчинский (март)	8	6	5	11	12
Лисинский (июнь)	1.3	4.5	3	18	20
Гатчинский (июль)	2.6	3.5	2.5	13	19

Причины резких различий спектральной яркости полога чистых ельников в разные сезоны года иллюстрируются на рисунке 2.

Снежный покров резко увеличивает количество отраженной радиации, что многократно повышает спектральную яркость объекта. С наступлением весны спектральная яркость подложки резко уменьшается, но различия между объектами ландшафтной оболочки Земли остаются, по-прежнему, велики.

Болота и вырубки – наиболее яркие объекты, резко выделяющиеся среди монотонных изображений покрытых лесом земель лесного фонда. Снежная подложка еще больше увеличивает их яркость во всех диапазонах ЭМС.

В летний период поверхности вырубок демонстрируют закономерности, присущие покрытым растительностью объектам: устойчивые минимумы отражения в зонах синих и красных лучей и максимумы - в зеленой и БИК зоне. Осенью, в период полного окрашивания лиственных пород вырубка характеризуется также высокими значениями КСЯ.

Изменчивость спектральной яркости зимнего ландшафта в зависимости от лесистости, величины проективного покрытия древесной растительностью территории и сомкнутости полога насаждений была исследована на примере снижения КСЯ снега на равнине ($S_{nn} = 0\%$), болота с соснами ($S_{nn} = 40\%$), лиственного (березово-осинового возобновления) насаждения ($S_{nn} = 60\%$) и хвойного насаждения (спелого сомкнутого ельника с $S = 90\%$).

Результаты измерений показывают, что древесная растительность уменьшает КСЯ заснеженного ландшафта во всем рассматриваемом диапазоне спектра. В то же время, наличие снега и инея на ветвях деревьев приводит к увеличению КСЯ хвойного леса в 1,5 - 2 раза и полностью нарушает процедуру автоматизированного дешифрирования снимков, вызывая ошибки опознавания и пропуск объектов.

Коэффициенты спектральной яркости ельника с высокой степенью сомкнутости полога ($S_m = 90\%$) и КСЯ кроны отдельного дерева ели в конце марта 2004 г. практически не отличаются в диапазоне 500 - 1200 нм.

Величины КСЯ нижних ярусов лесной растительности (травяно-кустарничкового покрова, мхов, лишайников и папоротников) были измерены в насаждениях с сомкнутостью полога, равной 0.3 – 0.4, а также в прогалинах и окнах. Полученные коэффициенты заметно ниже, чем у травянистой растительности открытых пространств. Однако полученные результаты являются вполне достоверными, т.к. уменьшение КСЯ связано с затенением кронами деревьев.

Контрастность природных эталонов. В зависимости от уровня генерализации, контрастность может формировать структуру и текстуру, т.е. рисунок изображения. В лесном дешифрировании все объекты являются текстурными, т.е. их поверхность не является оптически однородной (гладкой), а состоит из по-разному окрашенных участков. Электронные растры, состоящие из пикселей, обеспечивают возможность автоматизированного анализа их плотности при большом количестве сочетаний.

Использование коэффициентов оптической плотности (КОП) синтезированного растрового изображения и коэффициента спектральной оптической плотности (КСОП) монохроматического растрового изображения позволяет повысить достоверность дешифрирования [Любимов, 1999].

Коэффициент оптической плотности (КОП) вычисляется делением оптической плотности элемента изображения к оптической плотности эталона:

$$\text{КОП} = D_p/D_0;$$

где: D_p – оптическая плотность пикселя; D_0 – плотность эталона;

В качестве эталонов используется плотность объекта, имитирующего «абсолютно черное тело» (последняя (256-я) ступень оптической плотности) или «абсолютный отражатель» - первая ступенька матрицы. Величина элемента изображения (пикселя) в каждом случае может быть различной в зависимости от условий решаемой задачи.

При дешифрировании насаждений, максимальный размер пикселя должен приблизительно соответствовать среднему диаметру кроны преобладающего элемента леса. При использовании выборочных методов дешифрирования шаг измерений может быть кратным среднему диаметру крон.

Для решения задач, связанных с ландшафтными исследованиями, в качестве эталона можно использовать среднюю плотность ПТК высшего ранга. При анализе дешифровочного качества материалов ДЗЗ из космоса можно рекомендовать эталонную плотность отдельных сцен или снимков в целом.

Коэффициенты оптической плотности являются более доступными показателями, определить которые не составляет сложностей для любого изображения, сохраненного в растровом формате.

Не покрытые лесом земли являются наиболее контрастными на общем монотонном фоне насаждений. Вырубки, гари, заболоченные участки и дороги – все эти объекты уверенно опознаются на фоне насаждений.

Анализ материалов по КСП напочвенных покровов и почв показал, что они удовлетворительно согласуются с результатами измерений КСЯ однотипных объектов, полученными для этих же объектов по АКФС. Эти материалы могут быть использованы при дешифрировании земель лесного фонда.

Величины КСП крон отдельных деревьев (сосны, ели, березы и осины), измеренные по КФС, представлены на рис. 1.

Степень сомкнутости полога заметно влияет на КСП насаждений. Интегральные величины КСП растительных сообществ определяются отражательными свойствами не только растений, но и почв. Поэтому величина проективного покрытия территории кронами деревьев является одним из важнейших факторов, учитываемых в оптике ландшафта.

Согласно результатам данного исследования, значения КСП лесных культур и естественного возобновления на сплошных вырубках убывают по мере роста растений, увеличения их крон и проективного покрытия.

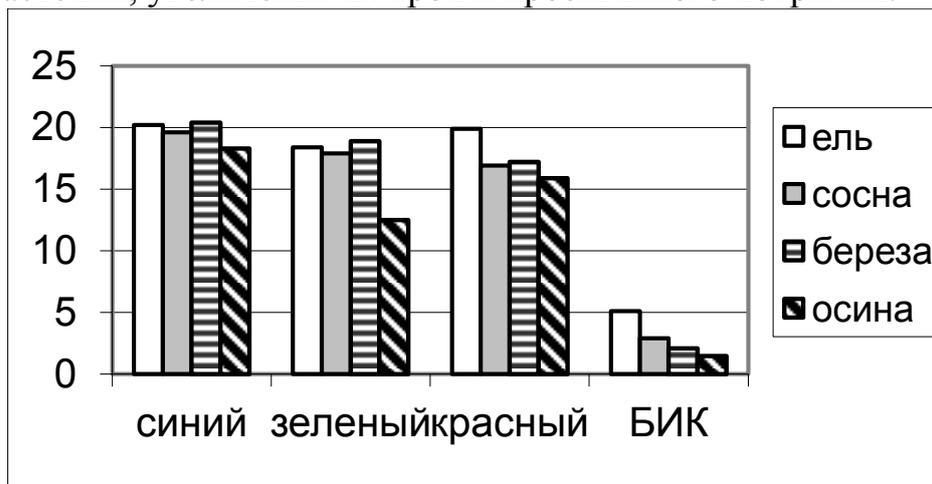


Рис. 1. КСП крон преобладающих пород Ленинградской области

За счет увеличения сомкнутости полога молодняков с 0.1 до 0.3, происходит возрастание КСП участков в два-три раза в эффективном видимом и БИК диапазонах ЭМС. Дальнейшее увеличение P_s не приводит к изменениям величин КСП объектов исследования.

КСП всех объектов, формирующих нижние ярусы, являются почти на порядок меньше хвойных пород, заметно меньше КСП полога березняков и сопоставимы с плотностью осинников.

Важнейшим преимуществом современных методов ДЗЗ является их доступность и всепогодный аспект сбора данных о лесах. Использование материалов зимних съемок предоставляет возможность повысить точность определения характеристик хвойных, которые на летних снимках маскируются более широкими кронами деревьев лиственных пород. Рисунки 2 и 3 иллюстрируют сезонную разницу в изображениях смешанных насаждений, отчетливо воспринимаемую визуально. Необходимо иметь в виду, что глаз человека распознает 7 – 9 ступеней оптической плотности, а оптический сканер – 256 и различия между землями лесного фонда при автоматизированном распознавании будут еще более достоверными.

Особенности зимней съемки насаждений требуют использования только тех снимков, которые были получены в отсутствие на ветвях снега и измороси. Современный уровень развития дистанционных съемок обеспечивает получение оптимальных изображений для идентификации объектов, маскируемых деревьями лиственных пород на летних снимках.

На летних снимках лиственные деревья сильно искажают состав смешанных насаждений, маскируя до 70% деревьев ели первого яруса и практически все деревья ели, входящие во второй ярус.

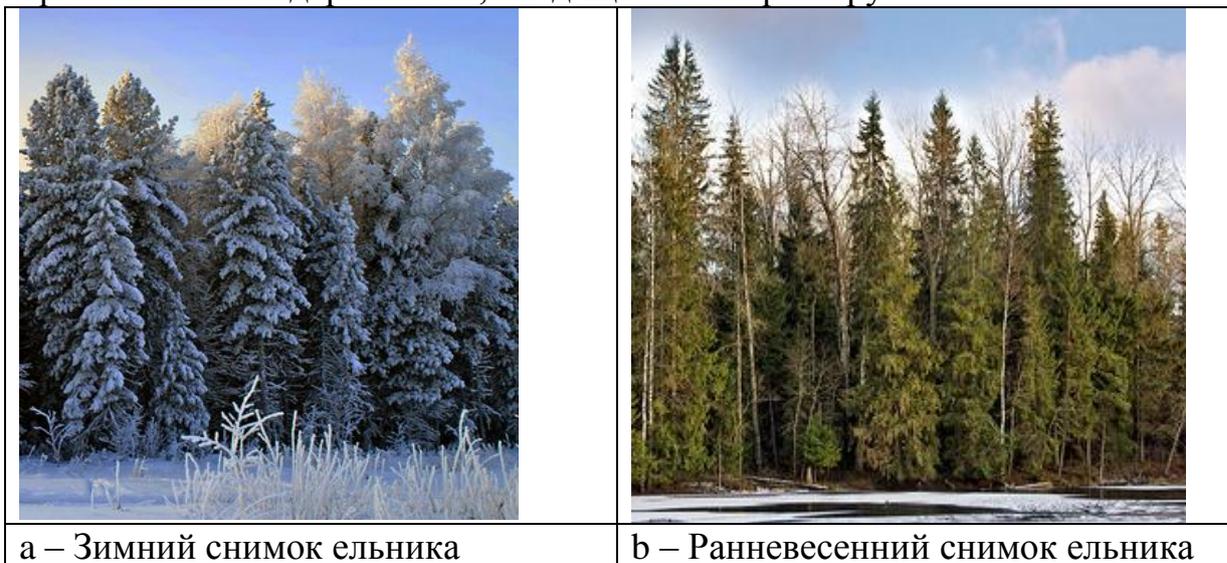
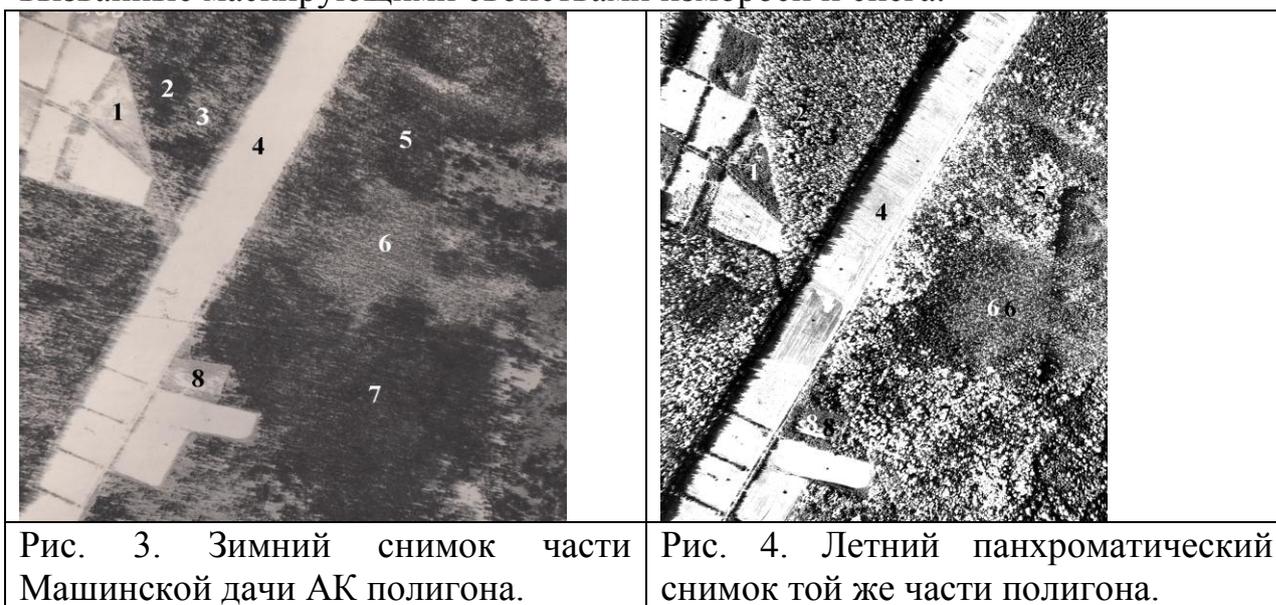


Рисунок 2. Различия в яркости смешанных еловых насаждений, вызванные маскирующими свойствами изморози и снега.



Необходима однократная среднемасштабная бестеневая зимняя съемка территории объекта для выявления границ хвойных, произрастающих под пологом маскирующих преобладающих или сопутствующих лиственных пород. Нужно создать совокупность масок с границами хвойных и использовать их в соответствующих справочниках БД создаваемой ГИС.

Использование карт вегетационных индексов, полученных по космическим снимкам. Яркость растительного покрова в красной и ближней инфракрасной областях электромагнитного спектра тесно связана с его зеленой фитомассой. Для оценки рекомендуется индекс NDVI. Он характеризует также плотность растительности и продуктивность угодий. Значения NDVI меняются в диапазоне от -1 до $+1$ (рис. 5).



Рисунок 5. Значения NDVI и соответствующие им типы растительного покрова.

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

Схема мониторинга лесного фонда с использованием карт индексов:

Октябрь–март:

1. Изучение динамики снежного покрова.
2. Оценка паводковой ситуации.
3. Оценка количественных показателей хвойных в чистых и смешанных насаждениях.

Апрель–май:

1. Определение успешности естественного возобновления хвойными породами на вырубках разных лет;
2. Оценка таксационных показателей хвойных ярусов сложных и смешанных насаждений;
3. Определение площади земель, на которых проведены гидротехнические мелиоративные мероприятия. Оценка качества проведения осушительной мелиорации.
4. Определение площади земель, занятых лесными культурами.

Июнь–июль:

1. Оценка состояния земель лесного фонда традиционными методами.
2. Оценка состояния лесных культур и естественного возобновления.
3. Выявление очагов развития вредителей и болезней.
4. Определение площади старых невозобновившихся вырубок и гарей.
5. Оперативная оценка пожарной опасности участков лесного фонда.

Август–сентябрь:

1. Мониторинг состояния лесной растительности.
2. Инвентаризация лиственных и хвойных насаждений.

Главным преимуществом вегетационных индексов является легкость их получения и широкий диапазон решаемых с их помощью задач.

Составление тематических электронных карт по материалам дистанционного зондирования высокого и сверхвысокого разрешения. Предлагаемые подходы к формированию системы признаков для улучшения качества дешифрирования базируются на интеграции данных, использовании баз знаний и контекстной классификации. В известных системах обработки и дешифрирования данных ДЗЗ, таких как ER Mapper (Earth Resource Mapping), Idrisi XX (Clark University), ERDAS Imagine (ERDAS), TNT MIPS (Micro Images), представлены обучаемые классификаторы по критериям наименьшего расстояния в различных метриках (Евклида, Махаланобиса, Фишера), максимального подобия (Байеса) и параллелепипеда.

В качестве основы дешифрирования АКФС можно рекомендовать алгоритм итеграционной классификации образа с использованием РСП (расширенной структуры признаков), основанный на двухэтапном методе анализа [Markov, Napryushkin, 2001].

Программный комплекс для создания тематических электронных карт. Рекомендуемая структура программного комплекса для дешифрирования и тематического картографирования АКФС приведена на рисунке 6.

Программные средства системы представляют совокупность взаимосвязанных подсистем и программных модулей, объединенных в рамках растровой (РК) и векторной (ВК) компонент. Оригинальной частью системы в составе РК являются подсистемы визуализации, предварительной и тематической обработки (дешифрирования) изображений, в составе ВК – подсистема векторизации растровых тематических карт. Подсистемы пространственного анализа, визуализации и редактирования векторных данных реализуются средствами ГИС MapInfo Professional 7.9 – 9.5.

Полученная в результате тематической обработки растровая ландшафтно-экологическая карта части Лисинского АК полигона была векторизована в автоматическом режиме и оформлена в виде векторной тематической карты средствами подсистемы векторизации растровых тематических карт.

Глава 4. Геоинформационные технологии создания и использования интегральных лесных и эколого - географических карт для оценки состояния природной среды, включая леса

Рекомендуемая технология базируется на стандартном оборудовании, используемом для создания тематических растрово – векторных карт.

В качестве классификатора можно рекомендовать суммарный показатель загрязнения, представляющий собой аддитивную сумму превышений коэффициентов концентраций над единичным (фоновым) уровнем.

Коэффициент корреляции характеризуется высокими значениями (от 0,60 до 0,98), что указывает на высокую степень корреляции между элементными составами рассматриваемых сред. Содержание элементов в почве найдет свое отражение и в составе листы. Почва определяет условия жизнедеятельности произрастающего на данном участке растения.

Расчет отношения концентрации компонента в листе к концентрации в почве показал, что такие элементы как Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Sr имеют тенденцию к накоплению в почвенном покрове (являются литофильными), и только P проявляет четко выраженную склонность к накоплению в растительности (биофильный элемент).

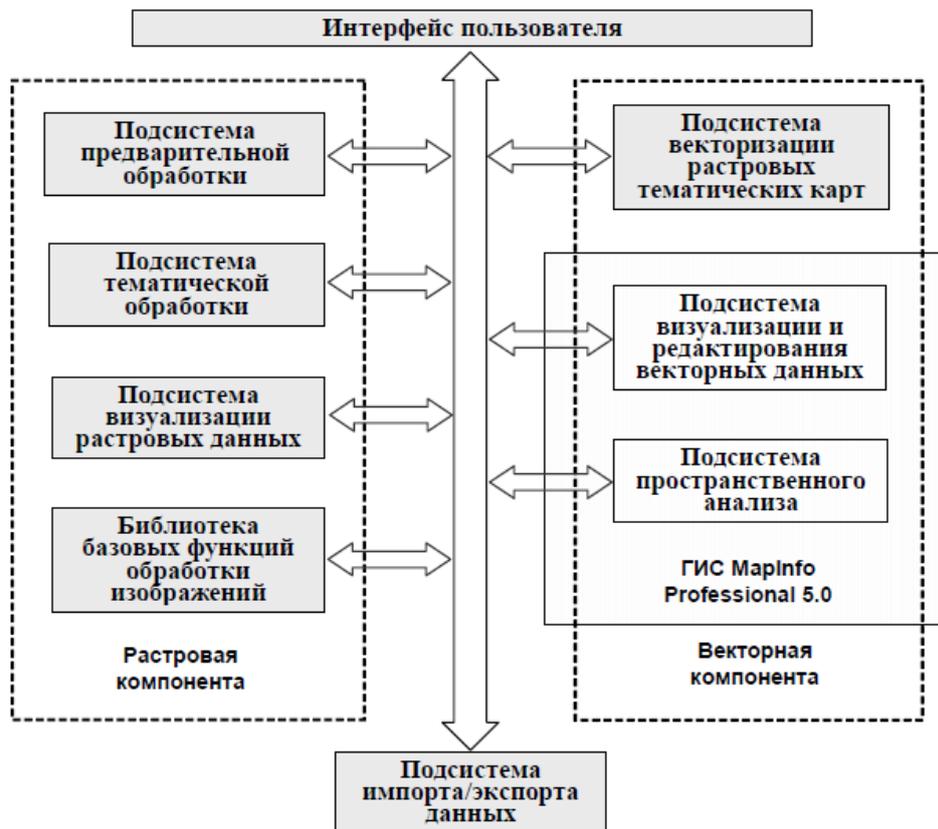


Рисунок 6. Укрупненная структура программного обеспечения системы

Для определения зависимости элементного состава листы, отобранной в летний период, от элементного состава листьев, отобранных осенью, рассчитывались коэффициент корреляции и отношение концентрации в листе к концентрации в почве.

Расчет отношения концентрации компонента в листе, отобранной летом, к концентрации в осенних листьях показал, что такие элементы как Al, Si, Cl, Ca, Ti, Ba, Fe, Br и Sr имеют тенденцию к повышенной концентрации в осенней листе. P, S, K и Rb проявляют четко выраженную склонность к накоплению в летней листе. Такие элементы, как Mn, Ni, Cu и Zn не характеризуются какой-либо закономерностью накопления в зависимости от времени отбора листы. Разделение элементов на группы в зависимости от концентрации в листе, отобранной в разное время года,

обусловлено миграцией элементов в растительных тканях в зависимости от погодных условий.

Оценка и визуализация интегрального загрязнения компонентов природной среды включает картографическое моделирование экологического состояния ландшафтов с их природными и техногенными составляющими.

Суть способа состоит в построении синтетических карт, совмещающих контурную сетку ландшафтов с оценкой их эколого-ресурсного потенциала и поверхностей суммарного загрязнения каждого аккумулирующего компонента ландшафта (почвенного, снегового покровов, растительности, поверхностных вод и т.д.). Наложение «масок» или палеток на анализируемые изображения позволяет скорректировать площади и запасы подпологовых (хвойных) древостоев, исключить ошибки при вычислении расстояния от дешифрируемого объекта до ближайшего водотока, установить сомкнутость полога насаждений и т.д. Геоинформационные технологии и GPS обеспечивают абсолютную точность взаимной регистрации информационных и служебных картографических слоев. Для их привязки используются координаты одноименных опорных точек на всех изображениях.

Развитие ГИС «Дистанционный мониторинг лесов Ленинградской области», включая ее геоэкологическую компоненту. В результате исследовательских и проектных мероприятий была создана основа единой многоцелевой базы данных объектов лесоустройства и зонирования территории по уровням содержания веществ – загрязнителей.

Подключение созданной ГИС к информационным системам Правительства субъекта федерации и других заинтересованных организаций повысит уровень обоснованности принимаемых управленческих решений. В связи с тем, что система является новой, количественные оценки ее эффективности будут уточнены в процессе эксплуатации.

Важным приложением разработанной базы данных является электронный атлас карт содержания химических элементов в различных средах характеризующих прямо или опосредовано состояние насаждений. Для наглядного представления и пространственного анализа получаемых данных был использован пакет программ ArcGIS. В качестве топоосновы использовалась цифровая карта Ленинградской области в проекции Gauss_Kruger и системе координат GCS_Krasovsky_1940, а атрибутивная база состоит из таблиц формата dBASE. Для построения поверхностей распределения содержаний в пределах исследуемой территории используется дополнительный модуль ArcGIS Geostatistical Analyst.

В данной работе построены поверхности распределения свинца в почвах и напочвенном покрове, и поверхности, отображающие области превышения концентраций свинца относительно фона (Рис. 7 и 8). Для классификации использован метод «квантиль» с 10-ю классами. При использовании «равных интервалов» участки с высокими содержаниями элементов не отображаются.

Приведенные ниже картосхемы распределения элементов в почвах Машинской дачи носят предварительный характер. Они будут уточняться и войдут в электронный атлас интерактивной ГИС АК полигона.

Запасы фосфора, доступные растениям, полностью сосредоточены в литосфере. В наземных системах круговорот фосфора проходит в оптимальных естественных условиях с минимумом потерь.

Биогеохимический цикл фосфора зарегулирован значительно хуже, чем циклы углерода и азота, потому что у фосфора отсутствует обменный фонд в атмосфере. Фосфор — один из элементов, контролирующих продуктивность растительных сообществ.

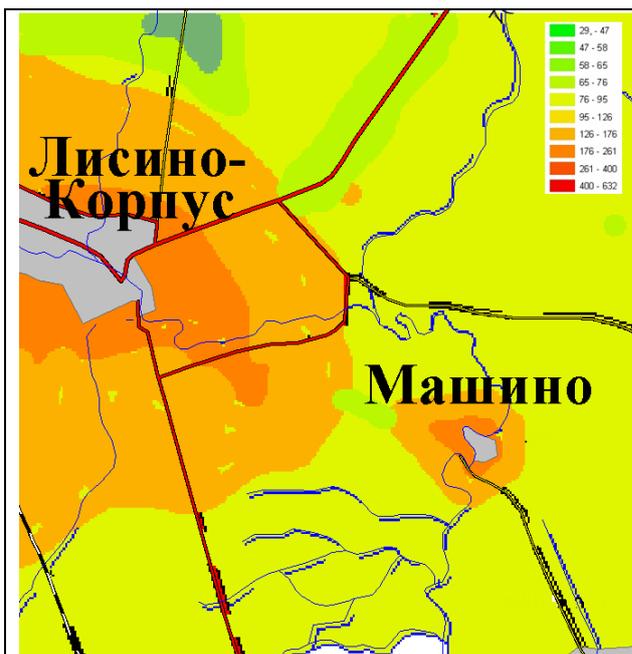


Рис. 7. Картосхема содержания свинца в почве и напочвенных покровах Машинской дачи относительно фона

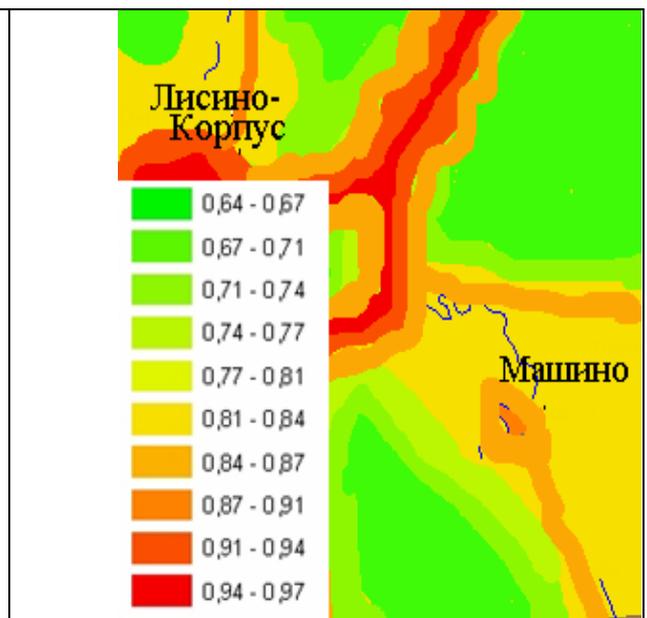


Рис. 8. Картосхема распределения цинка в почве и напочвенных покровах дачи относительно фона

Содержание цинка на территории полигона незначительно. Эти территории приурочены к железным и автомобильным дорогам с присущими транспорту выбросами, населенным пунктам и сельскохозяйственным угодьям, где на протяжении многих лет накапливались продукты жизнедеятельности и отходы производства, вносились органические и минеральные удобрения. Выявленные концентрации элементов незначительны

Геоинформационные технологии создания эколого – географических, лесных и других тематических карт для оценки состояния ПТК разных рангов. При построении интегральных компьютерных эколого - географических и других тематических карт необходимо учитывать специфику решаемых задач экологического и иного содержания. Нужно учесть научную или прикладную направленность и

практическую значимость; вид и характер источников информации, включая географические и тематические карты, аэрокосмические материалы, данные стационарных, маршрутных, площадных наземных наблюдений, сетей экологического мониторинга и кадастра.

Возможности оценки экологического состояния природной среды путем создания отдельных карт ограничены. Только согласованные серии интегральных карт могут наиболее полно и наглядно решить эту проблему. Любая моделируемая поверхность, в том числе и загрязнение, может быть представлена в качестве «рельефа»: абстрактного геополя (рис. 9а и 9.б).

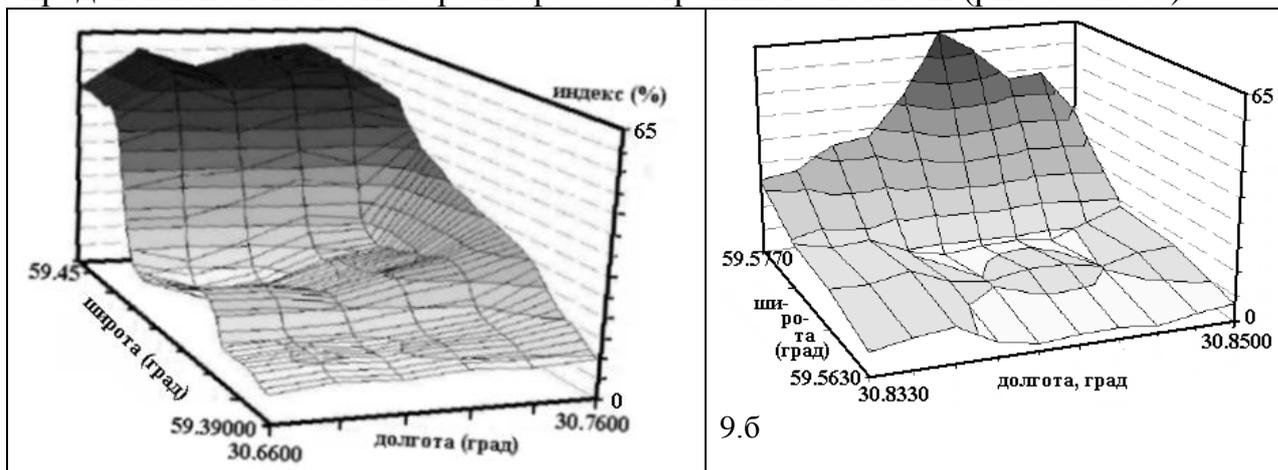


Рисунок 9а,б. «Поверхности» распределения суммарных индексов концентрации элементов на анализируемой части полигона показывает снижение концентрации с удалением от линейного и точечного источников.

Выводы и рекомендации по совершенствованию непрерывной лесоинвентаризации и дистанционного экологического мониторинга

В процессе выполнения диссертационной работы были получены следующие основные научные и практические результаты:

1. Рассмотрены возможности использования закономерностей ПТК для распознавания объектов лесного фонда, определения их таксационной характеристики и тематического картирования с использованием МДЗЗ. В оболочке MapInfo, созданы векторные ландшафтные маски Ленинградской области в оригинальном масштабе 1:200000. На электронных векторных картах приведены границы основных ПТК ранга «ландшафт» (для отдельных частей полигона – урочище и фация) на основе классификаций, предложенных А. Г. Исаченко [1998], Д. М. Киреевым [2005] и А. В. Грязькиным [2005]. Главной характеристикой всех созданных изображений является их взаимная регистрация в единой системе координат, что обеспечивает возможность их использования с электронными картами всего масштабного ряда.

2. Предложена методика калибровки материалов ДЗЗ для решения всего спектра задач, связанных с дистанционным мониторингом и хозяйственной инвентаризацией лесов Ленинградской области.

3. Необходимость обработки большого количества растровых изображений заставляет использовать растрово - векторные ГИС. Для

организации дистанционного мониторинга и непрерывной хозяйственной инвентаризации лесов необходим комплект из любой растровой ГИС («IDRISI», GeoGraph) и векторно – растровой ГИС «MapInfo», ArcView или «ArcGIS».

4. Разработка методики и техники автоматизированного дешифрирования показателей насаждений по АКФС базировалась на использовании формализованных признаков объектов дешифрирования и таких показателей, как коэффициенты спектральной яркости и оптической плотности, отдельных вегетационных индексов и их производных.

5. Использование объективных, формализованных признаков и показателей для определения характеристик насаждений по МДЗЗ снижает субъективизм метода визуального дешифрирования и повышает точность автоматизированного распознавания. Доступность обновления МДЗЗ с 15 – дневной повторностью (минимум) предоставляет возможность выбора наиболее информативных сезонов для определения таксационных показателей отдельных древесных пород. Наиболее информативным сезоном для определения таксационных показателей хвойных является период с устойчивым снежным покровом и отсутствием маскирующего снега на ветвях. Зарегистрированные в единой системе географических координат внемасштабные маски чистых, смешанных и «подпологовых» хвойных древостоев позволяют с высокой точностью определять их площади и основные таксационные показатели.

6. Оптимальным сезоном для дешифрирования *березняков* является период распускания листьев, когда различия в спектральной яркости березы и остальных лесообразующих пород Северо-Запада является максимальными. Для древостоев *осины* оптимальным периодом их распознавания является середина вегетации, когда все объективные (вычисляемые) показатели достигают экстремальных значений.

7. Для совершенствования методики непрерывной инвентаризации лесов предлагается *субтрактивный способ* определения таксационной характеристики древесных пород, последовательно исключая их из состава видимого на снимке полога. Цикл непрерывной инвентаризации занимает весь год с использованием наиболее информативных периодов для дешифрирования насаждений в зависимости от погодных условий и фенологического состояния основных лесообразующих пород и состояния «подложки».

8. Доказана перспективность разработки способов классификации объектов и дешифрирования изображений с использованием принципов непараметрической статистики и текстурного анализа.

9. Предложен поэтапный метод классификации объектов и дешифрирования изображений с расширенной системой формализованных признаков, учитывающий спектральные и пространственные свойства объектов.

10. Создана геохимическая основа комплексного дистанционно – наземного многофункционального мониторинга состояния основных

компонентов ПТК: почвы, напочвенного покрова, древостоев и полога. По результатам обработки проб почв, напочвенного и снежного покрова, хвои и листьев создана основа базы картографических и атрибутивных данных содержания тяжелых металлов и других веществ – загрязнителей для оценки их последующих изменений, а также использования в качестве «эталонных» или «фоновых» значений при сравнении с содержанием анализируемых веществ в образцах, собранных в экологически проблемных районах.

11. В основу дистанционного мониторинга положены принципы фитоиндикации – нетипичное изменение цвета хвои (листвы) и дефолиации крон, приводящее к изменению плотности полога и, следовательно, признаков дешифрирования насаждений. Из полной схемы фитоиндикации для дистанционного мониторинга используются только те процессы и реакции фитоценоза, которые приводят к регистрируемым изменениям образов насаждений. Оценка долгосрочных воздействий на насаждения производится наложением теоретических и реальных траекторий развития.

12. Разработанные для дистанционного мониторинга структуры баз картографических и атрибутивных данных обеспечивают комплексную оценку изменений цветности и плотности изображений полога древостоев на материалах ДЗЗ с помощью КСЯ, КОП и вегетационных индексов. Результаты оценки являются основанием для детальных обследований проблемных участков наземными методами лесотаксационной и геохимической оценки.

13. Проведена апробация разработанной системы на примере дистанционного мониторинга территории Лисинского АК полигона по архивным и современным материалам ДЗЗ. Приведены результаты оценки численных характеристик ландшафтных объектов.

14. Показатели состояния растений более пригодны для определения суммарных уровней загрязнения атмосферы. Эти же показатели можно использовать для оценки суммарного загрязнения почв.

Таким образом, использование данных дистанционного зондирования в совокупности со специальными программными комплексами (например, ArcGIS, MapInfo, IDRISI “Taiga”) позволяет оценить степень техногенной и антропогенной нагрузки на ландшафты исследуемой территории.

Список публикаций по теме диссертации

В изданиях по перечню ВАК:

1 Ердяков С.В., Голованов И., Котов Н., Максимова О. Особенности определения характеристик лесов по цветным спектрально-аэрофотоснимкам // Вестник МАНЭБ, научно-технический журнал, том 14, вып. 4, СПб, 2010. С. 30-36.

2 Ердяков С.В., Крючков А., Голованов И., Максимова О. Геоинформационные системы, как инструмент для исследования

ландшафтной оболочки Земли // Вестник МАНЭБ, научно-технический журнал, том 14, вып. 4, СПб, 2010. С. 44-50.

3 Ердяков С. В., Голованов И., Лыонг Нгуен Нгок Нга., Крючков А. Геоботанические карты и планы для ГИС- технологий изучения лесного растительного покрова // Вестник МАНЭБ, научно-технический журнал, том 14, вып. 4, СПб, 2010. С. 57-60.

Прочие:

4 Неволин О.А., Третьяков С.В., **Ердяков С.В.,** Торхов С.В. Лесоустройство. – Архангельск: Изд-во "Правда Севера". - 2003. - 582 с.

5 Ердяков С.В., Неволин О.А., Трубин Д.В., Торхов С.В. История Архангельского лесоустройства. – Архангельск: Изд-во "Соломбальская типография". - 2000. - 170 с.