

630X  
и 49

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»

УДК 630\*585

**ИЛЮЧИК**  
Михаил Александрович

**РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ТЕКУЩИХ ИЗМЕНЕНИЙ  
В ЛЕСНОМ ФОНДЕ ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО  
ЗОНДИРОВАНИЯ ХВОЙНЫХ ЛЕСОВ БЕЛАРУСИ**

06.03.02 – Лесоустройство и лесная таксация

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата сельскохозяйственных наук

Минск 2004



## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

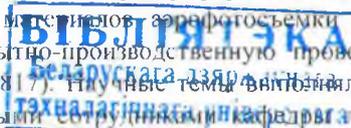
### Актуальность темы диссертации.

Дистанционные методы являются перспективными в системе оценки и контроля состояния лесов. Эти методы рассматриваются в общей системе лесоустройства, государственного учета и мониторинга лесов. В соответствии с «Концепцией устойчивого развития лесного хозяйства РБ до 2015 года» решение задач организации и ведения лесного хозяйства требует повышения точности учета лесов, получения оперативной, достоверной и надежной информации о состоянии лесного фонда, на основе которой возможно принятие оптимальных решений лесоуправления, снижение стоимости лесоустроительных работ. Поэтому новым направлением в мониторинге и контроле состояния лесов является использование материалов дистанционного зондирования лесов.

Широкое применение аэрокосмических методов в лесном хозяйстве позволяет более эффективно решать задачи комплексной оценки природных процессов, определяющих структуру и динамику лесного фонда.

Актуальными задачами являются повышение точности учета лесного фонда на основе использования методов дистанционного зондирования в сочетании с выборочной лесоинвентаризацией, разработка методов оценки текущих изменений в лесном фонде в системе аэрокосмического мониторинга лесов, оперативного обновления картографической и поведельной баз данных ГИС «Лесные ресурсы» при непрерывном лесоустройстве и в информационной системе управления лесным хозяйством.

Связь работы с крупными научными программами, темами. Исследование являлось составной частью научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, выполненных в рамках Государственной научно-технической программы (ГНТП) «Леса Беларуси и их рациональное использование» по заданию 04 «Разработать проект дистанционного зондирования лесов, обработки информации и дешифрирования космических снимков с российских искусственных спутников земли для оценки состояния и мониторинга лесов» в 1999–2000 гг. (№ госрегистрации 19993489); заданию «Разработать и внедрить авиационный аппаратно-программный комплекс оперативного контроля за состоянием лесов» в 1999–2000 гг. (№ госрегистрации 19993810); в рамках ГНТП «Леса Беларуси» по заданию 32 «Разработать систему аэрокосмического мониторинга состояния лесов на основе региональной станции приема космической информации, авиационного аппаратно-программного комплекса и ГИС «Лесные ресурсы» и провести их опытно-производственную проверку» в 2001–2002 гг. (№ госрегистрации 20015101); по заданию 06 «Разработать автоматизированную систему лесного картографирования на основе технологии базового лесоустройства, дистанционных аэрофотосъемки и ГИС «Лесные ресурсы» и провести ее опытно-производственную проверку» в 2001–2002 гг. (№ госрегистрации 20013817). Научные темы выполнялись соискателями, преподавателями и научными сотрудниками кафедры лесоуст-



637 ар

ройства БГТУ совместно с сотрудниками УП «Белгослес», Научно-исследовательского института прикладных физических проблем БГУ, Научно-исследовательского предприятия геоинформационных систем НАН Беларуси, УП «Космоаэрогеология».

**Цели и задачи исследования.** Цель исследования – научно обосновать и разработать систему и методы оценки текущих изменений в лесном фонде по материалам дистанционного зондирования хвойных лесов, геоинформационной системы «Лесные ресурсы» и глазомерно-измерительной таксации древостоев, имеющие практическое значение в мониторинге и оценке состояния лесов Беларуси.

Основными задачами исследования явились:

1. Разработка методики сбора и обработки данных дистанционного зондирования лесов.
2. Планирование эксперимента, сбор опытных материалов космической съемки лесов и сканирования лесного полога, данных ГИС «Лесные ресурсы» и глазомерно-измерительной таксации сосновых и еловых древостоев.
3. Изучение спектральных характеристик лесного полога по материалам сканирования лесов с использованием авиационного аппаратно-программного комплекса и космическим снимкам. Исследование взаимосвязей спектрально-отражательных свойств изображения с таксационными показателями насаждений.
4. Разработка системы и методов оценки текущих изменений в лесном фонде по данным дистанционного зондирования лесов.
5. Дешифрирование изображений лесных площадей на космических снимках и авиационного сканирования лесного полога.
6. Тематическая классификация изображений лесных площадей на аэро-космических снимках.
7. Оценка текущих изменений в лесном фонде и тематическое картографирование лесных площадей по материалам космических снимков, авиационного сканирования лесов, ГИС «Лесные ресурсы» и глазомерно-измерительной таксации древостоев.
8. Оценка достоверности и надежности полученных результатов.

**Объект и предмет исследования.** Объектом исследования являлись сосновые и еловые насаждения, вырубки, ветровалы, усыхающие насаждения, лесные пожары и гари на части территории Молодечненского, Столбцовского, Воложинского, Негорельского лесхозов. Предмет исследования – дешифровочные признаки и спектрально-отражательные характеристики лесных объектов на аэрокосмических снимках.

**Гипотеза:** данные дистанционного зондирования лесов могут быть использованы для изучения и оценки текущих изменений в лесном фонде, создания тематических карт, обновления баз данных ГИС «Лесные ресурсы».

**Методология и методы проведенного исследования.** Методология основана на системном подходе сбора данных, их статистическом анализе, обработки материалов дистанционных съемок, оценки текущих изменений в

лесном фонде по аэрокосмическим снимкам. Основные методы исследования – методы выборочных измерений, лесной таксации, лесоустройства, дешифрирования космических снимков, классификации изображений и распознавания лесных объектов на аэрокосмических снимках, тематического картографирования, спектрального анализа объектов, информационных и компьютерных технологий.

### **Научная новизна результатов исследования.**

Впервые научно обоснована и разработана система и методы оценки текущих изменений в лесном фонде хвойных лесов Беларуси по материалам космической съемки лесов с использованием космических снимков с ИСЗ Метеор-3М, получаемых станцией приема космической информации «УниСкан» УП «Белгослес», снимков Landsat 7 ETM<sup>+</sup>, Terra системы Aster, а также сканирования лесного полога авиационном аппаратно-программным комплексом ВСК-2, разработанным НИИ ПФП БГУ, по данным геоинформационной системы «Лесные ресурсы» и глазомерно-измерительной таксации древостоев.

Изучены закономерности спектральной яркости различных категорий лесных земель, установлены их связи с таксационными показателями сосновых и еловых насаждений по возрасту, составу, полнотам.

Выполнена оценка текущих изменений в сосновых и еловых лесах по материалам их дистанционного зондирования и составлены тематические лесные карты сосновых и еловых насаждений, сплошных вырубок, ветровалов, лесных пожаров и гарей, усыхающих ельников с использованием современных информационных и компьютерных технологий.

### **Практическая значимость полученных результатов.**

Результаты исследования по разработке системы и методов оценки текущих изменений в лесном фонде по космическим снимкам внедрены в систему аэрокосмического мониторинга лесов Беларуси (акт внедрения от 26.12.2000 г. и 21.09.2004 г.). Методы оценки текущих изменений в лесном фонде по аэрокосмическим снимкам использованы в учебном процессе кафедры лесоустройства БГУ по дисциплинам «Аэрокосмические методы в лесном хозяйстве», «Информационные системы в лесном хозяйстве» (акт внедрения от 17.10.2003 г.).

Эффективность от внедрения результатов исследования заключается в использовании материалов дистанционных съемок при оценке состояния лесов, учете и динамике текущих изменений в лесном фонде, получении тематических лесных карт насаждений, сплошных вырубок, ветровалов, пожаров и гарей.

### **Основные положения диссертации, выносимые на защиту.**

- методы оценки текущих изменений в лесном фонде по данным космической съемки и сканирования лесов авиационным аппаратно-программным комплексом ВСК-2;

- закономерности изменений спектрально-отражательных характеристик и дешифровочных признаков различных категорий земель лесного фонда, их связь с таксационными показателями сосновых и еловых насаждений;

- методика и тематические лесные карты сплошных вырубок, лесных пожаров, гарей, усыхающих ельников, полученные по данным дистанционного зондирования лесов, имеющие практическое значение в мониторинге и оценке состояния лесов Беларуси;

- система и технологический процесс оценки текущих изменений в лесном фонде с использованием данных дистанционного зондирования лесов.

#### Личный вклад соискателя.

Автору принадлежат постановка программы и задач исследования, научное обоснование и разработка системы и методов оценки текущих изменений в лесном фонде хвойных лесов с использованием материалов дистанционного зондирования лесов, ГИС «Лесные ресурсы» и данных выборочной таксации насаждений, изучение спектральных яркостей и характеристик различных категорий земель лесного фонда, разработка методики получения тематических лесных карт по данным дистанционного зондирования лесов.

Автор принимал личное участие в авиационно-съёмочных работах при сканировании лесного полога с использованием аппаратно-программного комплекса ВСК-2, установленного на борту вертолета Ми-2, в приеме и обработке космических снимков в центре приема и обработки космической информации УП «Белгослес», в выборочной таксации древостоев в Молодечненском, Столбцовском, Воложинском и Негорельском лесхозах.

За использование материалов дистанционного зондирования лесов и неоценимую помощь в сборе и обработке данных автор выражает искреннюю благодарность генеральному директору ЛРУП «Белгослес» Торчику Н.И., главному инженеру Кулагину А.П., директору УП «Космоаэрогеология» Тяпкевичу И.А., заведующему лабораторией дистанционной фотометрии НИИ ПФП БГУ доктору физ.-мат. наук Беляеву Б.И., преподавателям кафедры лесоустройства БГТУ.

**Апробация результатов диссертации.** Основные положения, методика, результаты исследований и практические рекомендации обсуждались и получили положительную оценку на ежегодных научно-практических конференциях лесохозяйственного факультета БГТУ (1999–2004); Международной научно-технической конференции «Ресурсосберегающие технологии в лесном хозяйстве, лесной и деревообрабатывающей промышленности» (Минск, 1999); V Республиканской научной конференции студентов, магистрантов и аспирантов Беларуси “НИРС-2000” (Гродно, 2000); Международных конференциях молодых ученых (Мыггиши, 2001; Беловежская пуша, Белавежа, 2002; Санкт-Петербург, 2003; Рахов, Украина, 2004); II Пушкинской международной школе-семинаре по экологии «Экология 2002: эстафета поколений» (Пушино, 2002); Международной научно-технической конференции «Леса Европейского региона – устойчивое управление и развитие» (Минск, 2002); Первой международной конференции «Земля из космоса – наиболее эффективные решения» (Москва, 2003).

**Опубликованность результатов.** По материалам диссертации опубликовано 21 печатная работа, в том числе 9 научных статей, 12 тезисов и мате-

риалов конференций. Общее количество опубликованных материалов составляет 79 страниц.

**Объем и структура диссертации.** Диссертационная работа изложена на 200 страницах машинописного текста, в т.ч. основная часть – на 152 страницах и состоит из введения, общей характеристики, четырех глав и заключения, списка использованных источников (279 названий, из них 67 на иностранных языках) и приложений. В тексте помещено 14 таблиц и 80 иллюстраций, в приложении – 5 таблиц и 22 иллюстрации, акт опытно-производственных работ, 2 копии актов внедрения результатов исследования в производство и копия акта внедрения в учебный процесс.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

### **1. Современные направления дистанционного зондирования лесов**

Впервые аэрометоды при таксации лесов были применены в 1922 году А.Е. Новосельским. Авиация и аэрофотосъемка начали широко применяться при таксации и обследовании лесов, учете лесного и лесосечного фонда, аэровизуального и аэротаксационного обследования, при изыскании трасс лесовозных дорог, обследовании ветровалов и гарей и т.п.

Большое значение для лесоустройства имело внедрение в 50–60-х годах в практику цветных спектрзональных аэрофотоснимков А.Н. Иорданским, В.С. Гольцовым. В дальнейшем широкое развитие получает изучение строения полога древостоев и установления различных взаимосвязей между таксационными и дешифровочными показателями. В разное время эти и другие вопросы изучали Г.Г. Самойлович [1956, 1978], С.В. Белов [1958, 1962, 1966], В.С. Моисеев [1962], А.Я. Жуков [1958], А.М. Березин [1961, 1963, 1981], Н.Г. Харин [1965, 1975], Д.М. Киреев [1963, 1977, 1981], Е.П. Данколис, [1973, 1984, 1989] И.Д. Дмитриев [1978, 1981], А.В. Любимов [1977, 2001], С.В. Вавилов [1977, 1996] и др.

На основании получаемой информации аэрометодами проводят лесоинвентаризацию, мониторинг состояния лесов и окружающей среды, используют в системе картографирования. Интерпретация различных объектов по материалам космической съемки проводится уже с 70-х годов. Развивалось визуальное дешифрирование, а также методы цифровой обработки материалов дистанционного зондирования.

На территории Беларуси дистанционные методы впервые использованы в начале 30-х годов при изучении болот Полесской низменности, позже для топографической съемки и лесоустроительных целей. Впервые аэрофотоснимки в лесоустройстве Беларуси были применены в 1947 году. Ландшафтные принципы дешифрирования четвертичных отложений для территории Беларуси обосновывают В.И. Гридин и Н.В. Кобец [1969]. Организацией мониторинга лесов с использованием аэрокосмической информации, инвентаризации лесного фонда и разработки на этой основе рекомендаций при ведении

лесного хозяйства Беларуси занимались Д.С. Голод, А.А. Ковалев, А.Р. Понтус, Ю.М. Обуховский, А.А. Лепешев и другие [1973, 1984, 1990, 1994, 1997].

Большое значение в последнее время имеют сканирующие космические и авиационные системы получения снимков, пространственное разрешение которых достигло уже десятков сантиметров, а наличие широкого спектрального диапазона с множеством спектральных каналов позволяет оценить состояние лесной растительности для решения лесохозяйственных задач. С 1999 года в Беларуси разрабатываются новые методы и технологии дистанционного зондирования лесов (О.А. Атрощенко, С.А. Золотой, Б.И. Беляев, И.А. Тяшкевич, А.П. Кулагин и др.)

## 2. Методика и объекты исследования.

Объекты исследования покрытых и непокрытых лесом земель лесного фонда выбраны в Молодечненском (1117 га), Столбцовском (961 га), Воложинском (241 га) и Негорельском учебно-опытном лесхозе (415 га). В процессе исследования были использованы также материалы ГИС «Лесные ресурсы».

Для изучения спектрально-отражательных характеристик объектов исследования проведена съемка комплексом ВСК-2 в октябре 1999 г., августе 2001 г., июне и сентябре 2002 г.

Глазомерно-измерительная таксация лесов выполнена на 312 гектарных участках лесных насаждений с закладкой круговых площадок Бинтерлиха, равномерно размещенных по выделу. Обследованы участки категорий земель: вырубки свежие и прошлых лет, поврежденные насаждения, гари, ветровалы с целью дешифрирования их на снимках.

Определены объекты с целью их изучения на космических снимках высокого разрешения Landsat 7 ETM<sup>+</sup> и Terra (система Aster), а также на космических снимках, полученных с российского спутника «Метеор-3М» с помощью станции приема космической информации «УниСкан» УП «Белгослес».

В работе применялся метод дешифрирования аэрокосмических снимков визуальным методом, а также с использованием программных продуктов для классификаций и тематической обработки.

При выполнении работы совместно с сотрудниками Научно-исследовательского института прикладных физических проблем Белорусского государственного университета была разработана методика получения и обработки изображений с авиационного аппаратно-программного комплекса ВСК-2 (видоспектральный комплекс), включающая: съемку объектов, построение мозаики изображения, дешифрирование и составление тематических лесных карт. Методика обработки космических снимков и получения тематических карт по снимкам Метеор-3М, Landsat 7 ETM<sup>+</sup> и Aster применялась в центре приема и обработки космической информации в УП «Белгослес» и УП «Космоаэрогеология». При обработке использованы программные пакеты Envi и Erdas Imagine, а также программы ScanViewer, ScanMagic, ScanEx Image Processor, ScanEx Image Transformer и ГИС-пакеты Formap и Arc View Gis. В па-

боту вошли материалы исследования, полученные автором с 1999 г. по 2004 г.

### 3. Исследование хвойных лесов с использованием материалов аэрокосмических съемок и спектрометрических измерений лесного полога

Спектральные отражательные характеристики лесных объектов несут в себе специфическую информацию о поверхности Земли и являются основой дистанционных методов ее исследования. Спектральная отражательная способность определяет тон или цвет изображения объектов на аэрокосмических снимках.

Изучены спектрально-отражательные характеристики объектов исследования, а по результатам съемки построены спектральные кривые (рис. 1). Интегральные значения спектральных кривых сильно зависят от освещенности земной поверхности, но соотношения между отдельными характерными интервалами в спектрах зависят в целом только от формы спектра регистрируемого объекта.

Характерными спектральными полосами для растительности являются широкая полоса поглощения хлорофилла 640–690 нм и ИК диапазон отражения листовенного покрова – 740–900 нм. По соотношению регистрируемых сигналов в этих областях можно отделить спектры листовенного леса от хвойного в любой период года.

Отсутствие растительности в поле зрения спектрометра приводит вообще к отсутствию полосы поглощения хлорофилла в спектрах гари, дороги, сухостойного леса, пашни и значительно меньшему отражению излучения в ближней ИК-области. Хорошо видны наиболее контрастные зоны спектра между хвойным лесом и участком леса, пройденного пожаром (гарь).

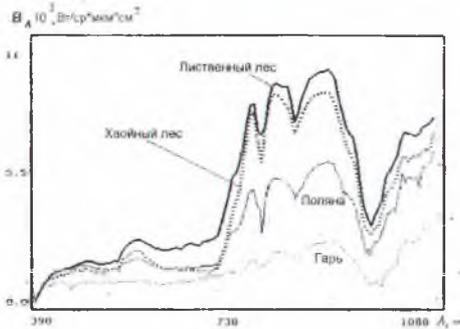


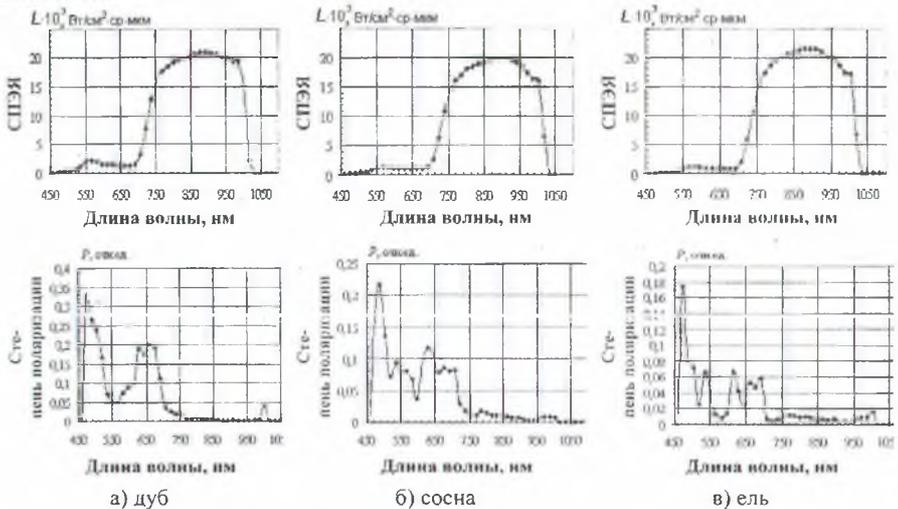
Рис. 1. СПЭЯ отраженного излучения участков различных категорий лесных земель

Физические закономерности, связывающие спектральные и поляризационные характеристики излучения растительности с ее биологическими параметрами, получены в лабораторных условиях и затем могут быть адаптированы к условиям дистанционного эксперимента. Для проведения лабораторных исследований спектрально-поляризационных характеристик образцов хвой сосны, ели и листьев дуба использовалась установка на базе гониометра Г-5 и спектрополяриметра МС-08. Определялись значения степени поляризации в зависимости от угла падения, угла визирования и длины волны излучения по ме-

тодике, изложенной в одной из работ сотрудниками НИИ ПФП.

Для всех углов падения и визирования степень поляризации листа дуба в полосе поглощения хлорофилла выше, чем у ели или сосны (рис. 2). Особенно это характерно для малых углов падения, где различия в значениях степени поляризации достигает двух раз. При увеличении угла падения различия уменьшаются.

При анализе графиков спектральной плотности энергетической яркости (СПЭЯ) для всех углов падения и визирования, можно заметить их более высокие значения в зеленой области спектра 0,55 мкм для листа дуба, при близких значениях в ближней ИК-области. Изменения, сопровождающие естественный рост и развитие лесной растительности, а также характер антропогенного и природного воздействия, отражаются в цвете изображения, определяющие спектральные отражательные свойства объекта в разных спектральных зонах.



а) дуб б) сосна в) ель  
Рис. 2. СПЭЯ и степень поляризации излучения, отраженного листом дуба (а), хвоей сосны (б) и ели (в).

Лабораторные измерения: угол падения излучения –  $30^\circ$ , угол наблюдения –  $20^\circ$

Для космических снимков Landsat 7 ETM<sup>+</sup> и Terra (Aster), учитывая большое число спектральных каналов, были построены спектральные кривые для различных категорий лесных земель и насаждений (рис. 3, 4).

Наибольшие различия значений спектральной яркости лесных объектов наблюдаются в инфракрасной зоне. Значения уровня яркости выделяемых классов вырубок и пашни практически во всех спектральных каналах на порядок выше, чем у лесной растительности, что дает возможность выделить их на снимке и отделить от лесных массивов.

Эти различия в значениях спектральной яркости характеризуются различной поглощающей и отражающей способностью разных объектов.

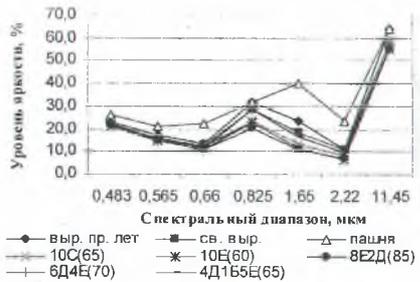
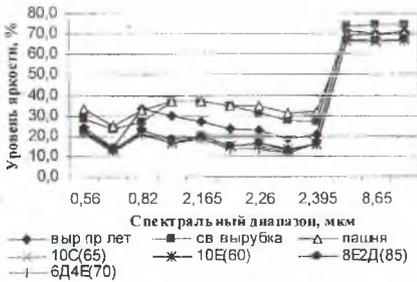


Рис. 3. Спектральные кривые различных категорий лесных земель и насаждений, построенные по данным, полученным по снимку Aster, 8.05.2002 г.

Рис. 4. Спектральные кривые различных категорий лесных земель и насаждений, построенные по данным, полученным по снимку Landsat, 9.09.1999 г.

Для установления зависимостей спектрально-отражательных свойств лесной растительности от таксационных показателей насаждений, были рассчитаны коэффициенты спектральной яркости, определенные по каждому каналу на снимках Метеор, Landsat и Aster. По данным, полученным по снимку Метеор-3М 3 июня 2002 года (рис. 5), видно, что наибольшие значения спектральной яркости в диапазоне 0,5–0,6 мкм наблюдаются для пашни – 0,604, немного ниже данный показатель для вырубок и несомкнувшихся лесных культур, для насаждений в данном диапазоне коэффициент составляет почти 0,4 и немного выше для категории болото – 0,428.

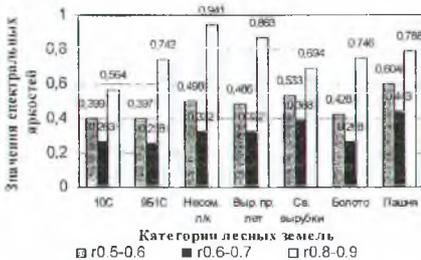


Рис. 5. Зависимость спектральной яркости различных категорий лесных земель по ДДЗ со спутника Метеор-3М, 3.06.2002 г.

Рис. 6. Зависимость спектральной яркости различных категорий лесных земель по ДДЗ со спутника Метеор-3М, 19.08.2002 г.

Наибольшие отличия в спектральных яркостях категорий лесных земель представлены в ИК диапазоне 0,8–0,9 мкм. Максимальные значения данного показателя отмечаются для классов несомкнувшиеся лесные культуры и вырубки прошлых лет, соответственно 0,941 и 0,863. Это, прежде всего, объясняется влиянием возобновления лиственной растительности и напочвенного покрова на вырубках и посадках, так как значения яркости для травянистой растительности немного выше, чем лесной. Ниже показатели яркости для классов березовые насаждения и болото, и составляют соответственно 0,742 и 0,746. Самый низкий показатель яркости отмечается для чистых сосновых насаждений – 0,564.

Анализ данных, полученных по снимку Метеор-3М (рис. 6), показывает, что на спектрально-отражательные характеристики лесных объектов влияют также период и условия съемки, что необходимо учитывать при выборе снимков и их дешифрировании.

По значениям спектральной плотности изображения объектов на космических снимках в красном и ближнем инфракрасном диапазоне, для каждого выделяемого класса были рассчитаны коэффициенты вегетационного индекса (NDVI). Можно представить ряд, в котором значения вегетационного индекса будут расположены в последовательном возрастании, это пашни (0,145), чистые сосновые насаждения (0,23), свежие вырубki (0,237), болото (0,269), березовые насаждения (0,298), вырубki прошлых лет (0,325) и несомкнувшиеся лесные культуры (0,345). Отметим также, что значения индекса, полученные на снимке 19 августа ниже, чем на снимке 3 июня 2002 года.

Для установления зависимостей изменения уровня спектральной яркости от таксационных показателей (состав, возраст, полнота), на снимках Метеор был определен уровень яркости для каждого канала.

Как показали результаты, с увеличением в составе древостоев лиственных пород наблюдается линейная зависимость увеличения уровня спектральной яркости в ИК-диапазоне (рис. 7), для других каналов показатель яркости практически остается на одном уровне. Такая же закономерность наблюдается и на снимке Метеор, полученном в августе месяце (рис. 8).

Характерные зависимости с изменением состава насаждения наблюдаются также по коэффициентам вегетационного индекса. На июньском снимке коэффициент NDVI увеличивается с 0,36 до 0,49, а на августовском – с 0,23 до 0,30 при увеличении в составе лиственных пород. Примерные закономерности были получены для зависимостей уровня спектральной яркости от возраста и полноты, полученные по снимкам Метеор-3М.

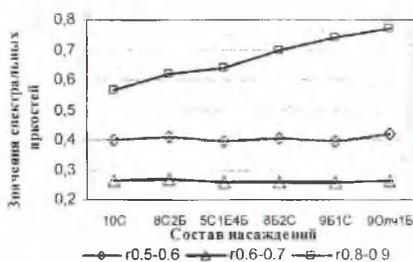


Рис. 7. Зависимость спектральной яркости с изменением состава насаждений (40–45 лет) по ДДЗ со спутника Метеор-3М, 3.06.2002 г.

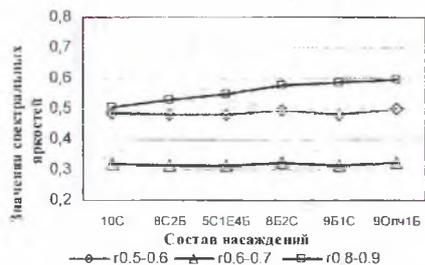


Рис. 8. Зависимость спектральной яркости с изменением состава насаждений (40–45 лет) по ДДЗ со спутника Метеор-3М, 19.08.2002 г.

Исследования по изучению спектральных характеристик разных категорий земель и насаждений были проведены также с использованием снимков Aster и Landsat 7 ETM<sup>+</sup>. По полученным результатам наблюдаются характер-

ные зависимости спектрально-отражательных свойств изображений и таксационных показателей.

Приведенные результаты подтверждают исследования Капицы А.П., Краснушкина А.В., Голубевой Е.И. и других авторов (2003) о закономерностях изменения спектральных характеристик экосистем на примере растительности Кольского полуострова, полученных по снимкам Landsat MSS.

Главная трудность определения спектральных характеристик объектов по снимкам состоит в том, что в 35-метровом пикселе снимка Метеор (30-метровом Landsat, 15-метровом Aster) в различных комбинациях смешиваются классы растительности, пятна которых могут иметь на местности метровые и субметровые размеры.

Для разработки методики и технологии автоматизированной классификации, интерактивного дешифрирования и аналитической интерпретации космических снимков необходимо исследовать относительные плотности объектов лесной растительности как в узких интервалах (моноканалах), так и на синтезированных многозональных изображениях различных категорий земель лесного фонда. Разности в оптических плотностях объектов характеризуют цвет и контрастность изображения, на основании которых и проводится дешифрирование по снимкам. Различия значений спектральных яркостей лежат в основе автоматизированных систем тематической обработки изображений.

Полученные кривые отражают характерные особенности исследуемых объектов. С другой стороны, они, естественно, сильно обобщают реальную картину, поскольку спектральный отклик интегрируется для участков равных пространственному разрешению снимка.

Особенность изученных спектрально-отражательных характеристик объектов важна в использовании данных дистанционного зондирования лесов при оценке текущих изменений в лесном фонде, а также при разработке автоматизированных систем классификации изображений объектов по космическим снимкам сканерных систем.

#### **4. Дешифрирование хвойных лесов и оценка текущих изменений в лесном фонде**

В работе представлены результаты оценки состояния лесов по объектам исследования с определением текущих изменений в лесном фонде по космическим снимкам и изображениям, полученным с комплекса ВСК-2. Разработаны методы оценки вырубок, повреждений леса ветровалами, лесными пожарами, фитовредителями, основывающиеся на изучении их спектральных характеристик, методов сбора и обработки данных, полученных с различных космических систем.

Достоверно дешифрируются (с вероятностью 0,68) по космическим снимкам и изображениям с АПК ВСК-2 сплошные вырубки, гари, участки с избыточным увлажнением (болото), дороги и т.п., а также чистые насаждения, молодняки и спелые древостои, что зависит от конкретного типа КС и фено-

логического характера насаждения. Точность определения границ сплошных вырубок и усыхающих ельников равна 3–20 %.

Материалы космической и авиационных съемок с использованием комплекса ВСК-2 были использованы для дешифрирования хвойных насаждений на тестовых участках, а также оценки состояния лесов и определения текущих изменений в лесном фонде.

Определение точности границ и площадей сплошных рубок по различным данным дистанционного зондирования представлено в таблице 1.

Таблица 1

**Точность определения границ и площадей сплошных вырубок по различным данным дистанционного зондирования**

Название снимков	Отклонения, % (от измеренной в натуре)
Снимки Landsat 7 ETM <sup>+</sup>	+/- 8-16
Снимки Terra системы Aster	+/- 7-12
Снимки Meteor-3М	+/- 10-20
Изображение, полученное ВСК-2	+/- 3-10

Определение точности границ и площадей сплошных рубок по ДДЗ зависит также от условий съемки территории объекта, а также от периода съемки. Например, по зимним снимкам лучше определяются как границы сплошных вырубок, так и границы квартальной сети лесных массивов, а в весенне-летний период лучше оценивается период рубки: (свежая или прошлых лет) и преобладающая породы.

С позиции системного подхода систему оценки текущих изменений в лесном фонде по данным дистанционного зондирования лесов можно представить в виде систем сбора и обработки информации, планирования и принятия решения (рис. 9).

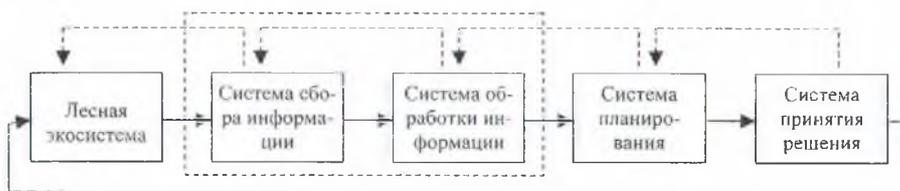


Рис. 9. Система оценки текущих изменений в лесном фонде

Информация о состоянии лесного фонда объекта (лесхоза) собирается в лесной экосистеме путем различных измерений (глазомерно-измерительная, выборочная, перечислительная таксация леса, материалы аэрофотосъемки космической съемки лесов и т.д.) и накапливается в системе сбора информации.

Данные обрабатываются в системе обработки информации с использованием современных технологий и техники по обработке дистанционных данных и поступают в систему планирования, где разрабатываются альтернативные варианты решения комплекса задач по оценке текущих изменений в лесном фонде.

Решение комплекса задач по оценке текущих изменений в лесном фонде означает, что оптимальный вариант получения лесных тематических карт (сплошных рубок, гарей, поврежденных насаждений и т.д.) по территории получен с необходимой точностью и минимумом затрат.

По каждой тематической лесной карте определяются изменения, произошедшие за определенный период времени, а также точность оценки категорий земель лесного фонда по следующим основным показателям: границы объектов, основные характеристики, совпадение объектов, выделенных на космическом снимке, характеристика эталонно-калибровочных участков леса, вероятность совпадения или несоответствия и др.

Каждая система имеет структуру: анализ – модели – синтез – результаты.

В системе предлагается оценивать следующие категории земель лесного фонда: 1) нелесные земли – населенные пункты, дороги, пашни, реки, водоемы, квартальные просеки, мелиоративная сеть, железные дороги, верховые безлесные болота; 2) непокрытые лесом земли – ветровалы, прогалины и пустоши, сплошные свежие вырубki, сплошные вырубki с возобновлением хвойными породами, сплошные вырубki с возобновлением лиственными породами; 3) покрытые лесом земли – естественные леса, искусственные леса, хвойный лес, лиственный лес, смешанные насаждения, усыхающие ельники, болота переходного и низинного типов, покрытые лесом.

На основании проведенных исследовательских работ совместно с сотрудниками НИИ ИФП БГУ и УП «Космоаэрогеология» была разработана общая схема технологического процесса при оценке текущих изменений в лесном фонде по материалам дистанционного зондирования в трехуровневой системе мониторинга лесов: космический, авиационный (с использованием АПК ВСК-2), наземный (с использованием ГИС «Лесные ресурсы») уровни. Она представляет собой систематизированную совокупность приемов и операций, которые необходимо выполнить для практической реализации оценки состояния лесов, их динамики и учета.

Технологический процесс системы оценки текущих изменений в лесном фонде включает 3 этапа: этап I. – получение и обработка космических снимков; этап II. – авиационные измерения с помощью АПК ВСК-2; этап III. – тематическая обработка данных и анализ полученных результатов. На окончательном этапе получают различные картографические данные по ДДЗ в виде актуализированных данных в ГИС «Лесные ресурсы», тематические карты, топокарты по космическим снимкам сверхвысокого разрешения и другие. Производится построение картосхем и вывод их на печать, построение карт-изображений, представляющих собой изображение-мозаику с атрибутивными данными (координатной сеткой, условными обозначениями, легендой, масштабом и пр.).

Выполнено дешифрирование сплошных вырубок, лесных пожаров и гарей на космических снимках Meteor-3M, Aster, Landsat 7 ETM+. Представлены таблицы описания объектов по признакам дешифрирования сосновых и еловых насаждений, а также других категорий покрытых и непокрытых лесом

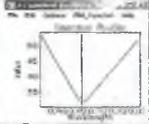
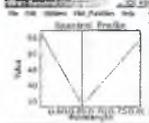
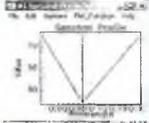
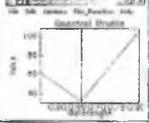
земель с определением спектральных кривых и спектральной плотности изображений, характеризующих объект на снимке.

Составлены таблицы дешифрирования покрытых и непокрытых лесом земель по данным дистанционного зондирования, где основным признаком является цвет изображения (табл. 2). Более полное содержание таблицы, а также другие таблицы дешифрирования разных категорий земель по материалам съемки с ВСК-2, а также космических систем Terra-Aster, Landsat 7ETM<sup>+</sup>, Метеор-3М представлены в диссертационной работе.

По объектам исследования получены тематические карты хвойных и лиственных насаждений, вырубок, усыхающих насаждений, ветровалов.

Таблица 2

### Дешифрирование покрытых и непокрытых лесом земель по космическим снимкам Terra-Aster

Название категории земель и насажд.	Сочетание каналов по снимкам Aster			
	1, 3, 2 (0,55; 0,85; 0,65 мкм) описание объекта на снимке	изображение объекта	спектральные кривые	плотность изображ.
1	2	3	4	5
Чистые сосновые древостой	имеют зеленый цвет, структура изображения равномерная, плотная			1=54 2=31 3=53
Чистые еловые древостой	представлены темно-зелеными цветами изображения с сероватым оттенком, структура изображения плотная			1=57 2=34 3=55
Вырубки сплошные: – свежие	границы четко выделяются, площадь рубки имеет бледный цвет с красноватым оттенком.			1=73 2=56 3=74
– прошлых лет	имеют зеленоватый фон изображения, хорошо отделяются от лесных массивов, структура изображения рыхлая			1=62 2=32 3=105
Усыхающие насаждения	определение усыхающих еловых древостоев затруднительно, т.к. представлено куртинами, при массовом усыхании темно-зеленый фон, характеризующий еловое насаждение, наполняется светло-зеленым (светло-красным) цветом с сероватым оттенком из-за влияния лиственных пород под пологом древостоя			1=59 2=35 3=52
Лесные пожары и гари	лесные пожары хорошо заметны по шлейфам дыма, гари имеют ярко-красный или темно-фиолетовый цвет выгоревшего участка			1=66 2=2 3=130

В результате проведенной работы разработаны методы оценки вырубок, ветровалов, насаждений, пройденных лесными пожарами, гарей, усыхающих насаждений, основанных на использовании материалов космической съемки, сканирования лесного полога с авиационного аппаратно-программного комплекса ВСК-2, данных ГИС «Лесные ресурсы», глазомерно-измерительной таксации на эталонно-калибровочных участках. Данные методы имеют большое значение при оценке состояния государственного учета лесов, в аэрокосмическом лесном мониторинге.

Экономическая эффективность в значительной степени определяется наличием достаточно полной и надежной информации о состоянии лесов и происходящих в них изменениях. Как показали результаты, использование материалов дистанционного зондирования лесов позволяет значительно снизить затраты на оценку состояния участков, поврежденных впоследствии стихийных бедствий. Выполнен расчёт затрат по определению границ ветровала наземным методом и с использованием космических снимков и ГИС «Лесные ресурсы». Экономический эффект при оценке границ ветровала на площади 300 га составил 27,2 %. Оценка ущерба и потерь в древесине на данной территории составила 132 761 тыс. руб. или 47,6 %.

Современные методы и технологии дистанционного зондирования лесов эффективны только при комплексном использовании различных уровней мониторинга: космический, авиационный, наземный. Данные дистанционного зондирования лесов с ИСЗ дают наиболее обзорную, интегрированную информацию. Дополнительную информацию по отдельным лесным площадям получают авиационным методом сканирования лесов. Целесообразно стремиться получить максимум необходимых данных на основе анализа космической информации, а недостающие данные – аэро- и наземными методами. В свою очередь, наземные методы должны применяться для сбора лишь тех данных, которые трудно получить аэрокосмическими методами.

Наземные методы сбора информации в системе аэрокосмического мониторинга лесов (эталонно-калибровочные участки, стационары, постоянные пункты наблюдений) имеют исключительное значение при создании автоматизированной системы аэрокосмического мониторинга лесов, получении тематических лесных карт по сплошным рубкам, лесовосстановлению, лесным пожарам, поврежденным насаждениям.

### **Заключение**

1. Выполненное исследование подтверждает перспективность и эффективность использования данных дистанционного зондирования лесов при оценке текущих изменений в лесном фонде, в системе аэрокосмического мониторинга лесов Беларуси на трех уровнях: космический, авиационный, наземный.

Разработаны методы оценки текущих изменений в лесном фонде (вырубок, гарей, ветровалов, усыхающих насаждений) по материалам космической съемки лесов (снимки Метеор-ЗМ, Landsat 7 ETM<sup>+</sup>, Terra-Aster), сканирования

лесного полога с использованием авиационного аппаратно-программного комплекса ВСК-2, данных геоинформационной системы «Лесные ресурсы» и глазомерно-измерительной таксации древостоев [2, 3, 8, 10, 12].

2. Изучены закономерности спектрально-отражательных характеристик изображений различных категорий лесных земель и установлены их связи с таксационными показателями сосновых и еловых насаждений. Выявлено, что с увеличением возраста, полноты и лиственных пород в составе хвойных древостоев повышается спектральная плотность изображения на снимке. Представлены кривые спектральных яркостей различных категорий лесных земель по данным, полученным АПК ВСК-2, а также по данным космических снимков Aster, Landsat, Meteor [1, 4, 9, 11, 18].

3. Разработана система оценки текущих изменений в лесном фонде с использованием данных дистанционного зондирования лесов, включающая системы сбора и обработки информации, планирования и принятия решения. Представлена общая схема технологического процесса по оценке текущих изменений в лесном фонде по трехуровневой системе мониторинга лесов: космический, авиационный (с использованием АПК ВСК-2), наземный (с использованием ГИС «Лесные ресурсы» уровни [5, 6, 7, 11–17, 19–21].

4. Выполнено дешифрирование сосновых и еловых насаждений на снимках высокого разрешения Meteor-3M, Landsat 7 ETM<sup>+</sup>, Aster и составлены таблицы описания покрытых и непокрытых лесом земель с представлением спектральных кривых и значений спектральной плотности изображений объектов на снимке [4, 9, 13, 18].

5. Представлена методика создания тематических лесных карт различных категорий лесных земель по данным дистанционного зондирования лесов, которая может быть использована при разработке автоматизированной системы аэрокосмического мониторинга лесов [8, 20].

6. Выполнена оценка текущих изменений в сосновых и еловых лесах по материалам их дистанционного зондирования для тестовых полигонов части Молодечненского и Столбцовского лесхозов и составлены тематические карты хвойных и лиственных насаждений, сплошных вырубок, лесных пожаров и гарей, усыхающих ельников, ветровалов, которые могут быть использованы при изучении динамики лесного фонда [6, 11, 14, 17].

7. Экономическая эффективность использования материалов дистанционного зондирования лесов заключается в оценке состояния лесов, учете и динамике текущих изменений в лесном фонде, а также тематическом картографировании лесов в сочетании с выборочными методами таксации на эталонно-калибровочных участках в общей системе аэрокосмического мониторинга лесов. Выполнен расчет затрат по определению границ ветровала наземным методом и с использованием космических снимков и ГИС «Лесные ресурсы». Экономический эффект при оценке границ ветровала на площади 300 га составил 27,2 %. Оценка ущерба и потерь в древесине на данной территории определена в 132 761 тыс. руб. или 47,6 % [3, 5, 7].

## СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

## Статьи в сборниках

- 1 Атрощенко О.А., Беляев Б.И., Беляев Ю.В., Катковский Л.В., Сосенко В.А., Ильючик М.А. Методы использования спектрометрических и спектрально-анализных данных для диагностики состояния и породного состава лесов // Труды БГТУ. Сер. лесн. х-ва, – Мн., 2000. – вып. 8. – С. 45–57.
  - 2 Беляев Б.И., Катковский Л.В., Тяшкевич И.А., Ильючик М.А. Обработка материалов дистанционного зондирования для мониторинга лесов // Труды БГТУ. Сер. лесн. х-ва. – Мн., 2001. – вып. 9. – С. 81–87.
  - 3 Ильючик М.А., Матюшонок В.Г. Автоматизированная система обработки аэрокосмических снимков // Труды БГТУ. Сер. лесн. х-ва. – Мн., 2002. – вып. 10. – С. 104–108.
  - 4 Ильючик М.А. Спектрально-анализные характеристики лесного полога // Труды БГТУ. Сер. лесн. х-ва. – Мн., 2002. – вып. 10. – С. 99–104.
  - 5 Торчик Н.И., Кулагин А.П., Тяшкевич И.А., Ильючик М.А., Котова Е.В. Методы ресурсной оценки ущерба от лесных пожаров, ветровалов, усыхания древостоев в системе аэрокосмического мониторинга // Труды БГТУ. Сер. лесн. х-ва. – Мн., 2003. – вып. 11. – С. 126–130.
  - 6 Тяшкевич И.А., Беляев Б.И., Федоров Н.И., Блинцов А.И., Ярмолович В.А., Котова Е.В., Ильючик М.А. Наземно-дистанционный мониторинг корневой губки в лесах Беларуси // Труды БГТУ. Сер. лесн. х-ва. – Мн., 2003. – вып. 11. – С. 270–273.
  - 7 Тяшкевич И.А., Кулагин А.П., Беляев Б.И., Понтус А.Р., Марченко Я.И., Мишинева Г.Ф., Ильючик М.А., Котова Е.В. Технологический регламент диагностики кризисного состояния еловых насаждений на основе аэрокосмической и наземной информации // Труды БГТУ. Сер. лесн. х-ва. – Мн., 2003. – вып. 11. – С. 198–205.
  - 8 Тяшкевич И.А., Ильючик М.А., Котова Е.В. Методы обработки данных дистанционного зондирования для создания тематических лесных карт // Труды БГТУ. Сер. лесн. х-ва. – Мн., 2003. – вып. 11. – С. 150–154.
  - 9 Ильючик М.А. Закономерности спектральных характеристик различных категорий лесных земель по данным дистанционного зондирования лесов // Труды БГТУ. Сер. лесн. х-ва. – Мн., 2004. – вып. 12. – С. 76–82
- Тезисы докладов и материалы конференций**
- 10 Атрощенко О.А., Беляев Б.И., Ильючик М.А. Применение аппаратно-программного комплекса и спектрально-анализных изображений лесного полога с летательных аппаратов для оценки и мониторинга лесов // Ресурсосберегающие технологии в лесном хозяйстве, лесной и деревообрабатывающей промышленности: Матер. межд. н.-т. конф. – Мн., 1999. – С. 15–18.
  - 11 Ильючик М.А. Метод оценки лесных площадей на основе спектрально-анализных измерений лесного полога // НИРС-2000: 5-ая Республ. науч. конф. студ. и асп. Беларуси. – Гродно, 2000. – С. 276–278.
  - 12 Беляев Б.И., Катковский Л.В., Беляев Ю.В., Сосенко В.А., Веллер В.В., Не-

- стерович Э.И., Залетный В.М., Ильючик М.А. Авиационный аппаратно-программный комплекс оперативного контроля за состоянием лесов // Леса Беларуси и их рациональное использование: Матер. межд. н.-т. конф. – Мн., 2000. – С. 60–62.
- 13 Ильючик М.А. Дешифрирование авиационных и космических изображений для многоуровневого мониторинга состояния лесов // Леса Евразии в третьем тысячелетии: Матер. межд. конф. мол. уч. – М., 2001. – С. 50-51.
- 14 Ильючик М.А. Оценка состояния древостоев по аэрокосмическим изображениям // Экология 2002: Эстафета поколений: Матер. II Пушкинской межд. школы-семинара по экологии, Пушкино, 23–26 апр. 2002 г. – М., 2002. – С. 24.
- 15 Атрошенко О.А., Ильючик М.А. Система аэрокосмического мониторинга лесов республики Беларусь // Аэрокосмические методы в лесном комплексе: Матер. межд. науч.-практ. конф. – С.-Пб., 2002. – С. 53–55.
- 16 Ильючик М.А. Аэрокосмические технологии и средства учета текущих изменений в лесном фонде Беларуси // Леса Евразии в XXI веке: Восток-Запад: Матер. II межд. конф. мол. уч., Каменюки, 1–5 сент. 2002 г. / Бело-вежская пуща. – М., 2002. – С. 39–41.
- 17 Жогаль М.А., Ильючик М.А., Котова Е.В., Жуков Н.О. Ресурсная оценка последствий ветровалов на основании материалов космической съемки // Леса Европейского региона – устойчивое управление и развитие: Межд. науч.-практ. конф. – Мн., 2002. – С. 133–136.
- 18 Ильючик М.А. Коэффициенты спектральной яркости и вегетационного индекса в дистанционном зондировании лесов // Леса Евразии – Белые ночи: Матер. III межд. конф. мол. уч., С.-Петербург, 23–29 июня 2003 г. – М., 2003. – С. 65–66.
- 19 Minkevich S. and Nyuchyuk M. Remote Sensing Data in Forest Inventory and Monitoring: Experiences and Perspectives, XXXI. International Forestry Students Symposium, 1–15 September 2003, ed. Y.A.Seakin, Z. Ozule & G. Hinchley, – Istanbul, 2003. P. 51–53.
- 20 Торчик Н.И., Кулагин А.П., Тяшкович И.А., Ильючик М.А., Котова Е.В. Методы и результаты картирования усыхающих словых насаждений на основе аэрокосмической и наземной информации в Республике Беларусь // Земля из космоса – наиболее эффективные решения: I-я Межд. конф. – М., 2003. – С. 163–165.
- 21 Ильючик М.А. Мониторинг лесов Беларуси по данным их дистанционного зондирования // Леса Евразии – Восточные Карпаты: IV межд. конф. мол. уч., Рахов, 27 сент. – 1 окт. 2004 г. / Карпатский биосферный заповедник. – Москва, 2004. – С. 66–68.

## РЭЗІЮМЭ

*Львучык Міхаіл Аляксандравіч*

## РАСПРАЦОЎКА МЕТАДАЎ АЦЭНКІ БЯГУЧЫХ ЗМЯНЕННЯЎ У ЛЯСНЫМ ФОНДЗЕ ПА ДАНЫХ ДЫСТАНЦЫЙНАГА ЗАНДЗІРАВАННЯ ХВАЁВЫХ ЛЯСОЎ БЕЛАРУСІ

**Ключавыя словы:** дыстанцыйнае зандзіраванне лясоў, дазваляльная здольнасць здымкаў, тэматычнае картаванне, бягучыя змяненні ў лясным фондзе, геаінфармацыйныя сістэмы.

**Аб'ектам даследавання** з'яўляюцца хваёвыя насаджэнні часткі Маладзечанскага, Стаўбцоўскага, Валожынскага і Негарэльскага лясгасаў.

**Прадмет даследавання** – дэшыфравальныя ўласцівасці і спектральна-адлюстравальныя характарыстыкі лясных аб'ектаў на аэракасічных здымках.

**Мэта даследавання** – навукова абгрунтаваць і распрацаваць сістэму і метады ацэнкі бягучых змяненняў у лясным фондзе па матэрыялах дыстанцыйнага зандзіравання хваёвых лясоў, геаінфармацыйнай сістэмы «Лясныя рэсурсы» і вакамерна-вымяральной таксацыі дрэвастояў.

**Метадалогія** грунтуецца на сістэмным падыходзе да збору, аналізу даных, апрацоўцы матэрыялаў дыстанцыйнай здымкі, ацэнцы бягучых змяненняў у лясным фондзе па аэракасічных здымках. Галоўныя метады даследавання – метады лясной таксацыі, лесаўпарадкавання, тэматычнай класіфікацыі адлюстравання і распазнавання лясных аб'ектаў на здымках, спектральнага аналізу, інфармацыйных і камп'ютэрных тэхналогій.

**Атрыманая вынікі і іх навізна.** Упершыню распрацаваны сістэма і метады ацэнкі бягучых змяненняў у лясным фондзе хваёвых лясоў па даных касмічнай здымкі, сканавання ляснога долага з прымяненнем авіяцыйнага апаратна-праграмачнага комплексу, даных геаінфармацыйнай сістэмы «Лясныя рэсурсы» і вакамернай таксацыі дрэвастояў.

Вывучаны заканамернасці змянення спектральнай шчыльнасці адлюстравання розных катэгорый лясных зямель. Устаноўлены сувязі спектральна-адлюстравальных характарыстак лясных аб'ектаў на здымках з таксацыйнымі паказчыкамі сасновых і яловых насаджэнняў, такіх, як узрост, склад, адносная паўніна. Зроблена ацэнка бягучых змяненняў у сасновых і яловых лясах на эталонна-калібровачных участках па матэрыялах іх дыстанцыйнага зандзіравання і складзены тэматычныя лясныя карты суцэльных высечак, усыхаючых ельнікаў, ветравалаў у сувязі з геаінфармацыйнай сістэмай «Лясныя рэсурсы».

**Галіна выкарыстання.** Вынікі даследавання прызначаны для выкарыстання Лесаўпарадкавальным рэспубліканскім унітарным прадпрыемствам «Белдзяржлес» у сістэме аэракасічнага маніторынгу лясоў Беларусі.

## РЕЗЮМЕ

*Ильющик Михаил Александрович*

**РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ТЕКУЩИХ ИЗМЕНЕНИЙ  
В ЛЕСНОМ ФОНДЕ ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО  
ЗОНДИРОВАНИЯ ХВОЙНЫХ ЛЕСОВ БЕЛАРУСИ**

**Ключевые слова:** дистанционное зондирование лесов, пространственное разрешение снимков, тематическое картирование, текущие изменения в лесном фонде, геоинформационные системы.

**Объектом исследования** являются хвойные насаждения части Молодечненского, Столбцовского, Воложинского и Негорельского лесхозов.

**Предмет исследования** – дешифровочные признаки и спектрально-отражательные характеристики лесных объектов на аэрокосмических снимках.

**Цель исследования** – научно обосновать и разработать систему и методы оценки текущих изменений в лесном фонде по материалам дистанционного зондирования хвойных лесов, геоинформационной системы «Лесные ресурсы» и глазомерно-измерительной таксации древостоев.

**Методология** основана на системном подходе к сбору, анализу данных, обработке материалов дистанционных съемок, оценке текущих изменений в лесном фонде по аэрокосмическим снимкам. Основные методы исследования – методы лесной таксации, лесоустройства, тематической классификации изображений и распознавания лесных объектов на снимке, спектрального анализа, информационных и компьютерных технологий.

**Полученные результаты и их новизна.** Впервые научно обоснована и разработана система и методы оценки текущих изменений в лесном фонде хвойных лесов по материалам космической съемки, сканирования лесного полога с использованием авиационного аппаратно-программного комплекса, данных геоинформационной системы «Лесные ресурсы» и глазомерно-измерительной таксации древостоев.

Изучены закономерности изменений спектральной плотности изображения различных категорий лесных земель. Установлены связи спектрально-отражательных характеристик лесных объектов на снимке с таксационными показателями сосновых и еловых насаждений, такими как возраст, состав, относительная поднота. Выполнена оценка текущих изменений в сосновых и еловых лесах на эталонно-калибровочных участках по материалам их дистанционного зондирования и составлены тематические лесные карты сплошных вырубок, усыхающих ельников, ветровалов в связи с геоинформационной системой «Лесные ресурсы».

**Область применения.** Результаты исследования предназначены для использования Лесостроительным республиканским унитарным предприятием «Белгослес» в системе аэрокосмического мониторинга лесов Беларуси.

## SUMMARY

*Ilyuchyk Mikhail Aleksandravich*

**WORKING OUT OF CURRENT CHANGES ESTIMATION METHODS IN FOREST FUND ON THE BASIS OF REMOTE SENSING DATA OF CONIFEROUS FORESTS OF BELARUS**

**Key words:** forests remote sensing, spatial resolution of space images, thematic classification, current changes estimation methods, geoinformation systems.

**The object of the research** is coniferous forest stands of part of Maladechna, Staubtzy, Valoszhyh and Negarelae forestry enterprises.

**The subject of the research** – deciphering attributes and forests objects spectral-reflection characteristics on aerospace images.

**The purpose of the research** is to scientifically prove and work out a system of forest fund current changes estimation on the basis of forests remote sensing data as well as geographical information system “Forest Resources” and forest stands ocular-measuring data.

**The methodology** is based on the system approach towards data collecting and analysis, processing of remote sensing data, forest fund current changes estimation on aerospace images. Main methods of the research are methods of forest mensuration, forest inventory, pictures thematic classification and forests objects image deciphering, the spectral analysis and information technologies.

**Received results and novelty.** For the first time the system and methods of coniferous forests current changes estimation on the basis of space images data as well as forest canopy scanning data with the use of an air hardware-software complex, geoinformation system “Forest Resources” data and ocular-measuring forest stands data have been scientifically proved and developed.

Governing laws of changes of picture spectral density of various categories of forest lands have been studied. The regularities between forests objects images spectral-reflection characteristics and forest pine and spruce stands indexes such as age, composition, relative density levels have been determined. The estimation of current changes of pine and spruce etalon-calibration ground sample plots characteristics on the basis of remote sensing data is carried out. Some thematic forest maps of clear cutting areas, drying forest spruce stands in connection with geographical information system “Forest Resources” are given.

**The field of using.** The results of the research are supposed for using by Forest Inventory and Planning Institute “Belgosles” in the aerospace forest monitoring system of Belarus.

Ильючик Михаил Александрович

**РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ТЕКУЩИХ ИЗМЕНЕНИЙ  
В ЛЕСНОМ ФОНДЕ ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО  
ЗОНДИРОВАНИЯ ХВОЙНЫХ ЛЕСОВ БЕЛАРУСИ**

Подписано в печать 22.11.2004. Формат 60×84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать офсетная.  
Усл. печ. л. 1,3. Уч. изд. л. 1,2. Тираж 90 экз. Заказ 652.

Учреждение образования «Белорусский государственный  
технологический университет». 220050, Минск, Свердлова, 13а.  
Лицензия ЛИ № 02330/0133255 от 30.04.2004.

Отпечатано в лаборатории полиграфии учреждения образования  
«Белорусский государственный технологический университет».  
220050, Минск, Свердлова, 13.