



КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ И ОБМЕН ОПЫТОМ

УДК 674.032.13

Ю.А. Варфоломеев, А.Т. Гурьев, Р.А. Алешко

Северный (Арктический) федеральный университет

Варфоломеев Юрий Александрович родился в 1953 г., окончил в 1975 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор технических наук, профессор, проректор по инновационному развитию Северного (Арктического) федерального университета, заслуженный деятель науки РФ. Имеет более 300 научных трудов в области обеспечения долговечности древесины в строительстве экологически безопасными методами.

E-mail: y.varfolomeev@narfu.ru



Гурьев Александр Тимофеевич родился в 1949 г., окончил в 1971 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры информационных технологий, директор Института информационных и космических технологий Северного (Арктического) федерального университета. Имеет более 150 научных трудов в области исследования процессов лесного комплекса.

E-mail: atg6@rambler.ru



Алешко Роман Александрович родился в 1987 г., окончил в 2009 г. Архангельский государственный технический университет, ассистент кафедры информационных технологий Северного (Арктического) федерального университета. Имеет 10 научных трудов в области обработки данных дистанционного зондирования лесных территорий.

E-mail: roman@aleshko.com

**МЕТОДИЧЕСКИЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ
КОСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА БИОПОВРЕЖДЕНИЯ
И УСЫХАНИЯ ЕЛОВЫХ ЛЕСОВ***

Создан и апробирован комплекс методов и технических средств для оперативного высокоточного мониторинга усыхания еловых лесов Архангельской области, поврежденных биологическими вредителями. Описано развитие исследовательской базы для обеспечения лесной европейской части России космическими снимками различного разрешения в режиме реального времени. Решены задачи совершенствования методов обработки космических снимков усыхающих еловых лесов с биоповреждениями, а также создания в Архангельской области интегрированной распределенной информационной системы поддержки принятия решений для эффективного управления лесными территориями.

Ключевые слова: биоповреждение, усыхание, ель, пигментация, космические снимки, мониторинг.

* Исследования проводятся в соответствии с планом-графиком работ по проекту «Создание высокотехнологичного производства щепы из сухостойной древесины для получения сульфатной целлюлозы», победившему на конкурсе за право получения субсидии для выполнения НИОКР на основании постановления Правительства РФ № 218 от 09.04.2010 г. (государственный контракт № 13.G25.31.0036 от 07.09.2010 г., ОАО «Соломбальский ЦБК»).

В междуречье Пинеги и Северной Двины с 2001 г. зафиксировано массовое биоповреждение и усыхание еловых древостоев [16] объемом 100 млн м³. Эффективный мониторинг этих процессов и реализация мероприятий по локализации и ликвидации развития биопоражения древесины, а также ее вывозке для последующей переработки [2, 3] осложнены тем, что указанные лесные территории труднодоступны из-за отсутствия дорог. В создавшейся ситуации наиболее эффективно использовать космический мониторинг территорий [8, 9, 15].

Цель наших исследований – создать и апробировать комплекс методов и технических средств оперативного высокоточного мониторинга усыхания еловых лесов Архангельской области, поврежденных биологическими вредителями.

Решаемые в ходе этих исследований задачи:

совершенствование методов обработки космических снимков усыхающих биоповрежденных лесов;

развитие исследовательской базы для обеспечения европейской части России космическими снимками различного разрешения в режиме, близком к реальному времени [13];

создание интегрированной распределенной информационной системы поддержки принятия решений для эффективного управления лесными территориями с катастрофическими биоповреждениями [1, 4, 5, 7].

Источниками информации о состоянии лесов являются данные лесоустройства, сведения о лесопользовании и хозяйственной деятельности предприятий лесного комплекса, нормативные и государственные документы, результаты исследований лесных территорий полевыми, аэрокосмическими и др. методами.

В последние годы в Институте информационных и космических технологий (ИИКТ) С(А)ФУ (до 2010 г. – АГТУ) интенсивно развиваются методы тематической обработки космических снимков лесных территорий. Анализ исследований [10, 11, 14, 17, 18] в сфере лесопатологического мониторинга показал, что для этой цели чаще всего используют методику фиксации негативных изменений растительного покрова, основанную на вычислении вегетационных индексов. Большинство индексов рассчитывают с использованием многоспектральных космических снимков. Такие исследования проводятся преимущественно в летние месяцы.

Недостатками подобных методик являются: низкая точность определения местоположения и общей площади лесопатологий вследствие использования снимков среднего уровня разрешения; трудности разделения растительности по группам, соответствующим разным стадиям развития лесопатологий, а также объединения их в одну группу по ряду признаков.

При исследовании усыхания биоповрежденных еловых лесов на опытных участках междуречья Северной Двины и Пинеги анализировали снимки с космического аппарата (КА) Landsat-7, полученные через систему «Global Visualization Viewer» Геологической службы США (U.S. Geological Survey, USGS). В качестве базового участка использовали район Березниковского лесничества Архангельской области. По данным многолетних полевых исследований было зафиксировано биоповреждение и последующее усыхание еловых древостоев. Состояние исследуемой территории оценивали по летним снимкам, полученным со спутников в период с 2000 по 2010 гг. Даты космической съемки и характеристика исследованных снимков приведены в табл. 1, 2.

Таблица 1

Дата космической съемки

Номер по порядку	Год	Месяц	День
2	2000	Июль	13
3	2001	Июнь	30
4	2006	Июль	13
5	2006	Август	07
6	2007	Июль	09
7	2007	Август	10
8	2008	Июль	03
9	2010	Июль	01

Каждый спектральный канал (табл. 2) представляет изображение участка земной поверхности в одном из спектральных диапазонов. Помимо видимого диапазона, включающего голубой, зеленый и красный каналы, съемочная система КА Landsat-7 способна фиксировать отражающие свойства земных объектов в ближнем и среднем инфракрасных (ИК) каналах, а также в тепловом. Анализ снимков показал, что в зеленом, ближнем и среднем ИК каналах наблюдаются максимумы функции отражения зеленых растений (рис. 1). Это свидетельствует о том, что при обработке снимков, выбранных нами в качестве объекта исследований, можно получить релевантную информацию для системного анализа состояния растительных покровов в конкретный период времени. Комплексное исследование снимков, полученных в заданные периоды на протяжении длительного времени, позволит выявить динамику анализируемых процессов.

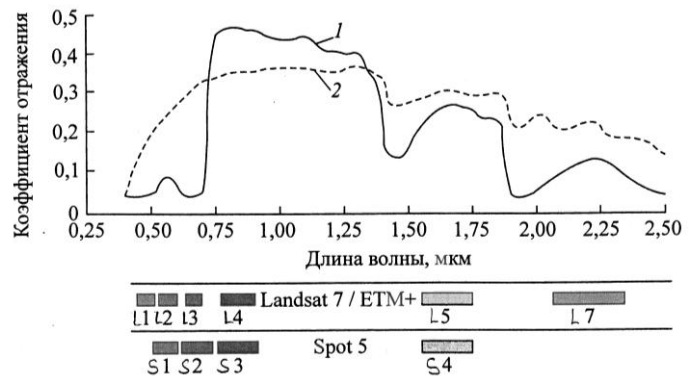
Таблица 2

Характеристика снимков, полученных на аппарате Landsat-7

Номер канала	Спектральный диапазон снимка, мкм, (канал)	Пространственное разрешение, м	Полоса обзора, км	Повторяемость съемки одной территории
10	0,450 ... 0,515 (голубой)	30	185	16 сут
20	0,525 ... 0,605 (зеленый)	30		
30	0,630 ... 0,690 (красный)	30		
40	0,750 ... 0,900 (ближний ИК)	30		
50	1,550... 1,750 (средний ИК)	30		
70	2,090 ... 2,350 (средний ИК)	30		
61	10,400 ... 12,500 (тепловой ИК)	60		
62	10,400 ... 12,500 (тепловой ИК)	60		
80	0,520...0,900 (панхроматический)	15		

Следует отметить, что по характеру отражения солнечного света в различных диапазонах длин волн можно изучать различные параметры растительности: диапазон 0...0,750 мкм характеризует наличие пигментов растительности, 0,750...1,375 мкм – структуру клеток растений, более 1,375 мкм – содержание воды (рис. 1). Установлено, что даже на ранних этапах биоповреждения и последующего усыхания исследуемые ельники характеризуются заметной потерей естественной пигментации и влажности хвои (рис. 1).

Рис. 1. Оценка отражательной способности здоровой (1) и поврежденной (2) растительности: L1...L5, L7 – каналы съемки КА Landsat-7/ETM+; S1...S4 – каналы съемки Spot 5



Указанные патологические изменения определяли, анализируя космические снимки и используя эффект значительного изменения спектральной отражательной способности усыхающих биоповрежденных деревьев по сравнению со здоровыми. Выявлено, что наиболее существенные различия отражения наблюдаются в среднем ИК канале съемочной системы КА Landsat-7, диапазон длин волн которого составляет 2,09...2,35 мкм и характеризует наличие влаги в рассматриваемых древостоях.

Наиболее интенсивное биоповреждение и усыхание еловых древостоев на территории Архангельской области зафиксировано в 2003–2004 гг. Для оценки масштабов и динамики патологических процессов были проанализированы данные космической съемки в летние периоды 2000–2008 гг.

Для выявления изменений на исследуемых территориях был осуществлен синтез двух разновременных снимков со средних ИК каналов изображений. Выявлено, что RGB-композит, полученный по указанной методике синтеза, имел следующий состав: R – средний ИК канал снимка 2008 г., G и B – средний ИК канал снимка 2000 г. На синтезированном изображении были зафиксированы отчетливые ярко-красные участки, где произошли наиболее существенные изменения в 2000–2008 гг. Часть из них имела четкие границы и однородную структуру. Эти области классифицировали как вырубки (что подтверждено результатами полевых исследований и материалами лесопользования). Зафиксированы также области, имеющие аморфные границы и разнородную структуру. Их характер свидетельствует о природном происхождении и существенной неоднородности исследуемых лесов на этих участках. Такие неоднородные участки могут быть интерпретированы как усыхающие или сухие древостои, либо как заболоченные лесные территории. Обработанные космические снимки территорий усыхающих лесов с биоповреждениями приведены на третьей странице обложки журнала.

С помощью разработанной методики был получен RGB-композит разновременных снимков и точно определены участки Березниковского лесничества, на которых наблюдались изменения лесного покрова. При этом выявлены участки с изменениями природного происхождения и вырубки. Однако достоверно выделить участки с сухостойной древесиной и классифицировать их по степени усыхания не представлялось возможным.

Для устранения отмеченных недостатков распознавания космических снимков необходимо привлекать результаты полевых исследований, а также данные последнего лесоустройства изучаемой территории. Для более точного

определения типа и степени возникших лесопатологий необходимо использовать снимки высокого и сверхвысокого разрешения (1 метр/пиксель и выше). При использовании снимков такого рода, помимо цветовой составляющей, появится возможность для анализа рисунка объектов, находящихся на этой территории.

Рисунок изображения зависит от строения, конфигурации, размеров, взаимного расположения объектов, их тональных (цветовых) различий. Составляющими рисунка являются структура (набор форм, размеров, тонов или цветов и цветовых оттенков, участвующих в его формировании) и текстура (пространственное расположение структур, их взаимное сочетание). С определенным допущением можно сказать, что структура характеризует содержательное разнообразие природного комплекса, а текстура – геометрическое разнообразие его изображения. Рисунок изображений обычно сложен и включает иерархию структур и текстур [14].

При анализе структурных и текстурных составляющих рисунка изображения можно получить более полные и достоверные данные о составе растительных объектов. Указанные исследования позволяют значительно усовершенствовать методику распознавания усыхающих еловых лесов с биоповреждениями. Эти требования к испытательному оборудованию, предназначенному для мониторинга лесов и решения множества других научных и практических задач, были учтены специалистами С(А)ФУ и ИТЦ «СканЭкс» (г. Москва) при разработке проекта регионального технического комплекса для приема данных дистанционного зондирования (ДДЗ) Земли. Оборудование, выбранное с учетом сформулированных требований, обеспечивает высококачественный прием многоспектральных снимков низкого, среднего и высокого разрешения, а также радиолокационных снимков. Для широкого тематического использования этих данных подобран комплекс оборудования, позволяющий охватывать территорию мониторинга радиусом до 3500 км.

В С(А)ФУ 18 ноября 2010 г. был введен в эксплуатацию Центр космического мониторинга Арктики (ЦКМА) для приема данных ДДЗ с космических аппаратов Terra, Aqua MODIS, SPOT-5, EROS-B, RADARSAT-1, 2. Применение этих данных возможно в различных сферах: мониторинг лесов, снежного и ледового покрова на крупнорегиональном уровне; оперативный мониторинг паводковой ситуации на крупных реках; исследование состояния и изменения ландшафтов арктического и др. регионов.

При обработке данных лесных территорий можно использовать данные спутников:

Terra, Aqua MODIS (оперативный мониторинг лесных пожаров (частота съемки до 2-х раз в сутки);

SPOT-5 (мониторинг лесных территорий: оценка состояния лесов, выявление ареалов биоповреждения и усыхания, заболачивания и т.п.; комплексный контроль лесохозяйственной деятельности; мониторинг сплошных и выборочных рубок; оценка ущерба от лесных пожаров; обновление лесных карт);

EROS-B (выборочные обследования лесных территорий).

Архангельский ЦКМА обеспечивает мониторинг лесов практически на всей европейской части России и в примыкающих регионах. Его услугами могут пользоваться большинство учебных заведений лесного профиля. Радиус охвата сканируемой территории показан на второй странице обложки журнала.

В рамках программы инновационного развития С(А)ФУ осуществляется комплекс подготовительных работ по созданию в ИИКТ С(А)ФУ научно-образовательного центра ассоциации лесных вузов для системного космического мониторинга лесных территорий европейской части РФ.

Для создания распределенной непрерывно актуализируемой базы данных (БД) лесных насаждений ИИКТ С(А)ФУ департамент лесного комплекса администрации Архангельской области, Архангельское лесничество, Архангельский филиал ФГУП «Рослеспроект» заключили соглашение о сотрудничестве в сфере освоения информационных технологий, с помощью которых на первом этапе будет обеспечена частичная компенсация устаревшей информации по лесоустройству, а в перспективе – поддержка БД о лесном фонде в постоянно актуализируемом состоянии для ведения лесного реестра, организации эффективного использования лесов, контроля и корректировки системы лесного планирования. На первом этапе осуществляется информационная поддержка на базе Архангельского лесничества.

Цель реализации распределенной БД – создать на основе лесоустроительной таксационной БД непрерывно актуализируемую БД лесных насаждений для эффективного управления лесным хозяйством и лесопользованием.

Для реализации распределенной БД с совмещением картографической и атрибутивной информации использована СУБД PostgreSQL и модуль вывода графической информации SharpMap. Структура БД состоит из 17 таблиц. В основной таблице graph хранится картографическая информация, в остальных – необходимая атрибутивная информация. Актуализация БД производится за счет заполнения ее регулярно поступающей новой информацией.

С помощью специальных запросов пользователь может просматривать любые реализованные мероприятия, в любой интересующий год, в любом квартале или выделе. Также разработан специальный модуль, который при необходимости обеспечивает формирование основного документа лесоустроителей «Таксационное описание». Для создания 17 форм Лесного реестра были составлены алгоритмы заполнения и сформированы файлы корректировки. В настоящее время разработана первая версия этой системы, которая проходит апробацию в производственных условиях Архангельского лесничества.

В дальнейшем предполагается создание системы обновления репликаций БД, отработка системы дешифрирования ДДЗ Земли, поступающих из различных источников (мониторинг рубок, пожаров и т.д.) для актуализации БД лесных насаждений. Для снижения трудоемкости непрерывной актуализации БД предложено использовать интеллектуальные методы, в первую очередь, при обработке и дешифрировании ДДЗ, автоматизации актуализации БД. После внедрения, апробации и обеспечения устойчивой работы системы в Архангельском лесничестве запланировано последовательное подключение к настоящему эксперименту других лесничеств Архангельской области. Ведется разработка системы информационной поддержки принятия управленческих решений на основе актуализируемой БД лесных насаждений, которая особенно необходима департаменту лесного комплекса, лесничествам и арендаторам-лесопользователям для эффективного управления территориями усыхающих еловых лесов между речья Северной Двины и Пинеги. Предусмотрена интеграция и обновление основных информационных ресурсов: распределенной БД о лесных насаждениях;

природно-производственных условиях освоения лесов; непрерывно актуализируемого геопортала исследуемых территорий. Источниками информации являются ДДЗ, результаты полевых исследований, сведения о хозяйственной деятельности и др. Решение задач лесопользования, лесоустройства и ряда других основано на использовании единой информационной базы.

Для практической реализации разработанных решений в ИИКТ С(А)ФУ создан комплекс нового программного обеспечения, зарегистрированного в реестре программ для ЭВМ [6, 12]. В 2009 г. на Соловецком архипелаге была проведена всероссийская конференция «Перспективы и направления развития информационных технологий при освоении лесов», на которой участники обсудили план ускоренной практической реализации в Архангельске проекта космического мониторинга лесов европейской части России за счет модернизации технического оснащения и программного обеспечения.

Работы по мониторингу территорий с биоповрежденными усыхающими лесами и использованию полученных данных для ликвидации негативных последствий этих процессов и решения задач комплексной переработки древесины с дефектами носят междисциплинарный характер. Поэтому к инновационной работе по реализации этого проекта привлечены профессорско-преподавательский коллектив, докторанты, аспиранты и студенты ряда институтов С(А)ФУ. Такой подход позволяет кардинально модернизировать процесс обучения в вузе благодаря его совмещению с актуальной исследовательской и производственной деятельностью на основе использования высокотехнологичного оборудования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алешко Р.А., Гурьев А.Т., Торхов С.В.* Программа автоматизированного определения основных таксационных показателей лесов Европейского Севера по данным спутниковых снимков // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2009614299; зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 19.06. 2009 г.
2. *Варфоломеев Ю.А.* Использование еловой древесины с биологическими поражениями // Лесн. журн. – 2005. – № 4. – С. 151–153. – (Изв. высш. учеб. заведений).
3. *Варфоломеев Ю.А.* Модернизация производства переработки еловой древесины с биоповреждениями // Лесн. журн. – 2010. – № 4. – С. 142–147. – (Изв. высш. учеб. заведений).
4. *Гурьев А.Т., Алешко Р.А.* К вопросу автоматического дешифрирования аэрокосмических снимков лесных территорий // Современная наука и образование в решении проблем экономики Европейского Севера: материалы Междунар. науч.-техн. конф., посвященной 80-летию АЛТИ–АГТУ. – Архангельск, 2009. – С. 231–233.
5. *Гурьев А.Т., Алешко Р.А.* Обновление совмещенной базы данных картографической и атрибутивной информации лесных насаждений путем автоматизации дешифрирования данных дистанционного зондирования // Земля из космоса – наиболее эффективные решения: сб. тез. 4-й Междунар. конф. (1–3 дек. 2009 г.). – М.: Инженерно-технол. центр «СканЭкс»; НП «Прозрачный мир»; ООО «Издательство БИНОМ», 2009. – С. 233–234.
6. *Гурьев А.Т., Блок А.А.* Система поддержки принятия решений по выбору комплекса лесозаготовительных машин с учетом природно-производственных условий эксплуатации // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2010612294; зарегистрировано в реестре программ для ЭВМ 26.03.2010 г.
7. *Гурьев А.Т.* Основные принципы и методы создания достоверных, непрерывно актуализируемых баз данных о лесном фонде // Дистанционные методы в лесоустройстве и учете лесов, приборы и технологии: материалы Всерос. совещания-семинара с международным участием (Красноярск, 28 сент. – 1 окт. 2005 г.). – Красноярск: Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, 2005. – С. 39–42.

8. Гурьев А.Т., Торхов С.В., Трубин Д.В. Вопросы информационного обеспечения процессов лесного сектора // Лесн. журн. – 2004. – № 3. – С. 125–134. – (Изв. высш. учеб. заведений).
9. Комплексная система для поддержки принятия решений в задачах управления регионом на основе космического мониторинга / А.Т. Гурьев [и др.] // Наука – Северному региону: сб. науч. тр. – Архангельск: С(А)ФУ, 2010. – Вып. 83. – С. 202–206.
10. Определение масштабов усыхания хвойных лесов Европейского Севера по данным спутниковых наблюдений / Н.В. Девятова [и др.] // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – Т. II. – Москва, 2007. – С. 204–211.
11. Оценка повреждений лесов сибирским шелкопрядом в Центральной Якутии по данным спектрорадиометра MODIS-TERRA / Н.В. Девятова [и др.] // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – Т. II. – Москва, 2006. – С. 306–314.
12. Распределенная информационная система управления лесными ресурсами // А.Т. Гурьев [и др.] // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 20100612295; зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 26.03.2010 г.
13. Региональный центр космического мониторинга / О.В. Майданович [и др.] // Научно-технические аспекты совершенствования эксплуатации существующих и испытаний перспективных образцов ракетно-космической техники в современных условиях: сб. тр. XXVII Межведомственной науч.-техн. конф. космодрома «Плесецк». – 1-й ГИК МО РФ, 2010. – С. 46–48.
14. Сухих В.И. Аэрокосмические методы в лесном хозяйстве и ландшафтном строительстве: учеб. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2005. – 392 с.
15. Функциональное моделирование лесного хозяйства / А.Т. Гурьев [и др.] // Лесн. журн. – 2004. – №1. – С. 135–144. – (Изв. высш. учеб. заведений).
16. Цветков В.Ф., Цветков И.В. Структурная перестройка старовозрастных ельников Архангельской области в результате их массивированного пятнистого усыхания // Хвойные леса северных широт: от исследований к экологически ответственному лесному хозяйству: сб. НИИЛеса Финляндии. – Колари, 2009. – С. 144–134.
17. Черепанов А.С., Дружинина Е.Г. Спектральные свойства растительности и вегетационные индексы // Геоматика. – 2009. – № 3. – С. 28–32.
18. Черепанов А.С. Технология выявления медленных изменений в лесах по мультиспектральным космическим снимкам (на примере вымокания лесов) // Геоматика. – 2009. – № 3. – С. 66–75.

Yu.A. Varfolomeev, A.T. Guriev, R.A. Aleshko

Northern (Arctic) Federal University

Methodical and Technical Aspects of Space Monitoring of Biodeterioration and Drying of Spruce Forests

A set of methods and technical means for on-line precision monitoring of Arkhangelsk region spruce forests damaged by pests is developed and approved. The research base development for providing on-line satellite images of different resolution for European Russia forests is described. The methods of satellite images processing of drying spruce forests with biodeterioration are improved. The integrated, distributed information system of decision-making support for the efficient forest management is established.

Keywords: biodeterioration, drying, spruce, pigmentation, satellite images, monitoring.
