

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки РАН
Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов

**АЭРОКОСМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ
И ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ В ЛЕСОВЕДЕНИИ
И ЛЕСНОМ ХОЗЯЙСТВЕ**

**Доклады V Всероссийской конференции
(с международным участием),
*посвященной памяти выдающихся
ученых-лесоводов В.И. Сухих и Г.Н. Коровина***

(Москва, 22-24 апреля 2013 г.)

Москва 2013

УДК 630.587+502.3:679.78+681.3.069

A99 АЭРОКОСМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ И ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЛЕСОВЕДЕНИИ И ЛЕСНОМ ХОЗЯЙСТВЕ: Доклады V Всероссийской конференции, посвященной памяти выдающихся ученых-лесоводов В.И. Сухих и Г.Н. Коровина (Москва, 22-24 апреля 2013 г.) - М.: ЦЭПЛ РАН, 2013 г. – 348 с.

Редакционная коллегия:

к.т.н. Д. В. Ершов (отв. редактор), д.с.-х.н. В. М. Жулин, к.г.н. С. В. Князева, к.б.н. С. П. Эйдлина, Е. Н. Соколова, к.т.н. Н. В. Королева

В сборнике представлено более 100 докладов, в которых рассмотрены вопросы применения аэрокосмических методов и геоинформационных технологий, математического моделирования лесных экосистем, мониторинга лесных пожаров, оценки биосферных функций леса. В начале сборника представлены материалы, посвященные этапам жизненного пути и вкладу выдающихся ученых акад. РАЕН В.И. Сухих и чл.-корр. РАН Г.Н. Коровина в развитие лесной науки и лесостроительства.

Значительное внимание в материалах конференции уделено результатам научных исследований и практического использования данных дистанционного зондирования, геоинформационных систем и систем геопозиционирования в лесоведении и лесном хозяйстве, в охране и защите лесов, для мониторинга ООПТ и городских зеленых насаждений, а также подготовке специалистов экологического и лесного профиля в высших учебных заведениях и на курсах повышения квалификации.

Книга предназначена для работников лесного хозяйства (лесоустроителей, специалистов лесоохраны и лесозащиты и др.), лесных экологов, геоботаников, географов, почвоведов и всех, кого интересуют проблемы изучения лесов.

A99 AEROSPACE METHODS AND GIS-TECHNOLOGIES IN FORESTRY AND FOREST MANAGEMENT: Proceedings of the V All-Russian Conference, dedicated to the memory of Vasily Iv. Sukhikh and Georgy N. Korovin. Moscow, Russia, April 22-24, 2013. – М. CEPF RAS, 2013 - 348 p.

Editorial Board:

Dr. D. V. Ershov (Managing Editor), Dr. Sc. V. M. Zhirin, Dr. S. V. Knyazeva, Dr. S. P. Eidlina, E. N. Sokolova, Dr. N. V. Korolyeva

Proceedings contain more than 100 scientific reports presented to the Conference dedicated to the memory of Vasily Iv. Sukhikh and Georgy N. Korovin. These Proceedings deals with the problems of practical application of aerospace methods and geo-information systems, mathematical modeling methods for forest ecosystems, forest fires monitoring, assessment of a contribution of forest ecosystems in biospheric cycles.

Significant attention is paid to results of scientific researches and practical application of space methods, geoinformation systems and geopositioning systems in forestry and forest management, in assessment of biospheric functions of forests, in protection of the forest, for city green plantings monitoring, and also for training of an ecological and forest profile specialists.

The monograph is recommended for specialists in forestry management (forest surveyors, forest managers, forest pathologists etc.), for forest zoologists, ecologists, geographers and for all others who are interested in the forest problem.

ISBN 978-5-9901791-5-8

ПРЕДИСЛОВИЕ

В 2013 году исполняется двадцать лет с начала проведения конференций с целевым названием «Аэрокосмические методы и геоинформационные системы в лесоведении и лесном хозяйстве». В период с 1993 по 2007 гг. состоялось четыре конференции, нынешняя пятая проходит без участия их вдохновителей и организаторов, крупных учёных и энтузиастов применения информационных технологий в лесоведении, лесоустройстве и лесном хозяйстве Василия Ивановича Сухих и Георгия Николаевича Коровина, которые недавно ушли из жизни. V Всероссийская (с международным участием) конференция будет добрым знаком памяти нашим коллегам и товарищам по работе.

Лесное хозяйство Российской Федерации в настоящее время продолжает оставаться во многом отсталой отраслью, требующей существенной модернизации основных направлений деятельности с использованием современных инновационных научно-технических достижений. К системным проблемам, сдерживающим эффективное лесоправление, в частности, относятся недостаточная точность оценки лесоресурсного и лесозоологического потенциалов страны и субъектов Федерации, относительно низкий уровень использования современных информационных технологий в лесном хозяйстве. Преодолеть это отставание отчасти возможно за счёт применения материалов дистанционных съёмок различного пространственного разрешения и геоинформационных технологий с целью оказания специалистам информационной поддержки и более полного обеспечения научно-прикладных задач достоверными сведениями о протекающих процессах в лесной среде.

Известно, что успешность тематического применения данных дистанционных съёмок зависит не только от достоверного *обнаружения* и *опознания* объектов наблюдений на материалах съёмок, но и от *интерпретации* полученных результатов с учётом научных представлений о характере природных явлений.

В настоящее время наблюдается практически свободный доступ к спутниковым данным, расширяется круг специалистов по их применению в области изучения природных ресурсов, которые зачастую ограничивают своё участие процедурой обнаружения и опознания объектов дешифрирования. В то же время становится очевидной потребность накопления практического опыта у пользователей материалов дистанционных съёмок, способных проводить интерпретацию полученных результатов и квалифицированный лесоводственный анализ спутниковой информации, совершенствуя методы обработки и верификации данных дистанционного зондирования путём более глубокого изучения структурно-функциональных особенностей лесных экосистем.

Анализ материалов, представленных на конференцию от российских и зарубежных учёных и специалистов, показывает, что в большинстве случаев они нацелены на решение конкретных научно-прикладных задач с помощью средств аэрокосмической техники. Широкий спектр ориентированных геоинформационных технологий, предложенный для обсуждения, включает вопросы инвентаризации лесов разных категорий (защитные, эксплуатационные, резервные, городские), оценки их состояния и нарушенности. В ряде исследований приведен анализ моделей и сценариев развития лесных сообществ в зависимости от воздействия на лес природных и антропогенных факторов среды. Представлено несколько серьёзных работ, в которых рассмотрены вопросы совершенствования технологии картографирования лесов и составления лесных карт оригинального содержания на региональном и федеральном уровнях. Не обойдены вниманием также структурные вопросы организации дистанционного мониторинга лесов.

Публикуемые тезисы докладов приведены в виде, представленном авторами, без редактирования, за исключением исправления грамматических ошибок.

В общей сложности на конференцию представлены более 100 докладов, участие в их подготовке приняли около 200 авторов, в том числе 30 представителей молодых учёных и специалистов.

Редакционная коллегия

ВАСИЛИЙ ИВАНОВИЧ СУХИХ – ЛЕСОУСТРОИТЕЛЬ, УЧЕНЫЙ, ПРЕПОДАВАТЕЛЬ

2 марта 2013 г. исполнился 81 год со дня рождения Василия Ивановича Сухих - крупного ученого-лесоведа, организатора науки и производства, широко известного в России и за рубежом, доктора сельскохозяйственных наук, профессора, заслуженного лесоведа РСФСР, заслуженного инженера России, Лауреата Премии Правительства России в области науки и техники, члена Российской и Международной инженерных академий, Российской академии космонавтики имени К.Э. Циолковского и Российской академии естественных наук.

В.И. Сухих родился в 1932 г. в г. Шахунья Горьковской области в многодетной рабочей семье. Окончив в 1950 г. среднюю школу с серебряной медалью, он имел возможность без экзаменов поступить в любой ВУЗ страны, но выбрал лесохозяйственный факультет Ленинградской лесотехнической академии им. С.М. Кирова.

Пять лет учёбы позволили получить профессиональные знания, приобрести первичные навыки практической работы. В его дипломной работе были изучены вопросы лесотаксационного дешифрирования крупномасштабных аэрофотоснимков. Творческие отношения у В.И. Сухих сложились с руководителем дипломной работы Г.Г. Самойловичем, который вскоре стал доктором наук, профессором, заведующим кафедрой лесной таксации, лесоустройства и аэрофотосъёмки лесотехнической академии.

После окончания академии В.И. Сухих был направлен на работу в г. Горький в Волжско-Камский аэрофотолесоустроительный трест (впоследствии Поволжское лесоустроительное предприятие). С того времени более 50 лет его производственная и научная деятельность была неразрывно связана с лесоустройством. В ней четко просматриваются четыре этапа.

Первый этап – 1955 – 1972 гг. – работа в Поволжском лесоустроительном предприятии таксатором, начальником лесоустроительной партии, начальником фотограмметрической партии, главным инженером экспедиции, начальником производственного отдела и, наконец, главным инженером предприятия.

В этот период он активно участвовал в работах по устройству лесов Поволжья, Урала, Восточной Сибири, разработке проектов организации и развития лесного хозяйства, генеральных схем комплексного развития лесного хозяйства и лесной промышленности. Им была разработана и внедрена в предприятии новая технология инвентаризации лесов на основе рационального сочетания наземных работ с камеральным дешифрированием цветных спектрозональных аэрофотоснимков, как в таежных лесах, так и в зоне интенсивного ведения лесного хозяйства.

При участии В.И. Сухих были разработаны основные положения организации и ведения лесного хозяйства областей и республик Поволжья и Урала, составлены местные таблицы хода роста и товарной структуры насаждений основных лесобразующих пород, обоснованы возрасты рубок главного пользования. Разработаны рекомендации по проведению в Поволжье и на Урале комплекса лесохозяйственных мероприятий с учетом почвенно-типологических и экономических условий.

В 1966 г. В.И. Сухих защитил кандидатскую диссертацию.

Второй этап – 1972– 1988 гг. – работа В.И. Сухих заместителем начальника объединения по научной работе – руководителем созданной в 1972 г. в составе В.О. «Леспроект» Научно-исследовательской части (НИЧ). Возглавляя НИЧ, он способствовал внедрению в лесоустройство материалов космической съёмки. В этот период были разработаны тактико-технические требования к средствам дистанционного зондирования лесов из космоса, разработана автоматизированная технологии составления лесных карт, разработан комплекс аэрокосмических методов и технологий разностороннего изучения лесов и оценки их состояния на площади свыше 800 млн. га.

Под его руководством в 1978-1981 гг. была составлена с помощью космических снимков карта лесов Монгольской народной республики в масштабе 1:1 000 000.

В 1984 г. состоялась защита В.И. Сухих докторской диссертации.

Особое удовлетворение Василий Иванович испытывал от сотрудничества с Центром подготовки космонавтов. Им совместно с космонавтами подготовлено и опубликовано ряд брошюр и статей, разработана Методика организации и проведения космовизуальных наблюдений в целях охраны лесов от пожаров.

Наряду с проблемой, связанной с применением средств космической техники для изучения природных ресурсов Земли, НИЧ выполнен большой объем научно-исследовательских разработок по применению математических методов, моделирования, электронно-вычислительной техники в планировании лесного хозяйства, лесоустроительном проектировании, при обработке лесоустроительной информации, разработке нормативных документов, созданию банка данных таксационных и таксационно-дешифровочных пробных площадей и пр. Большинство разработок были внедрены в лесоустроительное производство.

Учитывая значительные достижения НИЧ в области применения дистанционных методов при изучении лесов и оценке их состояния директивными органами страны и Секретариатом Организации Объединенных Наций было принято решение о проведении на базе НИЧ трех международных учебных семинаров для представителей более чем 50 стран Африки, Южной и Центральной Америки, Азии и некоторых стран Южной и Центральной Европы. Семинары получили высокую оценку Секретариата ООН, ЮНЕП и ряда других международных организаций, многих ученых, специалистов и слушателей семинаров.

В 1988 г. В.И. Сухих стал заместителем Председателя Государственного комитета СССР по лесу и возглавил блок лесного комплекса. При этом он оставался научным руководителем по проблемам применения в отрасли дистанционных методов, мониторинга лесов, компьютеризации лесного хозяйства. Под его руководством в 1988 – 1991 гг. была проведена большая работа по уточнению для всех регионов СССР норм рубки леса, обеспечивающих неистощительное лесопользование, прекращению перерубов расчетных лесосек, сохранению кедровых лесов, разработке новых прогрессивных нормативов и технологий по таксации леса, лесоустройству, лесопользованию.

По инициативе В.И. Сухих были осуществлены три крупномасштабные и высокоэффективные комплексные научные экспедиции: в 1989 г. по Дальневосточному экономическому району, в 1990 гг. – по всем республикам Средней Азии и Казахстану и в 1991 г. – по Западной Сибири. В результате этих экспедиций были разработаны предложения по развитию многоцелевого лесного хозяйства и лесопользования, разработаны конкретные планы мероприятий, рассмотренные и одобренные коллегией Госкомлеса СССР.

После упразднения союзных органов управления В.И. Сухих перешел на научную работу в Международный институт леса. Одновременно все эти и последующие годы он работал главным научным сотрудником в Центре по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН (ЦЭПЛ РАН), а с 2003 г. по совместительству еще и профессором кафедры лесоустройства и лесной таксации Марийского государственного технического университета.

Василий Иванович продолжал развитие дистанционных методов изучения лесов и оценки их состояния средствами аэрокосмической техники нового поколения с использованием геоинформационных технологий. В этот период разработана серия методических рекомендаций по решению задач мониторинга лесов на современной научно-методической и технической базе (инвентаризации лесов, контроля за порядком лесопользования - нелегальными рубками, состоянием лесовосстановления, лесоразведения и др.), которые нашли практическое применение. За цикл выполненных им работ по созданию и внедрению комплексной системы мониторинга природных ресурсов Земли, ему в 2002 г. была присуждена Премия Правительства Российской Федерации в области науки и техники.

Наряду с развитием дистанционных методов в последние 18 лет в сферу научных интересов В.И. Сухих входили также проблемы, связанные с развитием теории и практики лесоустройства, лесной таксации, многоцелевого лесопользования, оценкой последствий лесозаготовительных работ и различных технических средств на экологию леса, информационному обеспечению органов управления лесным сектором экономики, выработкой лесной политики и др.

Свою разностороннюю научно-производственную деятельность на всех ее этапах Василий Иванович совмещал с активной общественной работой. Он был членом различных научно-технических советов ГКНТ СССР, Гослесхоза СССР, Госкомлеса СССР, ГУГиК пи СМ СССР, Росавиакосмоса, Рослесхоза, ряда других министерств, ведомств и организаций, ученых и специализированных диссертационных советов, редакционных коллегий. Он был председателем секции лесоустройства и лесопользования научно-технического совета Рослесхоза, членом экспертного совета по рассмотрению расчетных лесосек, членом двух диссертационных советов, членом редколлегий журналов «Лесоведение», «Исследование Земли из космоса», «Лесоустройство и лесная таксация», членом бюро секции инженерной экологии Российской инженерной академии, Совета по космосу при Президиуме РАН, научного совета ООБ РАН по проблемам леса и др.

Долгие годы он возглавлял секцию VII Национального комитета фотограмметристов СССР, активно участвуя в работе Международного фотограмметрического общества. В 1988-1991 гг. был сопредседателем рабочей группы по сотрудничеству в области лесного хозяйства СССР и Финляндии.

Василий Иванович Сухих был инициатором организации первой и всех последующих научных конференций «Аэрокосмические методы и геоинформационные технологии в лесоведении и лесном хозяйстве». При его активном участие и руководстве проведено три (1995 г. – в Нижнем Новгороде, 1998 и 2002 гг. – в г. Москве) Всероссийских (с международным участием) и одна Международная (2007 г. – в Москве) конференций по применению дистанционных методов и ГИС технологий в лесоведении и лесном хозяйстве.

Много времени В.И. Сухих посвящал преподавательской деятельности. Под научным руководством и при консультативной поддержке Василия Ивановича подготовлено и успешно защищено 10 диссертаций. Он оказывал методическую помощь преподавательскому составу ряда вузов страны, читал лекции студентам Марийского ГТУ (новое название - Поволжский государственный технологический университет), регулярно проводил в 70-х гг. лекции в отраслевом институте повышения квалификации. В.И. Сухих автор более 250 работ, опубликованных у нас в стране и за рубежом, в том числе учебника для вузов «Аэрокосмические методы в лесном хозяйстве и ландшафтном строительстве» (2005 г.), соавтор и редактор учебника для вузов «Лесная аэрофотосъемка и авиация» (1981, 1989 гг.), электронной версии учебного пособия для студентов вузов «Аэрокосмические средства и исследования лесных ресурсов на базе ГИС-технологий» (1999 г.) и др.

За достижения в научно-производственной деятельности В.И. Сухих были присвоены звания «Заслуженный лесовод РСФСР», он награжден шестью правительственными наградами, Золотой и Серебряной медалями и Дипломом Почета ВДНХ СССР, Почетной грамотой Правительства МНР. Ему присуждена премия Правительства РФ в области науки и техники и присвоено звание лауреата этой Премии. Российская академия естественных наук наградила Василия Ивановича почетной медалью «За научное открытие» им.П.Л. Капицы, а Российская инженерная академия двумя юбилейными медалями и присвоила ему почетное звание «Заслуженный инженер России». Он отмечен так же многими грамотами, медалями и знаками отличия Гослесхоза СССР, ВО «Леспроект», РАН, Федерации космонавтики СССР, Секретариата ООН, ЮНЕСКО и др.

Василий Иванович прожил содержательную и целеустремленную жизнь, много сделал для лесной науки и лесоустройства, для всех, кто был с ним знаком, чем заслужил их долгую и благодарную память.

ЖИЗНЕННЫЙ ПУТЬ ВЫДАЮЩЕГОСЯ УЧЕНОГО И ОБЩЕСТВЕННОГО ДЕЯТЕЛЯ ГЕОРГИЯ НИКОЛАЕВИЧА КОРОВИНА

Георгий Николаевич Коровин - доктор сельскохозяйственных наук, член-корреспондент РАН, Заслуженный лесовод Российской Федерации, автор более 150 научных трудов по вопросам математического моделирования лесных экосистем, мониторинга лесных пожаров и пожарной опасности, взаимодействию лесной растительности с приземным слоем атмосферы, устойчивому управлению лесными ресурсами, оценке вклада лесных экосистем в глобальные биосферные циклы.

Георгий Николаевич родился 16 июня 1937 года в селе Кикнур Кировской области в семье механизаторов. Его отец, Николай Константинович Коровин, был одним из первых трактористов Кикнурской МТС и известным в селе охотником. Временами в лесные походы он брал с собой сына, который с детских лет был настолько очарован лесом, что после окончания средней школы в 1954 году Георгий Николаевич без колебаний подал документы в Ленинградскую лесотехническую академию, которую окончил в 1959 году. После окончания он поступил на высшие лесные курсы главного управления лесного хозяйства и охраны лесов, а после их окончания стал летчиком-наблюдателем Западно-Уральской базы авиационной охраны лесов. Здесь он получил бесценный опыт практической охраны лесов, во многом определивший последующие направления его научной деятельности.

В 1961 году Г.Н. Коровин становится младшим, а затем и старшим научным сотрудником отдела охраны лесов Ленинградского НИИ лесного хозяйства. В эти годы окончательно сформировалось исследовательское мировоззрение Георгия Николаевича, связанное с применением наиболее современных технологий и инструментальной базы к решению научных и практических задач лесного хозяйства. Предвидя будущее широкое распространение дистанционных методов исследования земной поверхности, он в 1962-1965 гг. без отрыва от трудовой деятельности окончил Ленинградский институт авиаприборостроения по специальности «Радиотехника» и получил фундаментальные знания по физике и технологиям использования электромагнитных излучений. В 1967 году Г.Н. Коровин с успехом защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук по теме «Исследование некоторых параметров низовых лесных пожаров».

В 1970 году Георгий Николаевич становится заведующим лабораторией математических методов Ленинградского НИИ лесного хозяйства. Область его интересов заметно расширяется и, помимо вопросов лесной пирологии и охраны лесов от пожаров, включает проблемы использования и воспроизводства лесных ресурсов. Он понимал, что для решения все усложняющихся научных и научно-практических задач необходимо иметь более фундаментальные математические знания, и в 1971-1973 годы окончил курсы повышения квалификации при математико-механическом факультете Ленинградского государственного университета. Это уже третье полученное им высшее образование.

В 1988 году Г.Н. Коровин был назначен заместителем председателя Государственного комитета СССР по лесу (Госкомлес СССР) - Главным государственным лесным инспектором СССР. В качестве представителя Госкомлеса СССР он участвовал в работе комитетов Верховного Совета СССР по подготовке проектов законов о собственности на землю, был одним из авторов проекта Постановления Верховного Совета СССР «О неотложных мерах экологического оздоровления страны».

В 1992 году Георгий Николаевич вместе с академиком А. С. Исаевым участвовал в создании Центра по проблемам экологии и продуктивности лесов Российской академии наук (ЦЭПЛ РАН). С этого момента он стал заместителем директора ЦЭПЛ РАН. В этот период ярко проявилась его склонность к использованию самых современных научных методов и технологических достижений, четкой и систематичной формулировке подходов к решению

поставленных задач, что обеспечило в последующем широкое признание работ Центра как в России, так и за рубежом.

В 1998 году Г.Н. Коровин в форме научного доклада защитил диссертацию на соискание ученой степени доктора сельскохозяйственных наук. Диссертация включала обобщение многолетних исследований системы охраны лесов от пожаров и механизмов ее функционирования. Предложенная в диссертации концептуальная схема интегрированной системы мониторинга лесных пожаров была далее реализована в рамках отраслевого комплекса управления лесами страны.

В 90-е годы Г.Н. Коровин возглавил направление по разработке информационной системы мониторинга лесных пожаров с использованием космической информации. Это было связано с одной стороны со снижением уровня охраны лесов от пожаров (периодичность наблюдения и обнаружения пожаров) в России в силу экономических трудностей, а с другой стороны с активным развитием методов и технологий использования спутниковых данных низкого пространственного разрешения с метеорологических спутников. В те годы были проведены базовые исследования и анализ мирового и российского опыта спутникового зондирования лесных пожаров, определены основные требования к задачам их оперативного мониторинга, своевременного детектирования и картографирования лесных пожаров и методов оценки последствий от лесных пожаров.

Активное взаимодействие с международным научным сообществом в рамках совместных проектов и программ позволило создать базис для действующей в настоящее время информационной системы дистанционного мониторинга лесных пожаров. Настоящая система, разработанная в интересах лесного хозяйства, является одной из самых крупных систем в мире как по технологическим и информационным возможностям, так и по охвату территории мониторинга. Ежедневно в течение пожароопасного сезона услугами системы пользуются более 4-х тысяч организаций разного уровня и принадлежности.

С середины 90-х годов внимание Г.Н. Коровина всё больше сосредоточивается на проблемах глобального изменения климата, в частности на оценке роли лесов в регулировании состава парниковых газов атмосферы и смягчении климатических изменений. Эта деятельность привела к созданию разнообразных методик оценки запасов углерода в фитомассе, мертвой древесине, подстилке и почве лесных экосистем, получению количественных оценок бюджета углерода в лесах на региональном и федеральном уровнях.

В 2004 году Г.Н. Коровин вошел в состав Рабочей группы Федерального агентства лесного хозяйства (Рослесхоз) по созданию системы учета эмиссий и абсорбции парниковых газов в лесах. В рамках указанной деятельности им сформулировано и количественно обосновано понятие «управляемые леса» в составе лесного фонда Российской Федерации. Подготовленная информация о стоках и источниках парниковых газов в лесах вошла в Национальные сообщения, предоставляемые Россией в соответствии с Рамочной конвенцией ООН об изменении климата. С 2004 по 2012 годы Георгий Николаевич возглавлял в качестве директора ЦЭПЛ РАН.

Научные работы Коровина Г.Н. отличаются системностью подходов, комплексностью и направленностью на получение важных для практики лесного хозяйства результатов. Область общественно-научной деятельности Коровина Г.Н. была значительно шире круга его прямых должностных обязанностей как директора ЦЭПЛ РАН, что свидетельствует о его особых заслугах перед государством.

В последние годы Коровин Г.Н. большое внимание уделял проблемам оценки роли лесов в регулировании состава парниковых газов атмосферы и смягчении глобального потепления климата. Им были выдвинуты принципы выделения управляемых лесов России, предложены методы количественной оценки углеродного бюджета лесов на региональном и федеральном уровнях. Указанные научные результаты обеспечили формирование позиции Российской Федерации на международных переговорах по Рамочной конвенции ООН об изменении климата и Киотскому Протоколу. Полученные оценки вклада лесов в глобальный углеродный цикл использованы при подготовке Национальных сообщений Российской

Федерации об изменениях климата и Национальном кадастре парниковых газов, являющихся элементами официальной международной отчетности РФ. Результаты проводимых научных исследований успешно используются Министерством природных ресурсов, Федеральным агентством лесного хозяйства, Федеральной службой по надзору в сфере природопользования, Федеральной службой по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, отраслевыми и академическими организациями лесного профиля.

С 2002 по 2006 годы Г.Н. Коровин руководил 4-мя крупными международными проектами, проводимыми совместно с учеными США, Италии, Великобритании, координировал совместную деятельность Рослесхоза и Лесной службы Канады по вопросам моделирования углеродного бюджета лесов. С 1999 года Георгием Николаевичем опубликованы 2 монографии и 33 статьи, в т.ч. 9 публикаций в зарубежных изданиях. Работы, опубликованные в зарубежных изданиях, существенно повысили информированность международного научного сообщества об основных принципах управления лесами России, что способствовало росту авторитета страны.

Коровин Г.Н. с 1999 года участвовал в работе Высшего экологического Совета Государственной Думы и Научного совета РАН по лесу, с 2001 года являлся членом секции «Экология и охрана окружающей среды» Межведомственного Совета по присуждению премий Правительства Российской Федерации в области науки и техники. С 2005 года входил в состав Научно-технического совета Федерального агентства лесного хозяйства. В последние три года своей жизни Георгий Николаевич большое внимание уделял деятельности по подготовке новой редакции Лесного кодекса РФ. С 2003 г. он был членом редколлегии журнала «Лесоведение» РАН.

За достижения в развитии лесной науки Георгий Николаевич Коровин был удостоен звания «Заслуженный лесовод Российской Федерации (1998 год), премии Правительства Российской Федерации в области науки и техники (2002 год), награжден медалью РАЕН «За научное открытие» им. П.Л. Капицы.

ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИЗУЧЕНИЯ ЛЕСОВ. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ О ЛЕСНОМ ФОНДЕ В ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ РЕГИОНАЛЬНОЙ ПРИРОДНО-ХОЗЯЙСТВЕННОЙ СИСТЕМЫ

А.Е.АЛТЫНОВ, С.С.КАРПУХИН, А.Н.ЧЕРНЕНКО

ОАО «Научно-исследовательский институт точных приборов»

Рассмотрены методологические подходы к созданию геоинформационной модели региональной природно-хозяйственной системы с использованием пространственных данных о лесном фонде, характер и репрезентативность информации в этой системе и варианты организации и представления геопространственных данных о лесных ресурсах в общем природно-техногенном потенциале РПХС.

Приоритет всестороннего комплексного изучения сбалансированного во времени и пространстве развития природно-хозяйственных систем не вызывает сомнений. Природно-хозяйственная система (ПХС) – целостное территориальное образование. Её отличает неразрывное единство функционирования и эволюции природных, изменённых и искусственно созданных в результате хозяйственной деятельности факторов и объектов на конкретной территории или акватории. Развитие ПХС управляется одновременно как хозяйствующими субъектами, так и космическими и биосферными законами природы, находящимися в постоянном саморазвитии.

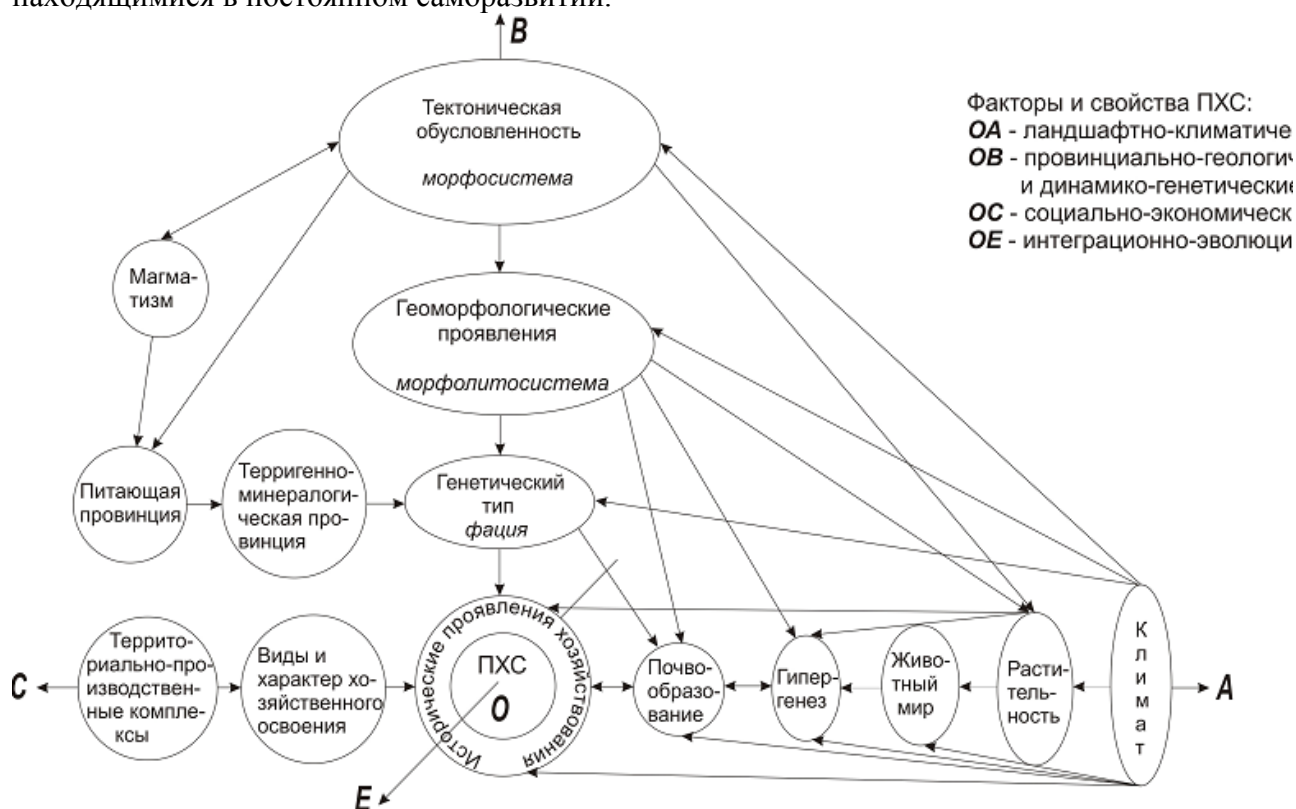


Рис.1. Триединство причинно-следственных связей природно-хозяйственных систем

Наибольший вклад в изучение различных аспектов региональных природно-хозяйственных систем Российской Федерации вносит отечественная географическая наука. Веду-

щими представителями московской, Санкт-Петербургской, Иркутской и др. географических школ заложены основы общей теории геосистем, антропогенного ландшафтоведения, геоэкологии (Карпухин, 2008). ПХС следует отнести к наиболее сложным по строению и функционированию геосистемам, требующим для своего исследования весь методологический естественнонаучный арсенал.

Уточним, что региональная природно-хозяйственная система (РПХС) – это территориальное единство разнородных ПХС с сформированными в их пределах материальными телами и объектами (компонентами), объединёнными в ходе взаимодействия в природно-хозяйственные структуры (подсистемы), РПХС управляется субъектом Российской Федерации в соответствии с наделёнными полномочиями. Системный анализ становления, современного состояния, функционирования и территориальной изменчивости компонентов РПХС связан с изучением многоступенчатой иерархии структурных образований, взаимодействующих в едином географическом пространстве-времени системы. Конструктивное значение при изучении РПХС приобретает классификация моделей геосистем (Карпухин, Судакова, 2009), отражённая в нижеприведённой таблице.

Таблица 1. Классификация моделей геосистем

Классификационные критерии	I. ТИПЫ тематической специализации	II. КАТЕГОРИИ информационной сложности							III. ФОРМА средств моделирования сложных геосистем				
		Многофакторные	Многокомпонентные	Разномасштабные	Многослойные	Многоуровневые	Комбинированные	Геосинергетические	Вербальные	Структурные	Математические	Картографические	Геоинформационные
Т и п и з а ц и я	1. Понятийные (познавательные)	+	+						+	+			
	2. Динамико-генетические	+	+						+	+	+		
	3. Пространственные покомпонентные	+		+					+	+		+	+
	4. Региональных комплексов	+	+	+	+	+	+		+	+		+	+
	5. Эволюционные	+			+	+		+	+		+		
	6. Палеогеографические (пространственно-временные)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	7. Эколого-палеогеографические	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	8. Природно-хозяйственные	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

Геоинформационная парадигма, базирующаяся на двух важнейших направлениях изучения геосферы – дистанционном зондировании из космоса и геоинформационном картографировании и моделировании географических явлений, проникла в последние два десятилетия практически во все без исключения отраслевые и междисциплинарные исследования РПХС. Стало нормой повсеместное применение геоизображений (космические снимки высо-

кого пространственного разрешения) и данных позиционирования (GPS-ГЛОНАСС), геоинформационных систем (ГИС) и ГИС-технологий и сервисов.

Геоинформационная модель, как следует из таблицы, оправдана для «замещения» чрезвычайно сложных географических систем типа ПХС в интересах получения новых знаний об объекте-оригинале. Только в этом случае становится возможной разработка целесообразного сопряжённого комплекса методов получения и обработки разнородных пространственных данных, а также интеграции информационных процессов при мониторинге и управлении РПХС.

Состав и наполнение геопропространственной базы данных РПХС должен отвечать, прежде всего, задачам сбалансированного развития территории региона на основе взвешенной политики вовлечения имеющегося природного потенциала в хозяйственную деятельность.

Мы исходим из того обстоятельства, что ведение геоинформационной модели РПХС ложится на плечи хозяйствующего на этой территории субъекта в лице органов федеральной или муниципальной исполнительной власти.

В любом случае, независимо от субъекта хозяйствования, организация геопропространственной базы данных РПХС может быть реализована с использованием двух подходов. Первый, несколько устаревший, но, тем не менее, широко используемый во многих региональных прикладных геоинформационных решениях, основан на «централизованном» хранении всех данных на главном сервере по принципу «централизация данных – распределенность пользователей». В этом случае администрирование данных, в том числе их обновление (актуализация) их защита информации и т.д., находится в компетенции владельца (и создателя) этой системы. Преимущества и недостатки этого способа реализации корпоративных информационных систем известны, мы подчеркнем главный из отрицательных моментов такой архитектуры – очень большие накладные расходы по поддержанию системы в работоспособном состоянии.

Второй подход реализации корпоративных геоинформационных систем основан на парадигме «распределенность данных – распределенность пользователей», в большей степени отвечающий современным тенденциям развития информационных технологий в среде глобальных и региональных компьютерных сетей. При таком подходе, ведомственные геопропространственные данные по многим источникам о природной и хозяйственной деятельности в регионе ведутся в предприятиях и организациях, профессионально продуцирующих эти данные. И, согласно концепции развития инфраструктуры пространственных данных РФ, эти данные могут (и должны) в достаточных для административно-хозяйственной деятельности региона объемах публиковаться на WEB-узлах для интеграции их в текущие задачи управления территории.

Мы придерживаемся второго подхода архитектурного решения геоинформационной модели региональной ПХС, который должен отвечать еще одному важному условию. Условие это реализуется согласно концепции развития инфраструктуры пространственных данных в силу того, что распределенные по доступным информационным ресурсам тематические данные (ресурсы водного, лесного, земельного фонда и пр.) ведутся (или продуцируются) операторами, профессионально ответственными за состав, наполнение и актуальность этих данных. Это условие в полной мере соблюдено в проекте РОСРЕЕСТРА по ведению данных государственного кадастра недвижимости и публикации их в WEB. При условии соблюдения правил публикации этих данных и метаданных в соответствии со стандартами ISO: ISO 19115, ISO 19115-2 и ISO 19139 – , а также директивы ESPRI возможна будет интеграция информации, в том числе и о лесном фонде региона в комплексной базе геопропространственных данных РПХС.

В данном случае это касается информации по лесным ресурсам региона, детальность и охват которой определяется задачами управления территории. При этом, надо отдавать отчет, что эта информация является составляющей в общем объеме данных, необходимых для сбалансированного управления РПХС.

В указанных целях ОАО «НИИ ТП» может быть предложена следующая геоинформационная продукция:

1. Комплект базового сплошного покрытия высокого разрешения (БСП ВР);
2. Комплект базовых и специальных электронных карт в геоцентрической системе координат, используемой ГЛОНАСС (ПЗ-90.02) с точностью до 10 м в плане и 5÷7 м по высоте;
3. Специальные электронные карты лесного реестра и мониторинга лесного фонда;
4. Слой трехмерных моделей местности и объектов лесного фонда изготавливаются на базе цифровой информации о рельефе с использованием БСП-ВР, базовых и специальных электронных карт, материалов аэрофотосъемки, в том числе полученных с беспилотных летательных аппаратов.
5. Комплект многоспектральных высокодетальных изображений высокой точности со сроком старения не более 5 лет и точностью определения координат до 5÷6 м на районы размещения приоритетных административно-промышленных центров и других населенных пунктов в непосредственной близости к пожароопасным участкам лесного фонда, предназначенных для решения основных информационных, расчетно-аналитических и прикладных задач.

ЛИТЕРАТУРА

1. Карпухин С. С. Методологические аспекты комплексного геоинформационного картографирования природно-хозяйственных систем // Системы и средства информатики: Спец. вып. Геоинформационные технологии – М.: ИПИ РАН, 2008. – С. 224-249.
2. Карпухин С.С., Судакова Н.Г. Палеогеографическая обусловленность структуры и динамики геосистем // Сб.: География и геоэкология на современном этапе взаимодействия природа и общества. Селиверстовские чтения. С-Пб. 2009. С. 182-187

SUBMISSION OF SPATIAL DATA ON FOREST RESOURCES IN GEOINFORMATION MODEL OF REGIONAL NATURAL ECONOMIC SYSTEM

A.E. ALTYNOV, S.S. KARPUHIN, A.N. CHERNENKO

**Open Joint-Stock Company
«Research Institute of Precision Instruments»**

Methodological approaches to creation of geoinformation model of regional natural-economic system with use of spatial data on forest fund, character and information representativeness in this system and options of the organization and submission of geospatial data on forest resources in the general natural and technogenic potential of RNES are considered in this article.

О СОВРЕМЕННЫХ ВОЗМОЖНОСТЯХ НЕПРЕРЫВНОЙ ИНВЕНТАРИЗАЦИИ ЛЕСОВ РОССИИ НА ОСНОВЕ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ

С.А. БАРТАЛЕВ¹, Д.В. ЕРШОВ², А.С. ИСАЕВ², Н.В. ЛУКИНА², Е.А. ЛУПЯН¹

¹ Институт космических исследований РАН

² Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН

Рассмотрены современные методические и технологические возможности создания автоматизированной системы непрерывной инвентаризации лесов России на основе данных дистанционного зондирования со спутников. Система призвана обеспечивать ежегодное обновление пространственной информации о лесах страны, включая показатели их площади, породной структуры, запасов стволовой древесины, площади необлесенных гарей и вырубок, погибших насаждений, объемов лесопользования, а также некоторых других характеристик, лежащих в основе выработки эффективных стратегий устойчивого управления лесным комплексом.

Неотъемлемым условием эффективного и устойчивого управления лесным комплексом России является наличие достоверной и актуальной информации о качественных и количественных характеристиках лесов страны, отражающих современное состояние и основные тренды ретроспективной динамики их ресурсно-экологического потенциала. Практически реализуемая Федеральным агентством лесного хозяйства РФ концепция Государственной инвентаризации лесов (ГИЛ), как потенциально основного источника такого рода данных, на данный момент не обеспечивает получение регулярно обновляемой информации о лесах в масштабах страны. Существующая концепция ГИЛ и ее функциональные возможности смогут получить принципиальное новое развитие при условии более полного использования современных возможностей систем дистанционного зондирования Земли со спутников, а также разработанных Российской академией наук методов и технологий обработки спутниковых данных и инструментов анализа получаемых результатов. В частности, существенное развитие функциональных возможностей ГИЛ может быть достигнуто за счет разработки и включения в ее структуру компоненты, так называемой, непрерывной инвентаризации лесов (по аналогии с активно разрабатываемой в 1990-х годах технологией непрерывного лесоустройства). Предлагаемая авторами доклада концепция непрерывной инвентаризации лесов, рассматривается в качестве неотъемлемой компоненты ГИЛ и направлена на обеспечение ежегодного обновления информации о лесах России на основе максимально полного использования спутниковых данных в сочетании со всей доступной на текущий момент информацией, полученной в результате наземных обследований. При этом должно быть обеспечено рациональное, т.е. экономически эффективное при обеспечении заданных уровней информационной полноты и точности выходных результатов, сочетание спутниковых данных различного пространственного и временного разрешения, получаемых в различных диапазонах длин волн электромагнитного спектра. Выполненные к настоящему времени исследования и разработки Российской академии наук обеспечивают практические возможности оценки и долгосрочного мониторинга лесов страны, включая их площадь, породную структуру, запасы стволовой древесины, площади необлесенных гарей и вырубок, погибших насаждений, а также других характеристик, необходимых для выработки эффективных стратегий устойчивого управления лесным комплексом (Барталев и др., 2011, 2012). В частности, результаты обработки данных спутниковых наблюдений за период 2000-2012 годов позволяют выявить отрицательные тренды покрытой лесом площади, а также площади насаждений отдельных хвойных пород в масштабах страны.

Представленные в работе результаты получены при поддержке Министерства образования и науки РФ (Государственный контракт № 14.515.11.0007 на выполнение НИР по теме «Разработка методов дистанционного мониторинга природных пожаров для оценки их воздействия на окружающую среду и прогнозирования техногенных рисков» - Шифр: 2013-1.5-14-515-0039-021).

ЛИТЕРАТУРА

1. Барталев С.А., Ершов Д.В., Исаев А.С., Лупян Е.А. Основные задачи и перспективы создания системы глобального спутникового мониторинга лесов // Лесоведение, 2011. № 6. С.3-15.
2. Барталев С.А., Егоров В.А., Ершов Д.В., Исаев А.С., Лупян Е.А., Плотников Д.Е., Уваров И.А. Спутниковое картографирование растительного покрова России по данным спектрорадиометра MODIS // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2011. Т.8. № 4. С.285-302.
3. Барталев С.А., Егоров В.А., Ефремов В.Ю., Лупян Е.А., Стыценок Ф.В., Флитман Е.В. Оценка площади пожаров на основе комплексирования спутниковых данных различного пространственного разрешения MODIS и Landsat-TM/ETM+ // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2012. Т. 9. № 2. С.9-27.

ON CONTEMPORARY CAPABILITIES FOR CONTINUOUS INVENTORY OF RUSSIAN FOREST BASED ON EARTH OBSERVATION DATA

S.A. BARTALEV¹, D.V. ERSHOV², A.S. ISAEV², N.V. LUKINA², E.A. LOUPIAN¹

¹ Space Research Institute RAS

² Center for Forest Ecology and Productivity RAS

The paper describes contemporary methods and technological capabilities for development of an automatised system for continuous inventory of Russian forests based on Earth observation data from satellites. The system is dedicated to ensure annual update of spatial information on forests across the country, including its area, tree species structure, growing stock volume, unforested burnt scars, clear cuts and dead stands area, as well as some other characteristics as a basis for development of effective strategies of sustainable forest management.

ПРОБЛЕМЫ ПРЕПОДАВАНИЯ ЛЕСНОГО ПОЧВОВЕДЕНИЯ И РЕШЕНИЯ НАУЧНЫХ ПРОБЛЕМ В АГРАРНОМ УНИВЕРСИТЕТЕ

Л. В. БЕРЕЗИН, М.Р. ШАЯХМЕТОВ

Омский аграрный университет им. П.А. Столыпина

Исходя из опыта преподавания лесного почвоведения и исследований по проблемам почвенного дешифрирования космических снимков высокого разрешения и выделения CO₂ из почв на пашне и в лесных парцеллах, проводимых в период учебной практики будущих лесоводов в уникальном памятнике природы - Подгородном лесхозе Омской области, ставятся на обсуждение актуальные проблемы качества подготовки специалистов лесного дела.

Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина – старейший аграрный ВУЗ Сибири в феврале с.г. отметил свое 95-летие. Это дает право на анализ проблем, ограничивающих качество подготовки кадров специалистов высшего звена лесного дела. В 20-х годах XX он именовался институтом сельского хозяйства и лесоводства и возглавлял его в те годы бывший главный лесовод Сибирского казачьего войска Грибанов Н.И., создавший в 1898-1904 гг. Подгородный лесхоз, ядром которого является дендропарк на площади около 15 га.

Дендрологический парк был заложен в 1898 г. сеянцами сосны, ели, пихты, лиственницы и кедра, привезенными сюда за 300 км из Екатерининской лесной дачи Тарского уезда. Фасадную часть парка некогда обрамляли великолепные плакущие ивы, но в засушливые годы последней четверти XX века они выпали. Этот парк - отличное место учебных практик по всем разделам подготовки будущих лесоводов.

В частности, проходя практику по почвоведению в течение недели студенты имеют возможность увидеть, как за 100 лет после посадки хвойных пород и особенно ели, некогда серая почва, на которой растут естественные березовые леса, превратилась в типичную (во всяком случае морфологически) подзолистую почву. Проводя определение pH и агрегатный анализ, они воочию убеждаются в реальности процессов почвообразования под лесной растительностью. Все это студенты видят в зоне южной лесостепи с ее недостаточным и неустойчивым увлажнением, где фактически исключено влияние климатического фактора. После знакомства с космическим снимком высокого разрешения RapidEye (5 м) студенты, вскрыв почвенный разрез солонца на межколочной поляне, а затем постепенно двигаясь вглубь соснового леса всего на 15 метров к центру парцеллы, имеют возможность воочию наблюдать процесс рассолонцевания, а пройдя еще 20 метров уже видят уже не подзолистую, а типичную лугово-черноземную почву, сформировавшуюся под липой или дубом. Контролем служит сохранившийся типичный березовый колок, окруженный солонцовым лугом с медальонным черноземом по центру.

Так было все 95 лет подготовки кадров для сельского и лесного хозяйства. Летом текущего года летняя учебная практика по почвоведению для бакалавров по направлению лесное дело отменена.

Упразднена и курсовая работа, в которой каждый из студентов, получив лишь фрагмент карты лесонасаждений в двух лесхозах разных природных зон, был обязан составить предполагаемую почвенную карту землепользования и обосновать комплекс мероприятий по воспроизводству плодородия почв. Писали они и рефераты на тему «Роль лесов в предупреждении потепления климата Планеты» с условием максимально использовать опыт своих родственников и школьных учителей. Весь данный учебный комплекс преследовал одну цель – подготовить специалистов к самостоятельному мышлению при решении сложнейших проблем лесоводства.

Определенную помощь студентам в освоении теоретического материала в последние годы стало оказывать учебное пособие «Лесное почвоведение», подготовленное совместно с бывшим аспирантом Алтайского сельхозинститута профессором МГУ, известным специалистом в данном вопросе Л.О. Карпачевским. Данное пособие, базирующееся на теории матричной организации почвы, почти в каждой главе показывает, что основные теоретические положения нашей науки являются гипотезами, отражающими ее состояние на определенном этапе. Открытым текстом говорится о том, что западные ученые категорически не согласны с российской теорией состава гуминовых соединений, ставится под сомнение процесс лессиважа, натриевая основа солонцовых почв и соответственно расчеты доз гипса и извести, не излагается строение коллоидной мицеллы, упрощенно даются основные положения геологии и минералогии, но расширяется представление об отражательной способности почв и биоценозов для понимания роли почвенного дешифрирования космической информации.

Следует признать, что далеко не все коллеги разделяют нашу точку зрения, но для студентов это пособие фактически является учебником. Только в нем они найдут главы лесоводственной оценки почв и понятие о соответствии почвенного покрова биологическим особенностям лесных пород. Такие вопросы как различия в требованиях к почвенным условиям сосны и ели, березы и липы или кедра и сосны включаются в каждый третий экзаменационный билет.

Но современное направление подготовки специалистов диктует переход от творческого анализа реальной ситуации и умения доказывать свою точку зрения с привлечением внеучебной литературы к систематическому тестированию. Основная задача педагога сводится к умению составить такие тексты, чтобы вопросы тестов охватывали программу, но чтобы ответы студентов гарантировали хорошие показатели успеваемости. Такая тенденция готовит будущих специалистов к умению давать в своих отчетах о будущей работе «хорошие показатели» и не беспокоить руководство новыми проблемами.

Классик современного почвоведения, автор уникального учебника лесного почвоведения (1955) А.А. Роде (1944) утверждал: поскольку нельзя объяснить источник водородного иона, определяющего кислотность лесных почв, разложением растительных остатков, *«полагаем, что таковым ...являются живые растения и именно их корневые выделения»*. Но до сих пор этот процесс изучен крайне слабо. Отсутствуют необходимые приборы и, как следствие, методика решения задачи. Но программа летней практики позволяла студентам видеть результаты этого процесса и вынуждала думать над поставленными задачами.

Актуальнейшей проблемой современности является обоснованность гипотезы глобального потепления климата Планеты и связь ее с выделением CO_2 в атмосферу. Проведенные исследования в период учебной практики позволили одновременно в полевых условиях сравнивать «дыхание почв» в лесных парцеллах и на открытом паровом поле севооборота. Наблюдения в трехкратной повторности показали, например, что в остро засушливый период в июле 2012 г. несмотря на резко различные температурные условия, обнаружилось практически равенство выделения CO_2 из весьма контрастных почв 240-290

мг/м²*час и отсутствие принципиальных различий в интенсивности процесса между дубовой и еловой парцеллами и паровым полем на агрочерноземе. Возможность продолжения исследований в данном направлении очевидно находится под большим вопросом.

Основатель современного научного лесоводства Г.Ф. Морозов (1931) указывал «все стороны жизни леса как сложного организма...и характер живого и мертвого почвенного покрова, рост... и возобновление леса...все это находится под железной властью окружающих местных...условий среды». Наше кредо: «каждая порода в силу своих экологических особенностей имеет отличный от других набор факторов, который в наибольшей степени влияет на продуктивность насаждения» (Карпачевский, 1981). Именно учет лесорастительных условий и оценка лесоводческих свойств почв – главная отличительная часть наших учебных пособий и задача подготовки молодых кадров научных работников.

По нашему мнению, сегодня реально учесть комплекс местных ландшафтных условий в системе почва-лес-человек можно только на основе умения использовать космическую информацию.

Интерпретация материалов ДЗЗ в лесном деле сдерживается несовершенством почвенного дешифрирования космических снимков, а также применением в большинстве случаев снимков среднего и мелкого разрешения, которые не могут отразить специфики агроэкологических элементов лесных экосистем. Ранее проведенные работы по использованию космических снимков в целях совершенствования таксации лесов, не дали эффекта вследствие низкой разрешающей способности – более 15 м в пикселе. *Задача вполне разрешима при использовании снимков спутника RapidEye (5 м).*

Над совершенствованием методики почвенного дешифрирования материалов ДЗЗ для равнинных регионов Западной Сибири наш коллектив работает с 2004 года. Доказана невозможность использования в этих условиях для целей дешифрирования почв цифровой модели рельефа и необходимость разработки научных основ синтезирования мультиспектральных космических снимков высокого разрешения. Применительно к массивам деградируемых почв установлена возможность контроля содержания гумуса по одноканальным космическим снимкам в среднем инфракрасном диапазоне. Оригинальность данной разработки подтверждена Патентом РФ 2010 г.

На основе сопоставления светопоглощения парового поля и биоценоза представляется возможным определить для каждого типа леса оптимальный вариант синтезирования, который может значительно упростить и снизить стоимость работ по повторной таксации лесов.

Объективная трудность использования этого метода обусловлена тем, что съемка в большинстве случаев проводится в 5-8 диапазонах солнечной радиации, а в камеральный период исследователь дополнительно использует три цветовых канала: Red, Green и Blue. Это позволяет провести около 1500 вариантов синтезирования. В последнее время для определения оптимального метода синтезирования мультиспектрального космического снимка нами предложено во-первых, сосредоточить внимание не на характере отражения солнечной радиации, а на специфике ее поглощения почвами и растительностью. Используя коэффициент поглощения солнечной радиации (КПР), в процентах к минимальному (нулевому) поглощению исследователь свободно оперирует результатами компьютерной обработки материалов ДЗЗ в любом программном комплексе. Нами используются ENVI и Adobe Photoshop. Последний, наряду с его простотой использования и широким распространением, отличается от многих более сложных программ возможностью вычисления коэффициента яркости Glow.

Многолетние исследования сотрудников Московского университета имени М.В. Ломоносова показали, что отражательная способность объектов на поверхности Земли (почв и растений) характеризуется двумя основными показателями: коэффициентом отражения и коэффициентом яркости (Орлов и др., 2001).

Обычно применяемый большинством исследователей коэффициент отражения характеризует общее количество световой энергии, отражаемой во всех (любых) направлениях любой поверхностью. Вычисляется он по отношению интенсивности отраженного света к интенсивности исходного светового потока в процентах. В практике его вычисляют как доли отражения от максимально возможной величины отражения абсолютно белой поверхности. Стандартные программы показывают ее величиной 255 единиц - максимальное значение любого пикселя. Данный коэффициент, по мнению Д.С. Орлова (2001) является характеристикой поверхности отражения.

Коэффициент яркости (свечения, блеска, показатель Glow), в отличие от коэффициента отражения измеряет интенсивность светового потока, отраженного только в каком-либо одном направлении. Другое отличие в том, что он определяется данным программным комплексом одновременно с компонентами коэффициента отражения, но независимо от них. Это позволяет определять зависимость общей степени поглощения солнечной радиации от компонентов коэффициента отражения, используя методы трехмерного анализа поверхности отражения.

Применяя способ анализа пирамид, при котором можно выявить зависимость показателя Glow от диапазонов съёмки и соотношения степени поглощения Red - канала и полусуммы Green и Blue – каналов, выявляется оптимальный вариант решения поставленных задач. К примеру проанализированная серия вариантов синтеза снимков одного и того же массива в состоянии пара и в посевах зерновых культур, выявила варианты оптимального решения задачи установления априори известного контрастного различия почв: чернозема и солонца на равнинных территориях с комплексным составом ландшафтных экосистем.

При использовании метода анализа пирамид, основу которого разработал еще Архимед, за вершину исследуемой пирамиды был принят именно показатель общего целенаправленного «свечения» Glou. Основанием пирамиды естественно является потенциал поглощения солнечной радиации (ППР), включающий длинноволновую (Red- каналы при диапазонах съёмки №№ 3-5) и коротковолновую усредненную величину сине-зеленой части спектра (диапазоны 1 и 2): $(Green + Blue) / 2$, выраженный в процентах от максимума потенциально возможного светоотражения (255 ед.).

На рисунках второй группы изображены несколько типичных пирамид, отражающих характер ППР на паровых полях и в агроценозах пшеницы, составленные на основе почвенного обследования одного и того же поля в летний сезон 2011 и 2012 гг., проведенного аспирантом Шаяхметовым М.Р.

Оптимальный вариант синтеза (R3G3B5), учитывающий инфракрасный диапазон съёмки, позволил выявить закономерные различия по спектру поглощения солонцевой экосистемы как в парах, так и в агроценозах пшеницы (рисунок).

При синтезировании снимка по схеме R4G2B2 и R3G1B1 существенных отличий между этими же ярко контрастными по своим свойствам почвами даже в пределах одного типа агроценоза не обнаруживается.

При объединении диапазонов съёмки и цветовых каналов в случайном порядке (например: R5G2B2, R1G4B4 и т.п.) не проявляется закономерная зависимость поглощения солнечной радиации от типа почвы.

Полученные результаты ставят ряд новых вопросов. 1) Какие факторы обуславливают необходимость предпочтительного использования диапазонов 3, 4 и 5 не только при расчетах коэффициентов NDVI, но и на этапе почвенного дешифрирования? 2) Какими критериями следует контролировать оптимизацию показателей ППР и КСЯ?. 3) На всех ли типах почв и в типах лесов можно пренебрегать различием поглощения синей и зеленой части солнечного спектра при дешифрировании материалов ДЗЗ? Эти вопросы требуют коллективного исследования в разных природных зонах Планеты. В пределах одного любого региона они не могут дать достаточно репрезентативного заключения.

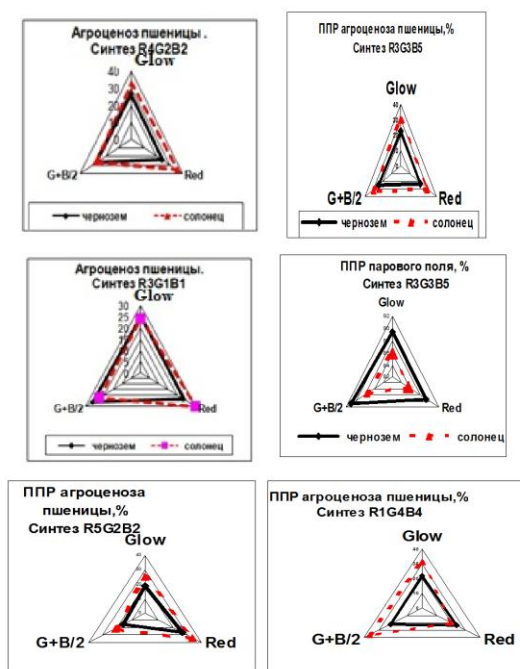


Рис. Варианты оптимизации синтезирования мультиспектрального снимка спутника RapidEye в программном комплексе Adobe Photoshop в целях выявления различий агроценоза на почвах солонцовой экосистемы.

В связи с этими вопросами стоит задача совершенствования программных комплексов. Большая их часть сосредоточивает внимание исследователей на выявлении геодезических координат объектов и подсчету занимаемой ими площади. Значительно меньше программных комплексов, облегчающих исследование спектральной характеристики поглощаемой и отражаемой части солнечной радиации. И, насколько нам известно, только программный продукт Adobe Photoshop позволяет исследовать характер показателя Glow. Применительно к задачам почвоведения, мы успешно применили его в целях исследования процесса оглеения почв, что подтверждено свидетельством на интеллектуальную собственность, а в настоящее время используем при почвенном дешифрировании.

Нам представляется, что программисты уже в ближайшее время сумеют расширить возможности одного из лучших программных комплексов ENVI с тем, чтобы не применять при решении одной задачи несколько дорогостоящих лицензионных программ.

В заключение мы предлагаем в рамках совершенствования подготовки специалистов по использованию материалов ДЗЗ и ГИС провести коллективное обсуждение методики синтезирования мультиспектральных снимков, так как разработчики новых спутников расширяют диапазоны съемки, а потребители не готовы к их эффективному использованию.

PROBLEMS OF FOREST SOIL SCIENCE TEACHING AND SOLVING SCIENTIFIC PROBLEMS IN THE OMSK AGRICULTURAL UNIVERSITY

L.V. BEREZIN, M.R. SHAYAHMETOV

P. Stolypin Omsk Agricultural University

In the article it is discussed the actual problems of forest specialist training quality on the base of the experience of forest soil science teaching and soil researches based on the high resolution space images interpretation and selection CO₂ from the soils and in the forest during educational practice of future foresters in the unique Podhorodny timber enterprise in Omsk region.

ГИС-ТЕХНОЛОГИИ В СИСТЕМЕ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ ПО НАПРАВЛЕНИЮ «ЭКОЛОГИЯ И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ»

Т.А. ВОРОБЬЕВА, Е.И. ГОЛУБЕВА, Т.Ю. ЗЕНГИНА, Н.И. ТУЛЬСКАЯ

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет

Рассматривается возможность применения геоинформационных систем и технологий в образовательном процессе, приводятся примеры учебных курсов. Подчеркивается необходимость изучения и освоения будущими специалистами теоретических и методических основ ГИС технологий как неотъемлемой части современных научных исследований и практической деятельности в области геоэкологии, управления природопользованием и его оптимизации.

Большое значение в высшем профессиональном образовании по направлению «Экология и природопользование» наряду с теоретическими курсами, имеют дисциплины, связанные с использованием ГИС-технологий. Многолетний опыт подготовки специалистов разного уровня (бакалавров, специалистов, магистров и слушателей системы дополнительного послевузовского образования) на кафедре рационального природопользования географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова показывает с одной стороны необходимость таких курсов, с другой – большой интерес студентов к возможностям, которые дают ГИС-технологии для научной и практической деятельности в сфере природопользования и экологии (Воробьева и др. Материалы..., 2006; Воробьева, 2007; Зенгина и др., 2006; Зенгина, Тульская, 2006; Зенгина., 2011; Слипечук и др., 2012).

В учебном процессе основными задачами освоения ГИС-технологий нам представляются следующие:

- изучение принципов создания, организации и функционирования ГИС, ориентированных на информационное обеспечение национальных, региональных и локальных проектов в области природопользования;
- изучение и анализ современного информационного обеспечения существующей системы принятия управленческих решений в области природопользования;
- освоение методов комплексного системного картографирования природопользования и принципов использования картографических баз данных и материалов дистанционного зондирования в проблемно-ориентированных ГИС;
- изучение основ геоинформационного картографирования и компьютерной обработки материалов дистанционного зондирования, получение практических навыков использования геоинформационных технологий для решения задач в области природопользования и геоэкологии;
- знакомство с российским и международным опытом внедрения ГИС в научную и практическую деятельность и их использование для решения комплексных и отраслевых задач.

Освоение ГИС-технологий требует знаний фундаментальных разделов естественных и математических наук, информатики, основ картографии, аэрокосмических методов исследования и обработки дистанционной информации, создания баз данных. Кроме того, направления использования ГИС-технологий зависит от поставленных задач, решение которых требует знание основ природопользования и экологии, экономики и управления природопользованием.

В качестве примера построения обобщающего курса в процессе обучения магистрантов можно привести основные темы, рассматриваемые в рамках дисциплины «Геоинформационные технологии в природопользовании».

Введение. Геоинформационные технологии в природопользовании. Геоинформатика как область науки, технологии, производства. Этапы развития геоинформатики. Взаимодействие картографии, дистанционного зондирования и ГИС. Методологические основы их ис-

пользования для оптимизации природопользования. Функциональные возможности ГИС, позволяющие использовать их для решения проблем природопользования. Глобальные и межнациональные геоинформационные программы. Национальные геоинформационные проекты.

Существующее информационное обеспечение системы принятия решений в области природопользования. Состояние современного информационного обеспечения управления природопользованием. Требования к информации. Организация информационных потоков в системе управления, их структура, иерархия, направление. Пути совершенствования информационной поддержки принятия решений в управлении природопользованием и окружающей средой.

Теоретико-методологические основы создания и организации ГИС, ориентированных на проблемы природопользования. История развития ГИС. Классификации ГИС. Гео-экологическая концепция создания ГИС. Организационная структура базы данных (БД) ГИС и базы знаний ГИС. Блоковая структура БД. Комплексность и системность информации об объекте и субъекте управления. Структура и содержание информации для формирования природно-ресурсного, хозяйственного, этно-социального и нормативно-правового блоков БД. Единая цифровая картографическая основа, включающая серию разномасштабных карт для обеспечения координации и согласования используемой информации в различных проектах. Картографическая, статистическая, дистанционная и регламентирующая информация.

Принципиальная схема функционирования ГИС. Информационное обеспечение блока обновления информации. Задачи контроля за состоянием природно-хозяйственных систем, динамические параметры и регламенты контроля. Роль дистанционной информации и преимущества ее включения в современные ГИС. Экологический мониторинг как инструмент обновления информации. Блок анализа и обработки данных. Производство и целевая организация выходных документов для поддержки принятия решений.

Принципы геоинформационного картографирования и его роль в решении проблем регионального природопользования. Особая роль картографической информации в ГИС. Система картографических БД, их структура и содержание. Комплексные и отраслевые карты природопользования, содержание и методика их составления. Оценочные динамические карты. Синтетические карты как организационная основа ГИС. Прогнозные и рекомендательные карты для решения оперативных и стратегических задач в области природопользования.

Принципы создания комплексных и отраслевых ГИС. Отраслевые проблемно-ориентированные ГИС: ресурсные, экологические, кадастровые, социально-экономические и др. Региональные информационные системы, ориентированные на комплексное изучение территории, для управления природопользованием административных единиц (республик, областей, краев, административных районов, городов), охраняемых природных территорий, бассейнов крупных рек и озер.

Использование ГИС в организационной структуре управления. Структура и функции органов управления природопользования, решаемые ими задачи, используемые методы управления. Системы поддержки принятия решений в управлении. Правовое регулирование применения ГИС в природопользовании и охране окружающей среды. Место ГИС в организационной структуре управления природопользованием и мониторинга состояния окружающей среды. Алгоритм принятия управленческих решений с использованием ГИС. Требования к техническому и программному обеспечению. Научное и интеллектуальное обеспечение внедрения ГИС. Организация автоматизированного рабочего места (АРМ). Проблемы современного использования ГИС в организационной структуре управления.

Особенности технического и программного обеспечения ГИС. Классификация ГИС по функциональным возможностям программного обеспечения. Векторные и растровые ГИС. Технологии ввода графической пространственно определенной информации. Картографические базы и банки данных. Анализ данных, математико-картографическое моделирование и ГИС-анализ. Методы геоинформационного картографирования и визуализации карт

в ГИС. Особенности электронных и компьютерных карт и атласов. Картографические ресурсы в Интернет, картографирование в Интернет.

Возможности использования геоинформационных технологий при обработке материалов дистанционного зондирования. Аналоговые и цифровые снимки. Радиометрические свойства цифровых снимков. Особенности программного обеспечения для обработки снимков. Возможности компьютерной обработки разновременных снимков и изучения динамики. Включение информации, полученной по снимкам, в ГИС. Совместная работа с картой и снимком. Получение снимков в Интернете.

Освоение наиболее популярных ГИС (практикум). Знакомство со структурой и особенностями различных коммерческих (ArcGIS, ArcView, Mapinfo, ERDAS Imagine, IDRISI, ENVI, Surfer и др.) и свободных пользовательских (Quantum-GIS, Multi-Spec и др.) ГИС-пакетов. Изучение интерфейса, организации данных, функциональных возможностей программ. Создание цифровых картографических основ. Алгоритмы создания цифровых моделей рельефа и получение производных морфометрических карт. Создание баз данных, пространственный анализ данных. Создание тематических карт по статистической информации.

Подготовка снимков к дешифрированию. Создание мозаик снимков. Совмещение снимка с цифровой моделью рельефа. Сравнение зональных снимков. Получение синтезированных снимков. Создание производных индексных изображений. Преобразование по методу главных компонент. Координатная привязка и трансформирование изображений. Орто-трансформированные снимки. ГИС и глобальные системы позиционирования. Компьютерное дешифрирование снимков на основе алгоритмов контролируемой и неконтролируемой классификаций по спектральным признакам. Особенности компьютерной обработки гиперспектральных снимков.

Реализация ГИС в области природопользования и охраны окружающей среды. Изучение и анализ конкретных примеров региональных ГИС, их применение в решении стратегических и оперативных задач. Выявление пользователей ГИС, определение задач, решаемых на разных уровнях. Требования к ГИС, позволяющие использовать их в управлении окружающей средой. Результаты реализации региональных ГИС: планирование и проектирование рационального природопользования, разработка комплексных территориальных систем оптимизации природопользования, планирование социально-экономического развития территорий, ландшафтное планирование и проектирование, районные планировки, региональные схемы расселения, комплексная эколого-экономическая оценка воздействия на окружающую среду, формирование экологического каркаса территории, обеспечение экологической безопасности населения и др. Примеры применения ГИС в крупных природоохранных проектах бассейнового уровня, уровней особо охраняемых территорий и территориально-производственных комплексов, муниципальных образований (Воробьева и др. Материалы..., 2006; Воробьева и др., 2006). Опыт реализации региональных экологических проектов с помощью ГИС: для прогноза развития природных и природно-техногенных чрезвычайных ситуаций и минимизации их последствий, для контроля и оценки воздействия нефтегазопроводов, радиационного загрязнения, экологического мониторинга в целом и др.

Развитие систем поддержки принятия решений в целях оптимизации природопользования и обеспечения экологической безопасности населения с использованием ГИС.

Как показывает опрос выпускников кафедры, знания, полученные в процессе обучения, позволяют им работать в самых разных сферах, связанных с решением экологических проблем и использованием природных ресурсов. При этом умение и владение ГИС-технологиями повышают их конкурентную способность на рынке труда.

ЛИТЕРАТУРА

1. Воробьева Т.А., Калюжная И.Ю., Калюжная Н.С. Геоинформационное обеспечение управления региональными природными парками. // ИнтерКарто/ИнтерГИС – 12: Устойчивое развитие территорий: теория ГИС и практический опыт. Материалы Международной конференции, -Калининград, Берлин, 25-30 августа 2006, Том 2. С. 52 – 54

2. Воробьева Т.А., В.С.Поливанов М.М. Поляков. Муниципальные ГИС: информационное обеспечение экологического контроля / под. ред. к.т.н. М.М.Полякова. – Вологда: Вологодский научно- координационный центр ЦЭМИ РАН, 2006.-250 с.
3. Воробьева Т.А. Геоинформационные системы в управлении природопользованием. Учебная программа // Магистерские образовательные программы по направлению 020800 «Экология и природопользование»: для государственных университетов. М.: Универсум, 2006. С. 223-228
4. Воробьева Т.А., Тульская Н.И. Региональные ГИС в управлении природопользованием. Учебная программа // Магистерские образовательные программы по направлению 020800 «Экология и природопользование»: для государственных университетов. М.: Изд. географического факультета Московского университета, 2007. С. 135-143
5. Зенгина Т.Ю., Козлов Д.Н., Тульская Н.И. Геоинформационные методы в ландшафтном планировании. Учебная программа // Магистерские образовательные программы по направлению 020800 «Экология и природопользование»: для государственных университетов. М.: Универсум, 2006. С.150-159
6. Зенгина Т.Ю., Тульская Н.И. Геоинформационные технологии. Учебная программа // Магистерские образовательные программы по направлению 020800 «Экология и природопользование»: для государственных университетов. М.: Универсум, 2006. С.442-450
7. Зенгина Т.Ю. Профильные учебные геоинформационные системы как дидактический инструмент комплексной подготовки специалистов в области природопользования и геоэкологии // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Информатизация образования. 2011. № 2. С. 47-54.
8. Слипечук М.В., Голубева Е.И., Пакина А.А. Образование и вызовы времени: опыт кафедры рационального природопользования // Рациональное природопользование: теория, практика, образование /Под общ. ред. проф. М.В. Слипечука. – М.: Географический факультет МГУ, 2012. С. 232-235

GIS-TECHNOLOGY IN THE SYSTEM OF TRAINING THE SPECIALISTS IN THE FIELD OF ENVIRONMENTAL MANAGEMENT AND ECOLOGY

T.A. VOROBYOVA, E.I. GOLUBEVA, T.YU. ZENGINA, N.I. TULSKAYA

Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, MSU

Possibility of application of geoinformation systems and technologies in educational process is considered, examples of training courses are given. The article emphasizes the need of studying and mastering by future experts the theoretical and methodical bases of GIS-technologies as the integral part of modern scientific researches and practical activities in the field of geoecology and environmental management and its optimization.

ЧИСТАЯ ПЕРВИЧНАЯ ПРОДУКЦИЯ ДРЕВЕСНЫХ ПОРОД В БОРЕАЛЬНЫХ ЛЕСАХ РОССИИ

Ю.Д. ИВАНОВА¹, В.Г. СУХОВОЛЬСКИЙ²

¹**Институт биофизики СО РАН**

²**Институт леса им. В.Н.Сукачева СО РАН**

Авторами предложен подход к оценке ЧПП древостоев, основанный на модели распределения фитомассы между различными фракциями деревьев в насаждении. Полученная функция $b(T)$, характеризующая конкуренцию за ресурс (фитомассу) фракций дерева, в спелых насаждениях стремится к постоянной величине у деревьев различных видов и в различных условиях произрастания. Районирование территории России по значениям $b(T)$ может позволить в дальнейшем получать оценку ЧПП, основываясь только на значениях запаса древесины, без трудоемких измерений фитомасс отдельных фракций.

Оценка текущего значения чистой первичной продуктивности (ЧПП) при определении его для различных экосистем является весьма трудоемким. В настоящее время единственным способом, который позволяет регулярно получать информацию о продуктивности растительности, как на глобальном, так и региональном уровнях, является дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ). В большинстве моделей оценки чистой первичной продукции (ЧПП) с помощью ДЗЗ используется связь между ЧПП и эффективностью усвоения фотосинтетиче-

ски активной радиации (ФАР). В идеальных условиях уровень ЧПП линейно зависит от уровня ФАР (Monteith, 1977; Landsberg, 1986). Однако при валидации оценок ЧПП, полученных по космическим данным, необходимо знать величины ЧПП, полученные по наземным измерениям в различных типах леса, с учетом видовых и возрастных характеристик лесной растительности.

В основе методов наземной оценки ЧПП лежат морфометрические параметры древесной растительности на изучаемой территории (Стаканов, Алексеев и др., 1994; Замолотчиков и др., 2005; Швиденко и др., 2001, 2006). Наряду с этим широко используются материалы по значениям фитомассы отдельных фракций древесной растительности (Усольцев, 2001; 2010).

Авторами предложен подход к оценке ЧПП древостоев, основанный на модели распределения фитомассы между различными фракциями (стволом, корнями, ветвями, листвой) деревьев в насаждении (Суховольский, Иванова, 2013, см. настоящей сборник). Согласно этой модели, фитомассы фракции дерева связаны друг с другом следующим уравнением (Суховольский, 1997; Исаев и др., 2007):

$$M(i, T) = M(1, T) i^{-b(T)}$$

где T – возраст насаждения; i – ранг фракции фитомассы; $M(i, T)$ – фитомасса i -ой фракции в возрасте T ; $M(1, T)$ – фитомасса ствола дерева (насаждения) в возрасте T ; $b(T)$ – параметр, характеризующий конкуренцию за ресурс (фитомассу) фракций дерева.

Показано, что фитомассы фракций деревьев в насаждении можно вычислить, исходя из величины запаса древесины в насаждении, если известно значение функции $b(T)$. В связи с этим в настоящей работе, используя литературные данные, были проведены расчеты функции $b(T)$ для насаждений различных пород в различных географических зонах (Севере Европейской части России, Урале, Западной и Восточной Сибири, Дальнем Востоке, юге России). Расчеты функции $b(T)$ были произведены для таких пород, как сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris*), ель сибирская (*Picea abies*), лиственница сибирская (*Larix sibirica*) и береза пушистая (*Betula pendula*). На рисунке 1 показаны значения функции $b(T)$ для некоторых из анализируемых насаждений.

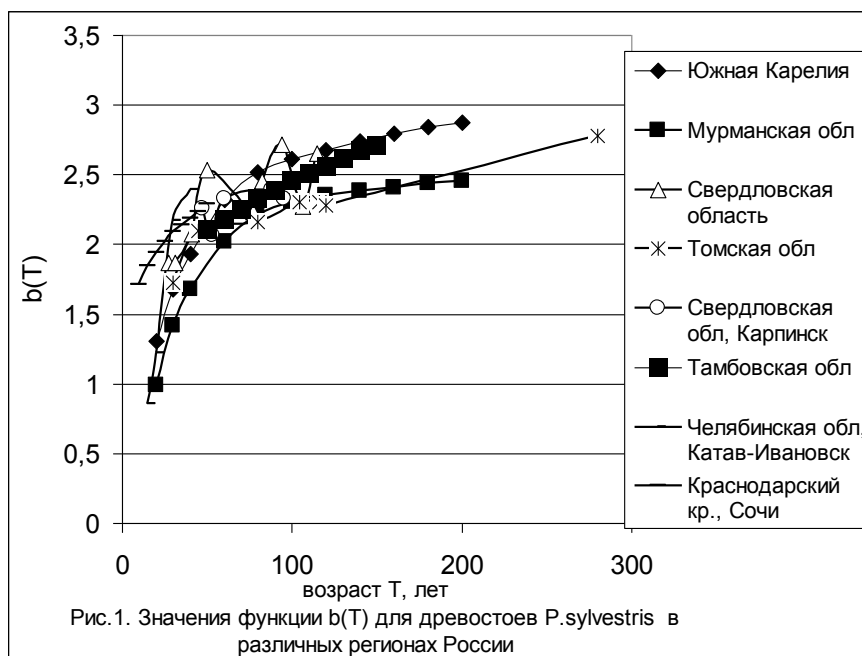


Рис. 1. Значения функции $b(T)$ для древостоев *P.sylvestris* в различных регионах России

Наиболее продуктивные насаждения сосны обыкновенной находятся в южных лесах (Катав-Ивановск Челябинской обл., Северка Свердловской обл. и Сочи Краснодарского края), что связано с большей продолжительностью вегетационного периода и в наиболее молодых возрастах – до 50-ти лет. Для большинства других регионов, наблюдается увеличе-

ние ЧПП к возрасту 40-50 лет и затем плавное снижение продуктивности к старшим возрастам.

На основании полученных данных можно говорить о том, что величина $b(T)$ в спелых насаждениях стремится к постоянной величине не только у деревьев различных видов, но и в различных условиях произрастания. Районирование территории России по значениям $b(T)$ может позволить в дальнейшем получать оценку ЧПП, основываясь только на значениях запаса древесины, без трудоемких измерений фитомасс отдельных фракций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Замолодчиков Д.Г., Уткин А.И., Коровин Г.Н. Конверсионные коэффициенты фитомасса / запас в связи с дендрометрическими показателями и составом древостоев // Лесоведение. 2005. № 6. С. 73–81.
2. Исаев А.С., Овчинникова Т. М., Суховольский В.Г. Распределение фитомассы деревьев и насаждений по фракциям: модель конкуренции // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. СПб: Гидрометеоиздат. 2007. т.21. С. 232 – 250.
3. Станков В.Д., Алексеев В.А., Коротков И.А., Климушин Б.Л. Методика определения запасов фитомассы и углерода лесных сообществ // Углерод в экосистемах Сибири (под ред. В.А.Алексеева и Р.А. Бердси). Красноярск. 1994. 170 с.
4. Суховольский В.Г. Свободная конкуренция фракций дерева за ресурсы и аллометрические соотношения // Журнал общей биологии. 1997. № 5. С. 80-88.
5. Усольцев В.А. Фитомасса и первичная продукция лесов Евразии. Екатеринбург: УрО РАН. 2010. 570 с.
6. Усольцев В.А. Фитомасса лесов Северной Евразии: база данных и география. Екатеринбург: УрО РАН. 2001. 328 с.
7. Швиденко А.З., Нильсон С., Столбовой В.С., Рожков В.А., Глюк М. Опыт агрегированной оценки основных показателей биопродукционного процесса и углеродного бюджета наземных экосистем России // Экология, 2001. №2. С. 83-90.
8. Швиденко А.З., Щепаченко Д.Г., Нильсон С., Булуй Ю.И. Таблицы и модели хода роста и продуктивности насаждений основных лесообразующих пород Северной Евразии (нормативно-справочные материалы). Москва. 2006. 803 с.
9. Landsberg J.J. Physiological Ecology of Forest Production. Academic Press, London, Sydney. 1986. 198 pp.
10. Monteith J.L. Climate and the efficiency of crop production in Britain. Philosophical Transactions of the Royal Society. London. 1977. №281. P. 277-294.

NETT PRIMARY PRODUCTION OF TREE SPECIES IN RUSSIAN BOREAL FORESTS

YU.D.IVANOVA¹, V.G.SOUKHOVOLSKY²

¹Institute of biophysics, SB RAS

²V.N.Sukachev Institute of Forest SB RAS

The approach to NPP estimation proposed based on tree phytomass distribution model. Function $b(t)$ characterized a competition for resource (phytomass) between tree fraction. Value $b(T)$ is stable for mature stands of different tree species in various environmental conditions. It's possible to estimate NPP by $b(T)$ function using wood volume only.

ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ АЭРОФОТОСЪЕМКИ И КОСМИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ И ПРИМЕНЕНИЕ ИХ ПРИ КАРТОГРАФИРОВАНИИ ЛЕСОВ В ЛЕСОУСТРОЙСТВЕ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

М.А. ИЛЮЧИК, С.С. ЦАЙ

Лесоустроительное республиканское унитарное предприятие «Белгослес»

В статье приводятся современные методы обработки данных аэро- и космической съемки для формирования цифровых картографических материалов при лесоустройстве и использовании их в лесном хозяйстве Республики Беларусь.

В последнее десятилетие в отрасли лесного хозяйства Республики Беларусь интенсивно развиваются и внедряются цифровые методы обработки информации и ГИС-технологии.

Рациональное использование лесных ресурсов, управление лесным хозяйством требуют наличия полной и достоверной информации обо всех природных и техногенных процессах на территории интересующего района. Отечественный и зарубежный опыт показывает, что такую полноту информации могут обеспечить данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и геоинформационные технологии в сочетании с другими традиционно используемыми источниками информации.

Данные дистанционного зондирования Земли находят применение в различных областях лесного хозяйства, таких как изучение лесных экосистем, инвентаризация и картографирование лесов, регистрация текущих изменений в лесном фонде, анализ динамики лесных площадей, оценка организации и порядка лесопользования, состояния лесовозобновления и насаждений в зонах промышленного загрязнения. Материалы аэрофотосъемки традиционно используют в практике лесоустройства уже более полувека. Материалы космической съемки позволяют оценивать значительные площади, поврежденные пожарами, энтомовыми вредителями, стихийными бедствиями и антропогенно поврежденные.

В последние годы подразделениями РУП «Белгослес» совместно с другими организациями проводились научные исследования по разработке и применению информационных технологий и аэрокосмических материалов для решения задач лесного хозяйства и лесоустройства.

В 2002 году была разработана и внедрена в лесоустроительное производство технология формирования цифровых картографических материалов, которая основывалась на компьютерной векторизации отцифрованных материалов аэрофотосъемки, привязанных к топооснове или ЗИС-основе. Был разработан программный комплекс «FORMOD» на базе MapInfo по формированию тематических карт-материалов (планшетов, планов, картосхем). Недостатком данной технологии являлось использование топоосновы 80-х, а то и более поздних лет создания, что вызывало некоторые ошибки при выполнении привязки АФС. В последние годы возрастают требования к качеству создаваемых картографических материалов, соответственно ищутся пути их решения за счет освоения новых технологий.

В 2006 году в рамках ГНТП «Управление лесами и рациональное лесопользование» совместно с РУП «Белгеодезия» началось выполнение задания «Разработать и внедрить технологию обработки материалов аэрофотосъемки (АФС) и космической съемки (КС) с использованием цифровых фотограмметрических методов для создания лесных карт». Разработкой предусматривалась высокотехнологическая обработка материалов съемки и использование полученной высокоточной основы для создания лесных карт уже на начальном этапе проведения лесоустроительных работ.

Нужно отметить, что для целей выполнения комплекса работ по обработке цифровых изображений (стереоизображений) и формированию цифровых картографических материалов, в настоящее время широко используют цифровые фотограмметрические технологии. Работы с использованием цифровых фотограмметрических станций обходятся значительно дешевле традиционных фотограмметрических работ, при одновременном значительном увеличении качества выходного продукта. Кроме того, цифровые методы обработки позволяют получить новый вид документации – объемную цифровую растровую фотограмметрическую модель, цифровую модель рельефа.

В настоящее время известны и широко используются несколько фотограмметрических комплексов, это: «Photomod» (Россия), «ЦФС-Талка» (Россия), «INPHO» (Германия), Leica Photogrammetry Suite (LPS) (Швейцария) и другие.

Нами был выбран программный комплекс PHOTOMOD, разработанный российской компанией «Ракурс». Рабочий проект фотограмметрической обработки АФС представлен на рисунке 1, процесс создания векторных слоев будущей лесной карты в стереорежиме приведен на рисунке 2.

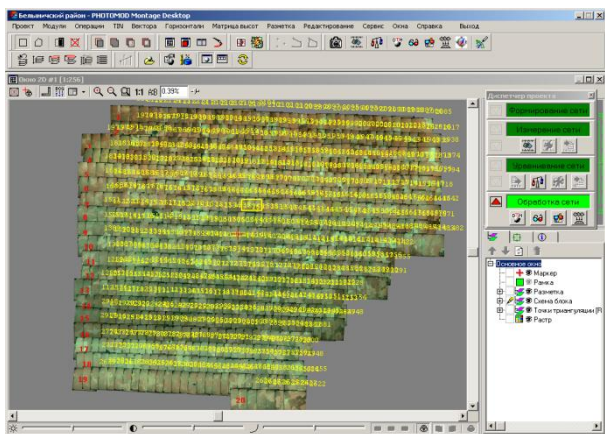


Рис. 1. Проект фотограмметрической обработки АФС

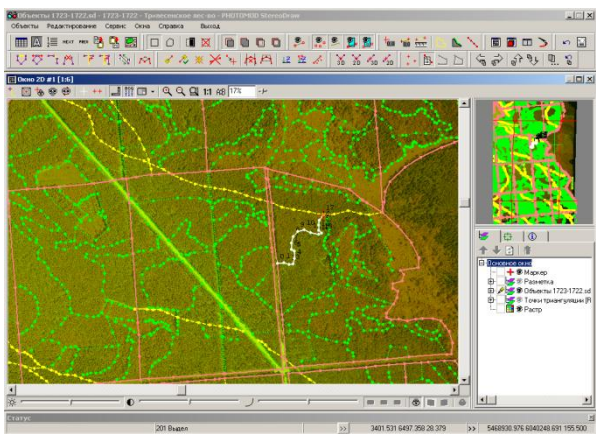


Рис. 2. Создание цифровых векторных слоев будущей лесной карты в стереорежиме

Программный комплекс цифровой фотограмметрии PHOTOMOD предназначен для решения полного комплекса задач – от построения сети фототриангуляции до формирования моделей рельефа, создания цифровых карт местности и ортофотопланов.

Применение системы PHOTOMOD в камеральном производстве принципиально меняет последовательность обработки фотоизображений. Координатная основа будущей лесной карты формируется в процессе обработки совокупности аэрофотоснимков на весь объект лесоустройства, а не на каждый снимок в отдельности. Это позволяет снизить негативное влияние дефицита опорных точек, используемых для координирования снимков, а также дает возможность печатать только отдешифрированную информацию для полевых работ (границы выделов вместе со снимками) в проекции карты с выбором участка и масштаба.

Картографической основой для составления лесоустроительных планшета по материалам аэрофотосъемки, а также для лесотаксационного дешифрирования служат построенные в системе PHOTOMOD цифровые ортофотопланы лесничества и объемные фотограмметрические модели, состоящие из цифровых стереопар на объект устройства (лесхоз, лесничество).

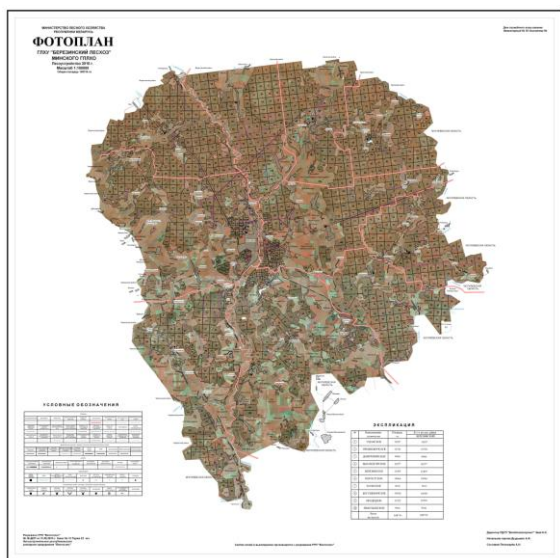


Рис. 3. Фотоплан территории Березинского лесхоза

Важным элементом, снижающим трудоемкость всего процесса камеральной обработки материалов лесоустройства, является совмещение процедур контурного дешифрирования и векторизации лесоустроительной нагрузки лесных карт. Такое совмещение позволяет еще на этапе камеральной обработки материалов АФС получить готовый векторный план будущей лесной карты, планшета и плана лесничества. Полученные цифровые ортофотопланы масштаба 1:10 000 могут быть использованы при последующем проведении базового лесоустройства с возможностью учета текущих изменений в лесном фонде за ревизионный период (рис. 3).

Предлагаемая технология обработки данных аэрофотосъемки с использованием цифровых фотограмметрических методов позволяет повысить точность лесоустроительных и лесоинвентаризационных работ, в камеральный период сократить сроки обработки и выдачи лесоустроительных материалов.

На сегодняшний день на всю территорию лесного фонда Республики Беларусь созданы цифровые картографические материалы. С этого года повторный тур лесоустройства будет проводиться с использованием уже созданных цифровых карт.

Внедрение и использование данных дистанционного зондирования на основе материалов космической съемки для целей лесного хозяйства началось в республике с конца 90-х годов. Материалы КС сверхвысокого пространственного разрешения начали применять в практике белорусского лесоустройства с 2008 года. Полученные данные такой съемки по своим качественным характеристикам приближаются к материалам аэрофотосъемки и могут быть использованы при лесоустроительных работах. Среди таких систем дистанционного зондирования можно назвать: Ikonos (1 м, запуск 1999 г.); QuickBird (0,6м, 2001г.); WorldView-1 (0,5 м, 2007 г.); GeoEye-1 (0,4 м, 2008 г.); WorldView-2 (0,5 м, 2009 г.) и др.

В рамках научного задания «Разработать технологию комплексной обработки данных дистанционного зондирования Земли для решения задач лесного хозяйства» по Национальной программе исследования и использования космического пространства в мирных целях, (2009-2012 гг.) одной из задач была разработка технологий обработки материалов КС сверхвысокого пространственного разрешения для целей контурного дешифрирования земель лесного фонда при лесоустройстве.

В рамках задания была отработана технология обработки космических снимков и использования их для целей контурного дешифрирования лесных выделов и создания цифровой картографической основы будущих карт и планов на территорию лесхозов (рис. 4). Недостатком материалов КС сверхвысокого пространственного разрешения является дорогостоящая стереосъемка. Отсутствие стереоизображения частично компенсируется при дешифрировании на мониторе ПК, возможностью увеличения материалов съемки до масштаба 1:2000. Преимущество космической съемки заключается в менее трудоемкой обработке по сравнению с АФС.

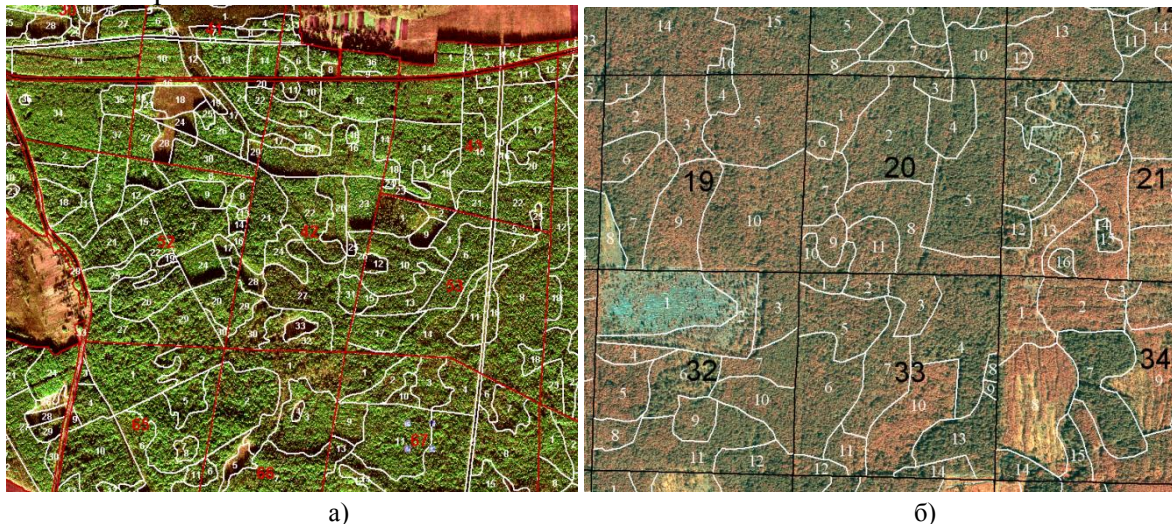


Рис. 4. Отдешифрированные границы выделов по материалам:
а) КС Ikonos, 1 м, б) КС GeoEye, 0,5м.

Есть неоспоримые преимущества в использовании материалов космической съемки, однако нельзя не сказать и о некоторых недостатках их применения в лесоустроительных работах. Утверждение о том, что «космическая съемка полностью заменит аэрофотосъемку» не совсем верно. Реализация наших разработок подтверждает, что космосъемка является альтернативой аэрофотосъемке, и она может быть применена в технологическом процессе лесоустроительных работ там, где это экономически выгодно и технически целесообразно. Например, проведение съемки приграничных территорий экономически выгоднее из космоса, так как для космоса нет «границ» съемки, а вот для летательного аппарата-аэросъемщика могут возникнуть трудности с получением разрешения на съемку территории смежных государств.

Отметим, что в последние годы территория лесного фонда Республики Беларусь повреждалась в результате чрезвычайных ситуаций из-за неблагоприятных климатических факторов, это, как правило, буреломы, ветровалы и др.

В рамках программы Союзного государства «Космос-НТ» была разработана технология и программное обеспечение для решения задачи учета состояния лесного фонда и ресурсной оценки поврежденных насаждений.

После запуска российско-белорусской группировки космических аппаратов, полученные с них данные космосъемки предполагается использовать для решения оперативных задач лесного хозяйства и лесоустройства Республики Беларусь.

PROCESSING TECHNOLOGY OF AERIAL AND SPACE IMAGES OF HIGH RESOLUTION FOR THE FOREST INVENTORY OF THE REPUBLIC OF BELARUS

M.A. ILYUCHYK, S.S.TSAI

Forest regulative republican unitarian enterprise «Belgosles»

The article describes modern methods of data processing of aerial and space imagery for formation of digital cartographic materials in the forest inventory and use them in the forestry sector of the Republic of Belarus.

ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ В СИСТЕМЕ ЛЕСОПАТОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

А.С. ИСАЕВ¹, Н.И. ЛЯМЦЕВ², Д.В. ЕРШОВ¹

¹Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН

²ВНИИ лесоводства и механизации лесного хозяйства

Показаны примеры применения геоинформационных технологий для оценки состояния лесов с использованием пространственной базы данных наземной сети мониторинга и дистанционного зондирования. Рассмотрены способы анализа лесопатологической информации для обеспечения лесозащитного районирования и адаптивного прогнозирования распространения очагов вредных насекомых по регионам России.

Эффективное получение и использование информации при ведении лесопатологического мониторинга не возможно без современных информационных технологий, позволяющих в кратчайший срок выполнять комплексный анализ негативных воздействий на состояние лесов и выбирать оптимальные решения по их защите от вредных организмов. Как показывает имеющийся опыт, наиболее перспективной является система мониторинга, базирующаяся на интеграции существующих потоков информации и новых данных, получаемых наземными и дистанционными методами.

Информационная база мониторинга формируется по нескольким каналам, оценивающим состояние насаждений, лесорастительные условия, климатическую и погодную ситуацию, параметры взаимодействия насекомых и возбудителей болезней с кормовыми породами, естественными врагами и другими компонентами биоценозов.

В России примеров использования ГИС-технологий для решения задач лесопатологического мониторинга не так много. Практически все они реализованы в рамках научно-исследовательских проектов. Одна из первых информационно-поисковых систем «Прогноз в защите леса» (Знаменский, Лямцев, 1986), обеспечивала получение, хранение и обработку информации в целях прогнозирования динамики численности насекомых-вредителей и принятия решений о необходимости проведения лесозащитных мероприятий в Европейской России. Сбор и накопление экспериментальных данных позволили создать методические основы оптимизации учетных работ и анализа лесопатологической

информации. Оценка параметров популяций вредных насекомых в разных экологических условиях способствовала выявлению закономерностей воздействия насекомых на лесные биоценозы.

Масштабные исследования по созданию ГИС-технологий велись в Институте леса (Красноярск) и ЦЭПЛ РАН (Москва). На основе модели динамики численности черного пихтового усача построены прогнозные компьютерные карты, на которых пихтовые леса дифференцированы на устойчивые, переходные и неустойчивые к этому вредителю. Анализ этих карт и карт транспортной сети, позволяет оценить абсолютные и относительные площади лесных массивов, достигших критических параметров с точки зрения возможности возникновения очагов усача, а также их доступность для хозяйственного освоения.

Специальная программа информационного обеспечения на основе ГИС-технологий и дистанционного зондирования из космоса была разработана для объективной и своевременной оценки состояния лесов в зоне вспышек размножения сибирского шелкопряда в Красноярском крае. Для территории Усольского лесничества, в наибольшей степени пострадавшего от шелкопряда, был сформирован банк данных ГИС, базирующийся на материалах инвентаризации лесов, а также на информации о повреждении насаждений сибирским шелкопрядом и проведении лесозащитных мероприятий. Была проведена космическая съемка высокого разрешения спутниковой системой SPOT-2/HRV, позволившая выявить поврежденные шелкопрядом участки леса и оценить степень повреждения. Разработана методика тематической обработки космических снимков с использованием ГИС-технологий и построены на этой основе тематические карты поврежденности лесов. Показано, что спутниковые изображения открывают принципиальную возможность идентифицировать лесные участки различной степени поврежденности сибирским шелкопрядом.

Важным этапом является опыт использования ГИС-технологий в рамках мониторинга состояния лесов ICP Forests (Российский координационный центр – ЦЭПЛ РАН). Основным источником информации для пространственной базы данных (ПБД) является наземная регулярная сеть пунктов постоянного наблюдения (ППН) 1-го уровня. Сеть создана в период 2007-2010 гг. размером 16×16 и 32×32 км. Для создания ПБД использован профессиональный ГИС-пакет ArcView 9.3. В среде ГИС составлены наборы тематических карт на уровне ППН для 6-ти субъектов Российской Федерации (Республика Карелия, Мурманская, Ленинградская, Калининградская, Псковская и Новгородская области). Карты отражают состояние крон преобладающих пород деревьев на ППН (средние значения дефолиации, дехромации, категорий санитарного состояния), долю поврежденных деревьев преобладающих пород на ППН, встречаемость наиболее опасных причин повреждений деревьев преобладающих пород на ППН и др. Для оценки временных и пространственных изменений характеристик состояния крон преобладающих пород деревьев на ППН составлен набор карт динамики для периода 2008-2010 гг. (Разработка..., 2012).

Для эффективного прогнозирования и осуществления мероприятий по защите лесов наиболее важной задачей является создание автоматизированной системы анализа лесопатологической информации. Она должна включать базы данных, методы обработки информации (алгоритмы, модели), компьютерные программы для автоматизации прогнозирования и принятия управленческих решений.

Основными задачами системы принятия решений о необходимости защитных мероприятий являются:

- определение и прогноз степени повреждения насаждений при разной интенсивности воздействия негативных факторов (пожаров, экстремальной погоды, вредных насекомых и болезней леса и др.) с учетом санитарного состояния и устойчивости древостоев;
- определение ущерба (усыхания деревьев, потерь прироста, снижения недревесной продукции леса и иных полезных функций) в зависимости от интенсивности повреждения насаждений в разных экологических условиях;

- оценка затрат на проведение лесозащитных мероприятий, определение порогов вредоносности насекомых и болезней леса.

Важной задачей является обработка данных статистической и отраслевой отчетности по защите лесов с использованием ГИС-технологий. Ретроспективный анализ материалов отчетности свидетельствует о высокой информативности данных. Они позволяют судить о санитарном состоянии лесов и тенденциях его изменения. Создание совмещенной базы данных площадей очагов и картографической информации позволяет районировать территорию, выделять зоны с разной степенью вредоносности насекомых и разрабатывать фоновые прогнозы развития очагов во времени и пространстве. Для уточнения границ зон необходимо использовать карты лесов и климатические параметры.

Обеспечение необходимой точности прогнозов невозможно без усиления адаптивной составляющей системы, включающей создание комплекса моделей и компьютерных программ, постоянного их совершенствования в автоматизированном режиме на основе данных лесопатологического мониторинга, а также оценки точности прогнозов. Для реализации адаптивного подхода требуется выполнение следующих условий: 1) постоянный учет очагов (мониторинг); 2) создание и ведение баз данных; 3) разработка прогнозных моделей; 4) создание компьютерных программ для быстрого и удобного расчета прогнозных оценок по имеющимся моделям; 5) разработка программ, обеспечивающих выбор наиболее адекватных моделей и уточнение (настройку) их параметров, а также прогнозных оценок с учетом поступления новых результатов мониторинга очагов. Положительным моментом технологии является возможность быстрой адаптации моделей и корректировки прогнозов.

Для своевременного обнаружения и прогнозирования вспышек массового размножения вредителей леса большое значение имеет анализ многолетней динамики очагов конкретных видов по регионам России. Например, за последние 35 лет очаги сибирского шелкопряда зарегистрированы в 23 субъектах Российской Федерации. Площадь очагов и амплитуда ее колебания зависела от географического расположения и экологических условий региона. Она изменялась от 75 га (Челябинская обл.) до 8,3 млн. га (Республика Саха, Якутия). Анализ многолетних данных учета очагов по регионам позволил определить характер их динамики: периодичность колебаний и тенденции изменения площади очагов. На этой основе разрабатываются долгосрочные и среднесрочные прогнозы формирования и распространения очагов насекомых.

Задачами ГИС по защите лесов является оценка и прогноз состояния насаждений, степени их повреждения и усыхания, динамики очагов насекомых и болезней, численности вредных организмов, ожидаемого ущерба с целью планирования защитных мероприятий и оценки их эффективности.

Для оценки вероятности возникновения вспышек массового размножения наиболее опасных вредителей необходимо обладать информационным обеспечением, отражающим их приуроченность к региону и лесорастительным условиям, охват территории, периодичность и масштабы поражения. Информационной основой для этого являются литературные данные и база ежегодной статистической отчетности по защите леса. База содержит агрегированную информацию о санитарном и лесопатологическом состоянии лесов по регионам России за 1978-2010 гг. (статистическая форма №12-ЛХ). Многолетние данные характеризуют динамику очагов наиболее опасных насекомых.

Пространственный анализ данных по защите леса осуществлялся с использованием ESRI ArcGIS ArcMap 10 с привязкой к картографической основе административного деления. Это позволяет получить общее представление о распространении вредителей по территории страны. Были созданы серии карт, их анализ за разные годы позволяет определить для каждого вида насекомого территорию, в пределах которой наблюдаются очаги массового размножения. Используя данные о многолетней динамике очагов насекомых по каждому региону России, можно выделить зоны с разной периодичностью и интенсивностью вспышек массового размножения. Для районирования территории по степени лесопатологического угрозы целесообразно использовались оценки вероятности

возникновения очагов массового размножения наиболее опасных насекомых. Этот показатель является интегральным и наиболее эффективным для классификации лесного фонда на зону постоянных вспышек и территории, где очаги вредителей возникают редко и, следовательно, имеют меньшее хозяйственное значение. Высокая (более 75%) встречаемость очагов свидетельствует о перманентном характере массовых размножений насекомых.

Для определения эффективности защитных мероприятий может использоваться оценка степени повреждения лесов насекомыми, полученная по спутниковым снимкам после проведения работ. Затухание деструктивных процессов (существенное снижение отпада деревьев, их дефолиации и дехромации по сравнению с данными предыдущих наблюдений) свидетельствуют об эффективности проведенных мероприятий.

Для прогнозирования угрозы массового размножения стволовых вредителей могут использоваться многолетние данные о повреждениях лесов насекомыми, пожарами, ветровалами и другими негативными воздействиями (рубка лесных насаждений, засухи), выявленных по спутниковым изображениям.

Проведенный анализ показывает, что ГИС-методы являются основой интеграции мероприятий и создания систем защиты лесов от вредных организмов. Без них не возможно обеспечение принятия оптимальных решений на основе достоверной информации о состоянии лесов. Необходим незамедлительный переход от исследовательских (лабораторных) информационных систем к развертыванию и эксплуатации ГИС лесопатологического мониторинга.

ЛИТЕРАТУРА

1. Знаменский В.С., Лямцев Н.И. Информационно-поисковая система «Прогноз в защите леса на базе ЕС ЭВМ» // Лесохоз. информ. 1989. №1. С. 32.
2. Исаев А.С., Лямцев Н.И., Еришов Д.В. Прогнозирование и контроль массового размножения лесных насекомых в системе лесозащитного мониторинга // Лесная таксация и лесоведение. Красноярск, 2005. Выпуск 1 (34). С. 86-106.
3. Разработка научно-обоснованных предложений по критериям и индикаторам ослабления лесов на основе результатов лесопатологического мониторинга, выполненного по международным стандартам, для оценки исполнения переданных полномочий в области лесных отношений: отчет о НИР / ЦЭПЛ РАН; рук. Н.В. Лукина. - М. 2012. 118 с.

GEOINFORMATION APPROACHES IN FOREST PATHOLOGY MONITORING

A.S. ISAEV¹, N.I. LYAMTSEV², D.V. ERSHOV¹

Center for forest ecology and productivity RAS

²All-Russian Research Institute for Silviculture and Mechanization of Forestry

Examples of geoinformation technology applications based on ground monitoring network and remote sensing spatial data base in forest condition assessments. Forest pathology analysis patterns for forest protection zoning and adaptive prediction of hazardous pest outbreak spread across Russian regions are examined.

СОВРЕМЕННОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ В ЦЕЛЯХ ЛЕСОУЧЕТНЫХ РАБОТ

В.Н. КОСИЦЫН

Федеральное агентство лесного хозяйства

Рассматриваются вопросы использования материалов космической съемки для целей лесоучетных работ в России, в том числе при мониторинге пожарной опасности в лесах и лесных пожаров, лесопатологическом мониторинге, государственной инвентаризации лесов, лесоустройстве.

Использование данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) прочно вошло в практическую деятельность лесного хозяйства России. Для целей лесоучетных работ используется информация с различных космических аппаратов с разрешением от 1 м до 1 км, в зависимости от решаемых задач.

Использование данных ДЗЗ при охране лесов от пожаров, выполнении мер пожарной безопасности в лесах и тушении лесных пожаров осуществляется в рамках мониторинга пожарной опасности в лесах и лесных пожаров.

Космические технологии эффективно применяются в зоне космического мониторинга. В зонах авиационной и наземной охраны лесов от пожаров космический мониторинг является инструментом контроля за достоверностью сведений, предоставляемых субъектами Российской Федерации, в форме проверки их соответствия фактической лесопожарной ситуации.

Комплекс мероприятий по контролю за пожарами на территории земель лесного фонда Российской Федерации выполняется с помощью Информационной системы дистанционного мониторинга Федерального агентства лесного хозяйства (далее ИСДМ-Рослесхоз), оператором которой является ФБУ «Авиалесоохрана».

Задача оценки пройденной огнем площади в ИСДМ-Рослесхоз решается различными методами:

- оперативная оценка по тепловым аномалиям;
- оценка по изменению растительности (вегетативному индексу);
- автоматизированным и ручным методами по космическим снимкам высокого разрешения;
- просмотр информации по контуру пожара по результатам натурных замеров с применением средств спутниковой навигации.

Для решения задач мониторинга пожарной опасности в лесах данные ДЗЗ поступают в ИСДМ - Рослесхоз с различной периодичностью.

Материалы пространственного разрешения от 250 м до 1 км (спутники NOAA, TERRA, AQUA прибор MODIS) поступают от 4 до 16 раз в сутки.

Со спутника Метеор-М по данным прибора МСУ-МР с пространственным разрешением 1 км осуществляется определение горящих точек методом визуального анализа, данные поступают ежедневно 3-4 раза; данные с прибора КМСС, установленного на вышеуказанном спутнике, с пространственным разрешением 50-100 м используются для оперативного определения площади и контура лесного пожара, данные поступают ежедневно; информация со спутника SPOT (прибор VEGETATION) с пространственным разрешением 1 км поступает 2 раза в месяц и используется для определения послепожарного вегетационного индекса участков леса; данные ДЗЗ с пространственным разрешением 20-30 м (SPOT, LANDSAT) поступают в ИСДМ-Рослесхоз 3-5 раз в месяц и позволяют определять контур гари, площадь и степень повреждения насаждений.

Следующее направление использования данных ДЗЗ в лесном хозяйстве – при защите лесов в рамках лесопатологического мониторинга.

Применение космических снимков в целях лесопатологического мониторинга позволяет решать сразу несколько задач:

- выявлять участки повреждения и гибели лесных насаждений;
- определять границы повреждения лесов;
- составлять схемы поврежденных насаждений.

Данные, полученные в результате дешифрирования космических снимков, используются для предварительной оценки ущерба и целевых прогнозных показателей (в части гибели лесов), выбросов углерода, планирования места и объемов проведения лесопатологических обследований и санитарно-оздоровительных мероприятий, а также для оценки эффективности лесозащитных мероприятий.

Для проведения дистанционного лесопатологического мониторинга в зависимости от его целей и задач, зон лесопатологической угрозы используются космические снимки, различные по своим техническим характеристикам (SPOT-4, SPOT-5, LANDSAT TM, LANDSAT +ETM, RapidEye, GeoEye).

Предельная площадь детектируемых повреждений зависит от пространственного разрешения используемых при лесопатологическом мониторинге космических снимков: при разрешении 20-30 м – от 2 га, 3-6 м – от 0,3 га, до 2,5 м – от 0,05 га (виден отдельно стоящий сухостой).

На основе многолетних научных исследований и опыта работ по дистанционному лесопатологическому мониторингу разработан прототип программы автоматизированного дешифрирования космических снимков – «ВЕГА-Лесопатолог». В 2012 году началось внедрение системы «ВЕГА-Лесопатолог» для автоматизированного дистанционного мониторинга состояния лесов Московской области.

В 2012 году материалы космических съемок использовались для проведения лесопатологического мониторинга в районах вспышек массового размножения короеда-типографа на территории Московской области, ветровалов Северо-Западного региона России, усыхающих пихтарников, очагов сибирского коконопряда, погибших от пожаров насаждений на территории Сибирского федерального округа и других объектов.

Государственная инвентаризация лесов (ГИЛ) – это новый для России вид лесоучетных работ. ГИЛ призвана решать задачи федерального уровня. В соответствии с Лесным кодексом Российской Федерации ГИЛ осуществляет непосредственно Рослесхоз.

В рамках государственной инвентаризации лесов данные ДЗЗ используются при:

- стратификации лесов для определения количественных и качественных характеристик лесов на сети постоянных пробных площадей;
- дистанционном мониторинге использования лесов.

С началом проведения работ по ГИЛ с 2007 года доля применяемых космических снимков с пространственным разрешением 10 м постоянно уменьшалась (с 76% в 2007 году до 50% в 2009 году), а с 2010 года они вообще не использовались.

Более того, применение в 2010-2012 годах при ГИЛ новых технологических решений использования безоблачных космических снимков преимущественно с разрешением до 2,5 м позволило добиться обеспечения дешифрирования по ним лесосек с выявленной незаконной рубкой минимальной площадью от 0,25 га, точно выделять границы лесных участков, изменившихся по причине стихийных факторов и хозяйственной деятельности, при создании актуализированных карт-схем лесных страт по участковым лесничествам. В 2007 году космические снимки подобного пространственного разрешения составляли только 3% от общей площади съемки.

Материалы космической съемки широко используются при внесении текущих изменений в материалы последнего лесоустройства и при дистанционном мониторинге использования лесов.

Одним из методов внесения текущих изменений является визуальное сопоставление данных космической съемки с материалами лесоустройства (лесостроительными планшетами), на которых отражены изменения, произошедшие в лесах. В этом случае, сопоставляя лесостроительные планшеты, мозаику из космоснимков и цифровую основу, вносят изменения и дополняют данными, не отраженными в материалах лесоустройства (уточняют контура вырубок, площади выделов, расположение линейных объектов и т.п.). Дешифрирование снимков и внесение изменений в цифровую основу выполняется непосредственно на экране компьютера при помощи ГИС - технологий.

Для автоматического обнаружения изменений на землях лесного фонда, произошедших с момента последнего лесоустройства, создаются синтезированные изображения - мультивременные композиты путем программного совмещения разновременных космических снимков одной и той же территории. Для обработки снимков используются программные продукты ENVI и ScanEx Image Processor.

Для участков, покрытых облачностью и не снятых съемкой оптического диапазона, использовалась радарная съемка со спутника COSMO-SkyMed. Для обработки радарных снимков используются ScanEx Image Processor с дополнительным модулем обработки радиолокационных изображений и ENVI с дополнительным модулем SARscape.

При проведении дистанционного мониторинга использования лесов выявляются различные виды нарушений лесного законодательства, но прежде всего незаконная рубка и незаконное использование земель лесного фонда. Материалы дистанционного мониторинга использования лесов активно используют в своей практической деятельности не только органы управления лесным хозяйством в субъектах Российской Федерации, но и МВД России, ФТС России, ФНС России, Генеральная прокуратура Российской Федерации и другие федеральные органы государственной власти.

Основными направлениями дальнейшего развития дистанционного мониторинга использования лесов являются:

- получение вместо панхроматических космоснимков - мультиспектральных снимков, что позволит улучшить качество и точность дешифрирования, а так же решать другие прикладные задачи отрасли;

- широкое использование материалов радарной съемки, позволяющей получать снимки в условиях облачности;

- перевод работ с мониторинга рубок прошлого года на оперативный мониторинг мест рубок текущего года, с постоянным обменом информацией между субъектом Российской Федерации и исполнителем работ, и непрерывном получении космических снимков на территорию объектов мониторинга;

дешифрирование по космическим снимкам мест не только сплошных, но и выборочных рубок;

изучение возможностей и разработка технологий автоматизированного дешифрирования данных ДЗЗ;

организация учебно-тренировочных полигонов в различных регионах страны для целей развития приемов и методов лесного дешифрирования.

Перспективы дальнейшего эффективного использования данных ДЗЗ в лесном хозяйстве подкрепляются тесным взаимовыгодным сотрудничеством в области космической деятельности между Роскосмосом и Рослесхозом:

подписано соглашение между Рослесхозом и Роскосмосом о взаимодействии в области космической деятельности;

создана Межведомственная рабочая группа Федерального космического агентства и Федерального агентства лесного хозяйства по вопросам взаимодействия в области космической деятельности;

проведено обучение специалистов ФГУП «Рослесинфорг» технологиям обработки материалов космической съемки с отечественных космических аппаратов в НЦ «ОМЗ»;

в 2011 году проведено опытное тестирование трекеров GLOSPACE SGK-T системы ГЛОНАСС (разработчик ОАО «НИИ КП») на автомашинах инспекторского состава 19 лесничеств Московской области;

также в лесничествах Московской области проведено испытание навигационного прибора ГЛОНАСС высокой точности «ГеоНАП-01» (разработчик ОАО «НИИ КП») при отводах лесных участков.

Большие возможности для лесной отрасли появляются с возможным использованием космической информации с отечественных космических спутников «Канопус-В» и «Ресурс-П»; при этом необходимо провести исследования по геометрической точности космических снимков, оценить точность выполнения измерений по этим снимкам и точность определения координат, оценить дешифровочные свойства снимков.

MODERN USE OF REMOTE SENSING DATA IN THE PURPOSE OF FOREST MANAGEMENT

V.N. KOSITZYN

Federal forest agency

The questions of the use of remote sensing data for forest management in Russia, including forest fires monitoring system, forest pathology monitoring, national forest inventory, forest planning are considered.

ОЦЕНКА ГЛОБАЛЬНОЙ ЦИРКУМПОЛЯРНОЙ КОСМИЧЕСКОЙ КАРТЫ ЭКОТОНА ТАЙГА-ТУНДРА

В.И. КРАВЦОВА, О.В. ТУТУБАЛИНА

Географический факультет Московского государственного университета им. М.В.Ломоносова

Охарактеризована предыстория глобального картографирования экотона тайга-тундра: создание карт GLC, VCF, VCF-%TCC. Сравнение циркумполярной карты экотона тайга-тундра с данными российских исследований на Кольском полуострове и картами растительности России показало, что созданная в США карта не может быть использована для мониторинга изменений экотона тайга-тундра.

Потепление климата в последнее столетие, обеспокоившее человечество, привлекает внимание к лесам арктических широт, их северным границам, к экотону тайга-тундра, поскольку древесная растительность может реагировать на потепление продвижением на север, или, в горах, – вверх по склонам. Прогнозируемые изменения уже отмечены фактически. В 1980-х и 1990-х годах наблюдался рост фотосинтетической активности. Продвижение лесов вверх по склонам выявлено С.Г.Шиятовым на Полярном и Южном Урале, А.И.Михеевой в Хибинах, сгущение лиственных редколесий В.И.Харуком и А.Ю.Тюкавиной на Таймыре, сгущение кустарничковой растительности В.И.Кравцовой и А.Р. Лошкаревой на Кольском полуострове.

Экотон тайга-тундра, выделяемый в российских исследованиях как лесотундровая зона, протягивается на 13400 км вокруг Евразии и Северной Америки. При глобальной значимости пограничной зоны между тайгой и тундрой существуют трудности в понимании этой зоны разными исследователями. Нет твердой позиции по отношению к ней и на российских ландшафтных картах и картах растительности – на первых она включается в субарктическую, на вторых в таежную зону в виде предтундровых редколесий у северных границ распространения лесной растительности. К тому же жизненная форма растений, породный состав, высота, возраст, сомкнутость древостоя, его распределение в разных районах различаются, что обуславливает региональные особенности переходной зоны. К неопределенности понимания и выделения переходной зоны добавляется ее плохая выраженность на космических снимках, что обуславливает сложности ее дистанционного мониторинга. Они определяются, с одной стороны, необходимостью использования космических данных широкого глобального охвата при повторении наблюдений за период потепления, что обеспечивается лишь снимками низкого разрешения, а, с другой стороны, сложной структурой растительности, отображаемой лишь на снимках очень высокого разрешения.

Предыстория глобального картографирования экотона тайга-тундра. Истоки создания циркумполярной карты, оценке которой посвящена настоящая работа, восходят к космическому мониторингу растительного покрова Земли в целом. Спутниковый мониторинг состояния растительного покрова Земли был начат при работе спутников NOAA, на которых система AVHRR обеспечивала ежедневную глобальную съемку с

разрешением 1 км и расчет вегетационного индекса NDVI. Регулярное оперативное создание индексных изображений NDVI, как региональных, так и глобальных, началось с 1982 г. и в начале 1990-х гг. удалось на основе этих данных оценить состояние растительности Земли в виде первой глобальной карты земных покровов GLC (Global Land Cover). На этой карте использовалась разработанная в рамках международной программы MGBP классификация, включающая 17 типов земных покровов, главным образом, растительных. Через десятилетие эта работа была повторена по данным спутника SPOT, оснащенного съемочной системой Vegetation, обеспечившей составление карты GLC на начало 2000-х годов. Обе эти съемочные системы имели километровое разрешение и ограниченное число спектральных каналов (AVHRR – 5, Vegetation – 4).

Выполнение с 2000 г. программы съемки гиперспектральной системой MODIS со спутника Terra, а затем Aqua при повышении разрешения основных каналов до 250 и 500 м, ежедневное измерение яркости всей земной поверхности в 36 спектральных каналах побудило использовать эти материалы для выявления изменений природной среды, в том числе растительного покрова на регулярной основе и в количественном выражении. В связи с этим в университете Мериленд по контракту с НАСА был разработан новый тип производных изображений – так называемых непрерывных полей растительности VCF (Vegetation Continuous Fields), отражающих процентное соотношение площадей трех компонентов: древесной, травянистой растительности и непокрытой растительностью территории (Hansen et al., 2002). Считается, что переход к континуальному картографированию полей характеристик дискретных объектов облегчает их количественный анализ и поэтому целесообразен для определения изменений во времени.

Учитывая первостепенную важность мониторинга древесной растительности, по данным съемки MODIS с разрешением 500 м стали готовить новый вид производных изображений (VCF– %TCC (Vegetation Continuous Fields–% Tree Canopy Cover)), которые дают оценку лесопокрытия от 0 до 100%. Очевидно, что для районов распространения сплошных лесов этот показатель должен соответствовать сомкнутости насаждений, а в районах фрагментированных лесов с «островами» безлесных территорий внутри них или же участков лесов среди безлесных пространств – лесистости территории.

Разработанный в университете Мериленд для такого картографирования алгоритм, в отличие от предыдущего, основанного на линейной модели смешения трех компонентов (древесной, травянистой растительности и открытых почв), использует дерево регрессии. Обучающими данными служит полученная по снимкам более высокого разрешения лесистость в %. Кроме обучающих выборок с полями лесистости в дереве регрессии учитывается фенология растительности, определяемая по многовременным (за полный год) температурным метрикам на основе данных теплового диапазона. Новый подход был применен вначале для территории США и Северной Америки, а затем выполнена оценка лесного покрова всей Земли в % лесопокрытия (Hansen et al., 2003).

Предназначенная для количественных оценок изменений карта VCF-лесопокрытия была проверена на пригодность для таких оценок в наиболее климатозависимых субарктических широтах – для переходной зоны от тайги к тундре. В Годдартовском центре НАСА осуществлен контроль карты VCF-%TCC, составленной по снимкам MODIS 2005 г. с разрешением 500 м, представленной в виде циркумполярной карты, включающей территорию от 50° до 75° с.ш., с бореальными лесами, тундрой и переходной зоной между ними. Выполнялось сопоставление этой карты с 396 снимками QuickBird, имеющимися в общедоступной системе Google Earth. Покрытие крон TCC, отдешифрованное по снимкам QuickBird, сопоставлено с лесопокрытием в соответствующих пикселах карты VCF. С целью учета региональных особенностей территория была разбита на 7 секторов. Это исследование [Montesano et al, 2009] показало, что точность карты VCF-%TCC для районов с лесистостью менее 20%, характерной для переходной зоны тундра-тайга, недостаточна для мониторинга лесного покрова. Однако в процессе этого исследования попутно получен исключительно

важный материал: выявлены региональные (для 7 выделенных секторов) соотношения значений VCF% лесопокрытия по MODIS-500 и сомкнутости крон ТСС по QuickBird.

Циркумполярная карта экотона тайга-тундра ТТЕ. Чтобы получить реалистичную пространственную картину экотона тайга-тундра у северной границы бореальных лесов, которая обеспечила бы исследование последствий климатических изменений на севере, в Отделении биосферных наук Годдартовского космического центра НАСА была составлена новая карта [Ranson et al, 2011] – циркумполярная карта экотона тайга-тундра ТТЕ (Taiga-Tundra Ecotone) для зоны 50°-70° с.ш. на основе среднегодовых значений VCF MODIS-500 за 2000-2005 гг. Для отражения региональной специфики учтена линейная зависимость % лесного покрытия по MODIS VCF-500 от сомкнутости крон ТСС по QuickBird, выявленная для 7 секторов при проверке карты VCF-%ТСС.

По такой карте регионально дифференцированных значений % ТСС выбраны для показа на карте ТТЕ участки, характеризующиеся: а) средними значениями ТСС 5-20%, которые по мнению авторов соответствуют редколесьям лесотундровой зоны и б) средними значениями ТСС <5% при стандартном отклонении >5%, рассматриваемые как зона продвижения деревьев в тундру. Эти два типа лесопокрытия и составляют содержание карты.

Сопоставление циркумполярной карты экотона тайга-тундра с данными российских исследований. Участвуя в международном проекте PPS Arctic, группа исследователей Московского университета выполняла экспедиционные работы в районах Европейской России (на Кольском полуострове) и в Центральной Сибири (на Таймыре и плато Путорана) для обеспечения дистанционных исследований динамики северной границы леса в связи с климатическими колебаниями. Материалы детальных полевых работ и дешифрирования снимков сверхвысокого разрешения Ikonos, QuickBird, GeoEye, WorldView, а также имеющиеся тематические карты на всю территорию России дали возможность выполнить проверку циркумполярной карты экотона ТТЕ на разных масштабных уровнях картографирования.

Локальная оценка фрагмента карты ТТЕ по результатам дешифрирования снимка QuickBird на участок западнее оз. Конентъявр. Результаты детального дешифрирования снимка QuickBird на эталонный участок в северной части Кольского полуострова, в 45 км юго-восточнее Мурманска, с учетом данных полевых исследований, для сопоставления с картой ТТЕ были обобщены и составлена схема распространения трех типов растительности: редколесной, лесотундровой и тундровой. Полигоны карты ТТЕ с лесопокрытием 5-20%, в целом соответствуют участкам разреженных березовых криволесий, узкая переходная полоса лесотундры на ней не отражена. Разделение территории на зону редколесий и тундровую зону передано на карте ТТЕ верно. Расхождения наблюдаются, когда березовые редколесья имеют кустарничковый нижний ярус, в этих случаях они отнесены к тундре. Здесь подтвердилось отмеченное нами ранее сильное влияние напочвенного яруса растительности на спектральный образ редкостойных северных лесов и на их дешифрируемость (Кравцова, Лошкарева, 2010).

Оценка фрагмента карты ТТЕ по результатам картографирования растительности по снимку Landsat и полевым данным на участке в районе оз. Конентъявр. Для участка Кольского полуострова в районе оз. Конентъявр составлена детальная геоботаническая карта масштаба 1:50 000 с выделением 12 категорий растительности, которая для сопоставления с картой ТТЕ была обобщена до схемы масштаба 1:200 000 с выделением 3 типов растительности (редколесья, тундры, болота). Фрагментированные участки редколесий в западной части территории, чередующиеся с участками лишайниковых тундр, соответствуют полигонам с лесопокрытием до 5%, а заболоченные территории без леса показаны на карте ТТЕ как имеющие лесистость 5-20%. Оказалось, что сочетание лесов с участками лишайниковых тундр, отличающихся высокой яркостью, привело к снижению % лесопокрытия на карте ТТЕ, а участие болот, напротив, привело к его завышению. Наличие на территории водных объектов обусловило снижение лесистости.

Региональная оценка фрагмента карты ТТЕ по карте растительности Мурманской области. Более широкое региональное сопоставление выполнено для лесотундровой зоны в пределах всего Кольского полуострова с использованием карты растительности масштаба 1:2 000 000 под ред. Г.Н.Огуреевой из Экологического атласа Мурманской области. Из выделяемых на этой карте 22 категорий растительности были вычленены контуры только лесотундровых березовых криволесий и редколесий. Совмещение этих контуров с полигонами карты ТТЕ показало большие различия в степени их совпадения на различных участках территории полуострова. По полуострову в целом покрытие 5-20% примерно соответствует распространению лесотундры и болот, а покрытие до 5% относится к тундровой зоне, где древесная растительность не участвует.

Общее сравнение распределения экотона тундра-тайга на карте ТТЕ и положения лесотундровой зоны на картах растительности территории России. В обозримом формате, наиболее удобном для сопоставления с глобальной картой экотона ТТЕ, лесотундровая зона представлена на карте растительности масштаба 1:15 000 000 в Национальном атласе России (Том 2. Природа. Экология). Для сравнения с циркумполярной картой экотона ТТЕ выделен общий контур предтундровых редколесий на карте растительности России. В пределах европейской территории России границы лесотундровой зоны в основном, совпадают с зоной преобладания полигонов класса 1, а класс 2 выходит в тундровую зону. В Западной Сибири, где лесотундровая зона представлена лишь фрагментированными островами, сочетание классов 1 и 2 на карте ТТЕ занимает широкую полосу до 300-400 км, распространяясь на сочетание лесов с обширными бугристыми болотами на северных склонах Сибирских увалов. В районах Северо-Восточной Сибири, на Колымской низменности, характеризующейся большой заозеренностью территории, расширение лесотундровой зоны отмечено лишь полигонами класса 2. В то же время к экотону тайга-тундра в Центральной и Восточной Сибири на карте ТТЕ отнесены обширные площади редкостойных лиственничных лесов на Среднесибирском плоскогорье.

В целом карта ТТЕ отражает распространение лесотундровой зоны лишь в европейской, но не в азиатской части России. Вместе с тем, она передает особенности бореальных лесов Сибири и в этом отношении представляет интерес, однако не может быть использована для мониторинга изменений экотона тайга-тундра.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кравцова В.И., Лошкарева А.Р. Исследование северной границы леса по космическим снимкам разного разрешения // Вестник Моск. ун-та. Серия 5. География. 2010, №6, с. 49-57
2. Hansen M.C., DeFries R., Townshend J., Carroll M., Dimiceli C., Sohlberg R. Global percent tree cover at spatial resolution of 500 meters: First results of the MODIS vegetation continuous fields algorithm // Earth Interactions. 2003, 7, pp.1-15
3. Hansen V.C., DeFries R., Townshend J., Sohlberg R., Dimiceli C., Carroll M. // Towards an operational MODIS continuous field of percent tree cover algorithm: Examples using AVHRR and MODIS data // Remote Sensing of Environment. 2002, 83, pp.303-319
4. Montesano P.M., Nelson R., Sun G., Margolis H., Kerber A., Ranson K.J. MODIS tree cover validation for the circumpolar taiga-tundra transition zone // Remote Sensing of Environment. 2009, 113, pp.2130-2141
5. Ranson K.J., Montesano P.M., Nelson R. Object-based mapping of the circumpolar taiga-tundra ecotone with MODIS tree cover // Remote Sensing of Environment. 2011.

GLOBAL CIRCUMPOLAR SATELLITE TAIGA-TUNDRA ECOTONE MAP, CREATED IN USA: ESTIMATION BY RUSSIAN DATA

V.I. KRAVTSOVA, O.V. TUTUBALINA

Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University

Pre-history of global ecotone taiga-tundra mapping has been characterized: creation of global NDVI products by low resolution satellite data; compiling of Global Land Cover (GLC) map; maps of Vegetation Continuous Fields (VCF);

creation at this base of circumpolar Taiga-Tundra Ecotone (TTE) map in NASA Goddard Space Center. The comparison of this map with Russian materials has been made at various scale levels: continental, regional and local. The conclusion was made that the TTE map reflects taiga-tundra ecotone distribution only for European part of Russia, but not for Asia part of it and cannot be used for monitoring of taiga-tundra ecotone changes. At the same time the TTE map reflects some specific features of Siberian boreal forests.

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ДИСТАНЦИОННОГО МОНИТОРИНГА ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ И ИХ ПОСЛЕДСТВИЙ: РЕЗУЛЬТАТЫ ПОСЛЕДНЕГО ДЕСЯТИЛЕТИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Е.А. ЛУПЯН¹, Д.В. ЕРШОВ², С.А. БАРТАЛЕВ¹, А.С. ИСАЕВ²

¹Институт космических исследований РАН

²Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН

Доклад посвящен описанию основных задач и возможностей информационной системы дистанционного мониторинга лесных пожаров (ИСДМ-Рослесхоз). В докладе обсуждаются особенности построения системы, история ее создания, архитектура и основные технические решения, ориентированные на максимально автоматизированную обработку данных, которые легли в основу системы. Показано, что созданная система позволяет получать объективную, однородную информацию о природных пожарах, возникающих на территории нашей страны, и их последствиях. В докладе также обсуждаются опыт использования системы в оперативной практике и перспективы ее развития.

Мониторинг природных, и в первую очередь лесных, пожаров в России является достаточно трудно решаемой задачей. Основные сложности в ее решении связаны с большими масштабами контролируемых территорий, низкой плотностью населения на значительной части территории и достаточно большим числом пожаров. Так, в годы с низким уровнем горимости в России на природные пожары приходится площадь около 2 млн. га, а в "горючие" годы площадь, пройденная природными пожарами, может превышать 20-25 млн. га. Естественно, что получить полную оперативную, а главное однородную и объективную информацию о природных пожарах и их последствиях в таких условиях сегодня можно только с помощью дистанционных методов.

Следует отметить, что в России с конца восьмидесятых годов прошлого столетия велись работы по разработке методов и систем дистанционного мониторинга лесных пожаров. В девяностые годы были созданы несколько региональных систем дистанционного мониторинга пожаров. Однако только в начале этого столетия была создана информационная система дистанционного мониторинга лесных пожаров Федерального агентства лесного хозяйства (ИСДМ-Рослесхоз), которая позволила получать однородную сопоставимую информацию о природных пожарах и их последствиях по всей территории страны.

ИСДМ-Рослесхоз была создана и введена в опытную эксплуатацию в 2003 году. Начиная с 2005 года, система работает в промышленной эксплуатации. В основу системы легли разработки, выполненные в различных организациях, в том числе ФГУ «Авиалесоохрана» (АЛО), Институте космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), Центре по проблемам экологии и продуктивности лесов Российской академии наук (ЦЭПЛ РАН), Институте солнечно-земной физики Сибирского отделения Российской академии наук (ИСЗФ СО РАН), Санкт-Петербургском научно-исследовательском институте лесного хозяйства (СПбНИИЛХ).

Неоценимый вклад в создание, внедрение и развитие системы внес член-корреспондент РАН, д.с-х.н. Георгий Николаевич Коровин, многие элементы системы построены на основе его работ в области изучения лесных пожаров, оценки и прогнозирования их возникновения и распространения, а также методов обнаружения и борьбы с лесными пожарами (Коровин, Андреев, 1988).

На протяжении более чем десятилетнего периода эксплуатации система постоянно развивалась. Совершенствовались методы сбора, автоматизированной обработки данных, организации оперативного доступа к данным. При этом большое внимание уделялось вопросам, связанным с подтверждением достоверности информации, получаемой на основе дистанционных методов. Описанию возможностей системы и используемых в ней методов посвящено значительное количество работ. В частности (Абушенко, Барталев и др. 1998, Ершов, Корovin и др., 2004, Барталев, Беляев и др. 2005, Ершов, Ковганко и др. 2010, Подольская, Ершов и др. 2009, Лупян, Мазуров и др. 2011, Егоров, Барталев и др. 2006, Барталев, Ершов и др. 2010, Барталев, Ершов и др. 2008).

Для того чтобы обеспечить получение информации, не зависящей от субъективных оценок, особое внимание при разработке системы уделялось созданию и внедрению автоматизированных технологий обработки и анализа спутниковых данных. Сегодня в системе используются уникальные методы обработки данных, позволяющие получать объективную информацию о пожарах и их последствиях на всей территории России, например:

- многоэтапная оценка площадей, пройденных огнем, на различных типах территорий (Барталев, Егоров и др., 2012);
- методы оценки площадей, пройденных огнем (Егоров, Барталев и др. 2006);
- методы оценки повреждений растительного покрова;
- методы автоматизированного картирования лесных экосистем (Барталев, Егоров и др. 2011)

Использование таких методов позволяет не только обеспечить достаточно оперативное детектирование конкретного пожара, но и проследить историю его развития, оценить площади, пройденные огнем, и повреждения, вызванные пожаром в растительном покрове. Так, они позволили в полностью автоматизированном режиме получать различную статистическую информацию о пожарах по любому региону страны.

Использование в ИСДМ-Рослесхоз подобных методов и технологий позволило ей стать фактически одним из немногих объективных источников, предоставляющих информацию о лесных пожарах и их последствиях на всей территории России. При этом следует отметить, что основная информация в системе получается совершенно независимо от региональных служб и организаций, обеспечивающих мониторинг и тушение лесных пожаров. Все это позволяет использовать данные, предоставляемые ИСДМ-Рослесхоз, для объективного контроля поступающей из регионов информации, в том числе и для оценки эффективности проводимых работ по мониторингу и тушению пожаров.

Система также обеспечивает возможность оперативного предоставления информации о пожарах и их последствиях, полученной на основе данных дистанционных наблюдений организациям и специалистам, обеспечивающим мониторинг и тушение лесных пожаров. Отметим, что система одновременно со спутниковой информацией обеспечивает возможность работы с различной метеоинформацией и данными грозопеленгации. Это позволяет проводить комплексный оперативный анализ лесопожарной обстановки.

ИСДМ-Рослесхоз позволяет автоматически формировать различные отчетные формы и получать количественную информацию о пожарах, действующих в различных регионах и на различных типах территорий. При этом система располагает многолетними архивами данных (начиная с 2000 года), что позволяет обеспечивать сравнение наблюдаемых в текущем сезоне ситуаций в различных регионах, как со среднемноголетними данными, так и с ситуациями, наблюдавшимися в различные годы.

Формируемая в системе информация используется в настоящее время, в частности, для:

- оценки пожарной опасности;
- контроля возникновения и динамики лесных пожаров;
- информационного обеспечения принятия оперативных управленческих решений по обнаружению и тушению лесных пожаров
- контроля эффективности работ по организации мониторинга и тушению лесных пожаров;

- контроля последствий действия лесных пожаров, в том числе оценки площадей, пройденных огнем, и степени повреждений лесного покрова;
- подготовки информации для формирования статистики о лесных пожарах и площадях пройденных огнем;
- подготовки информации для контроля вносящихся изменений в систему инвентаризации лесов, связанных с последствиями действия лесных пожаров;

В настоящее время блоки ИСДМ-Рослесхоз обеспечивают полностью автоматизированную обработку данных в 5 Российских центрах приема. В нее также оперативно поступает различная информация из Российских и международных центров. Пользователи системы имеют возможность оперативно получать и анализировать информацию, в том числе и с использованием специализированных картографических WEB-интерфейсов, расположенных в территориально распределенных информационных узлах. Следует отметить, что в системе используются сегодня данные различных спутниковых систем низкого, среднего и высокого разрешения. Система обеспечивает, в частности, возможность работы с данными спутников NOAA, Terra, Aqua, Метеор М №1, Landsat, Spot и др. Это позволяет получать оперативную информацию о любой территории страны не реже 10 раз в сутки.

В заключение отметим, что система продолжает постоянно развиваться. Активно ведутся работы по включению в систему информации уже запущенных и перспективных спутниковых систем. Ведется разработка и внедрение в систему новых методов районирования лесов по степени риска возникновения и распространения лесных пожаров, по оценке пожарных режимов, воздействию пожаров на структуру лесного покрова, ежегодной оценке площадей невозобновившихся лесной растительностью старых гарей, по картографированию сценариев послепожарных сукцессий лесов для различных лесорастительных условий России. В интересах системы создана и проходит опытную эксплуатацию система моделирования развития отдельных пожаров, полностью адаптированная к работе с оперативной информацией, получаемой в ИСДМ-Рослесхоз и не требующей для построения прогнозов никаких дополнительных детальных данных о состоянии лесного покрова. (Хвостиков, Балашов и др., 2012)

ЛИТЕРАТУРА

1. Абушенко П.А., Барталев С.А., Беляев А.И., Ершов Д.В., Захаров М.Ю., Луян Е.А., Коровин Т.Н., Кошелев В.В., Крашенинникова Ю.С., Мазуров А.А., Минько Н.П., Назиров Р.Р., Семенов С.М., Тащилин С.А., Флитман Е.В., Щетинский В.Е. Опыт и перспективы организации оперативного спутникового мониторинга территории России в целях службы пожароохраны лесов // Исследование Земли из космоса. 1998. № 3. С. 89.
2. Барталев С.А., Беляев А.И., Егоров В.А., Ершов Д.В., Коровин Г.Н., Кориунов Н.А., Котельников Р.В., Луян Е.А. Валидация результатов выявления и оценки площадей поврежденных пожарами лесов по данным спутникового мониторинга // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2005, Т.2, №2. С. 343-353.
3. Барталев С.А., Егоров В.А., Ершов Д.В., Исаев А.С., Луян Е.А., Плотников Д.Е., Уваров И.А. Спутниковое картографирование растительного покрова России по данным спектрорадиометра MODIS // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2011. Т.8. № 4. С.285-302.
4. Барталев С.А., Егоров В.А., Ефремов В.Ю., Луян Е.А., Стыценок Ф.В., Флитман Е.В. Оценка площади пожаров на основе комплексирования спутниковых данных различного пространственного разрешения MODIS и Landsat-TM/ETM+ // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2012. Т. 9. № 2. С.9-27.
5. Барталев С.А., Ершов Д.В., Коровин Г.Н., Котельников Р.В., Луян Е.А., Щетинский В.Е. Информационная система дистанционного мониторинга лесных пожаров Федерального агентства лесного хозяйства РФ (Состояние и перспективы) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2008. Т. 5. № 2. С. 419-429.
6. Барталев С.А., Ершов Д.В., Коровин Г.Н., Котельников Р.В., Луян Е.А., Щетинский В.Е. Основные возможности и структура информационной системы дистанционного мониторинга лесных пожаров Федерального агентства лесного хозяйства (ИСДМ Рослесхоз) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2010. Т.7. № 2. С.97-105.
7. Егоров В.А., Барталев С.А., Луян Е.А., Уваров И.А. Мониторинг повреждений растительного покрова пожарами по данным спутниковых наблюдений // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. 2006. № 2. С. 98-109.

8. Ершов Д.В., Коровин Г.Н., Лупян Е.А., Мазуров А.А., Тацилин С.А. Российская система спутникового мониторинга лесных пожаров // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2004. № 1. С. 47-57.
9. Ершов Д.В., Ковганко К.А., Шуляк П.П. Современные возможности геоинформационной системы мониторинга лесных пожаров ГИС-ИСДМ Рослесхоз // Пожаровзрывобезопасность. Научно-технический журнал ООО «Издательство «Пожнаука». – М.: 2010. Том 19, № 3 – С. 38-46.
10. Коровин Г.Н., Андреев Н.А. Авиационная охрана лесов. – М.: Агропромиздат, 1988. с. 223.
11. Лупян Е.А., Мазуров А.А., Назиров Р.Р., Прошин А.А., Флитман Е.В., Крашенинникова Ю.С. Технологии построения информационных систем дистанционного мониторинга // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т. 8. № 1. С. 26-43.
12. Подольская А.С., Ершов Д.В., Малинников В.А. Исследования оценки риска возникновения лесных пожаров от молний // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – М., 2009. №2 – С. 3-11.
13. Хвостиков С.А., Балашов И.В., Барталев С.А., Ефремов В.Ю., Лупян Е.А. Региональная оптимизация параметров прогнозной модели природных пожаров и оперативное моделирование динамики их развития с использованием данных спутниковых наблюдений // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2012. Т. 9. № 3. С.91-100.

INFORMATION SYSTEM FOR REMOTE MONITORING OF FOREST FIRES AND THEIR CONSEQUENCES: THE RESULTS OF THE LAST DECADE AND FURTHER PROSPECTS

E.A.LOUPIAN¹, D.V.ERSHOV², S.A.BARTALEV¹, A.S.ISAEV²

¹Space Research Institute RAS

²Center for forest ecology and productivity RAS

The report describes the major challenges and opportunities of the information system for remote monitoring of forest fires (ISDM-Rosleskhov). The report discusses the features of the system structure, the development history, the architecture and the main technical solutions focused on the automated processing of data that formed the basis of the system. It is shown that the system allows to obtain objective uniform information on natural fires occurring in Russia and their consequences. The report also discusses the experience of using the system in operational practice and prospects of its development.

СПУТНИКОВЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ В РОССИИ В 21 ВЕКЕ

**Е.А. ЛУПЯН¹, С.А. БАРТАЛЕВ¹, Е.В. ФЛИТМАН¹, ЕГОРОВ В.А.¹, ЕФРЕМОВ В.Ю.¹,
СТЫЦЕНКО Ф.В.¹, Д.В. ЕРШОВ², В.Н. АНТОНОВ³, Л.С. КРАМАРЕВА³**

¹Институт космических исследований РАН

²Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН

³Научно-исследовательский центр космической гидрометеорологии («НИЦ «Планета»)

Доклад посвящен обсуждению вопросов оценки масштабов лесных пожаров, действовавших на территории России в период с 2000 по 2012 годы. В докладе описывается технология подсчета площадей, пройденных природными пожарами, на основе анализа данных об активном горении, полученных с помощью прибора MODIS, установленного на спутниках Terra и Aqua. В докладе также представлена различная статистическая информация, в том числе и оценка площадей, пройденных природными пожарами, на территории России.

Быстрое развитие в последние десятилетия спутниковых технологий дистанционного зондирования Земли, в первую очередь хорошо калиброванных и устойчиво работающих приборов наблюдения, позволило начать создание методов обработки данных, позволяющих проводить постоянные наблюдения различных явлений на больших территориях. Так, например, запуски спутников TERRA и AQUA с прибором MODIS позволили создать достаточно устойчивый автоматизированный алгоритм детектирования тепловых аномалий MOD14 (Justice, Giglio et al., 2002), большинство из которых связано с активно действующими природными пожарами. Данный алгоритм, дополненный процедурами фильтрации "устойчивых огней" и максимально автоматизированной интерактивной коррекции данных (добавление пропущенных тепловых аномалий) (Лупян, Мазуров и др., 2003), лег в основу

ряда крупных российских систем дистанционного мониторинга природных пожаров. В настоящее время он используется в информационной системе дистанционного мониторинга лесных пожаров Федерального агентства лесного хозяйства (ИСДМ-Рослесхоз) (Барталев, Ершов и др., 2008; Барталев, Ершов и др. 2010), системе спутникового мониторинга Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. (Асмус, Кровотынцев и др., 2008) и спутниковом сервисе Вега (Лупян, Савин и др., 2011), созданном в Российской академии наук для осуществления постоянного мониторинга состояния растительного покрова Северной Евразии.

Все эти системы позволяют оперативно получать информацию о температурных аномалиях ("горячих точках") по всей территории России. Для получения на основе этой информации оценок площадей, пройденных природными пожарами, была разработана специальная технология, которая обеспечивает объединение "горячих точек" в пожары, прослеживание их временной динамики, анализ типов площадей, на которых развивались пожары (выделение лесной и нелесной площади), оценку как площадей, пройденных отдельными пожарами, так и интегральных площадей, пройденных огнем, в различных регионах и в целом по России (Барталев, Егоров и др. 2012; Bartalev, Egorov et al., 2012).

Следует отметить, что многочисленные проверки показали достаточно высокую точность оценок площадей, пройденных огнем, полученных на основе данной технологии. Так, например, сравнения результатов оценок, полученных на основе оперативной информации об активном горении, и оценок, полученных на основе оконтуривания гарей (площадей пройденных огнем) с использованием спутниковых данных высокого пространственного разрешения (в основном данных спутников LANDSAT), показали, что предложенная технология позволяет оценить интегральную площадь, пройденную лесными пожарами, на всей территории России с точностью не хуже 3-4 процентов. Для территорий отдельных крупных регионов достигается точность не хуже 8-10%.

Таким образом, фактически сегодня имеется инструмент, позволяющий с высокой степенью точности и достоверности проводить на всей территории России оценки площадей, пройденных природными пожарами. Кроме того, более чем десятилетняя работа различных систем дистанционного мониторинга позволила накопить по территории России уникальный архив данных, позволяющий проводить анализ процессов возникновения и развития природных пожаров на территории России в 21 веке. Накопленный 13-летний архив данных позволяет также оценивать некоторые тенденции в процессах развития природных пожаров на территории России.

В настоящем докладе представлена интегральная информация о площадях, пройденных лесными пожарами, на территории России в пожароопасные сезоны с 2000 по 2012 годы. В докладе рассматриваются только лесные пожары, т.е пожары, затронувшие территорию, покрытую лесом. Отметим, что информация о территории, покрытой лесом, также получается в упомянутых системах на основе обработки спутниковых данных. Данная информация обновляется ежегодно с использованием специальной технологии картирования растительного покрова России на основе данных спектрорадиометра MODIS, установленного на спутниках Terra и Aqua (Барталев, Егоров и др. 2011).

В докладе представлены интегральные оценки лесных и нелесных площадей, пройденных лесными пожарами, на территории России в различные годы. Всего с 2000 по 2012 годы в России по оценкам, полученным на основе спутниковых данных об активном горении, было пройдено около 100 млн. га, в том числе более 50 млн. га территорий, покрытых лесом. Распределение площадей, пройденных лесными пожарами, и числа наблюдавшихся по спутниковым данным пожаров по годам приведены на рисунках 1 и 2.

В докладе также анализируется многолетняя статистика, полученная по отдельным регионам России. Рассматриваются вопросы, связанные с особенностями динамики пожаров на охраняемых и не охраняемых территориях. Анализируется статистика распределения пожаров по различным срокам пожароопасного сезона. Распределение, полученное по данным 2000-2012 годов, площадей, пройденных лесными пожарами, на территории России

в различные декады представлено на рисунке 3. На рисунке хорошо видны известные тенденции сезонного развития пожаров (три волны пожаров - весенние, летние и осенние). В докладе также обсуждаются особенности данного распределения. Например, обсуждаются вопросы, связанные с весенними и осенними сельскохозяйственными и степными палами, являющимися причинами пожаров, на долю которых приходится около 50% территорий, покрытых лесом, пройденных огнем. В то же время воздействие на лес осенних палов незначительно - на их долю приходится менее 5% территорий, покрытых лесом, проходимых пожарами за сезон.

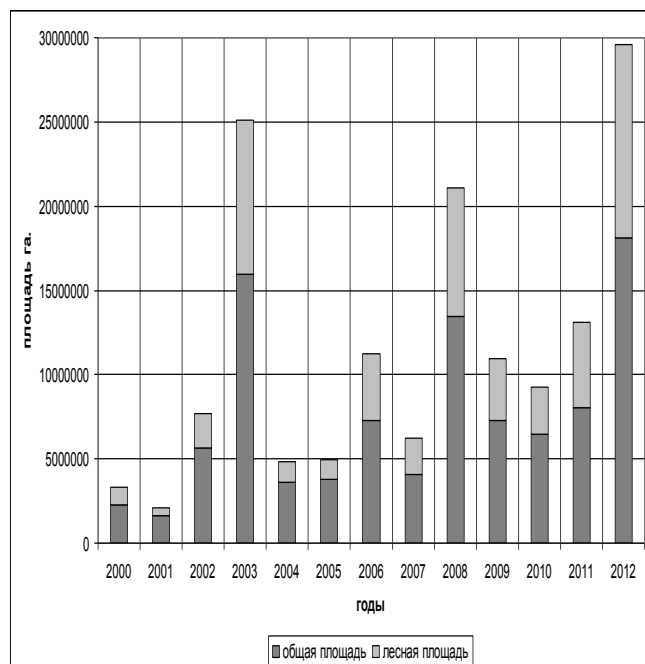


Рис 1. Распределение по годам площадей, пройденных лесными пожарами, на территории России

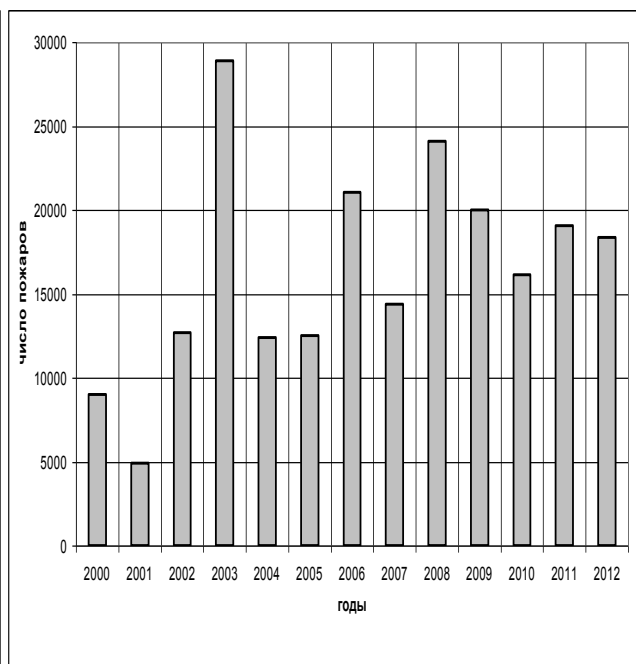


Рис 2. Распределение по годам числа лесных пожаров, наблюдавшихся на территории России, по спутниковым данным

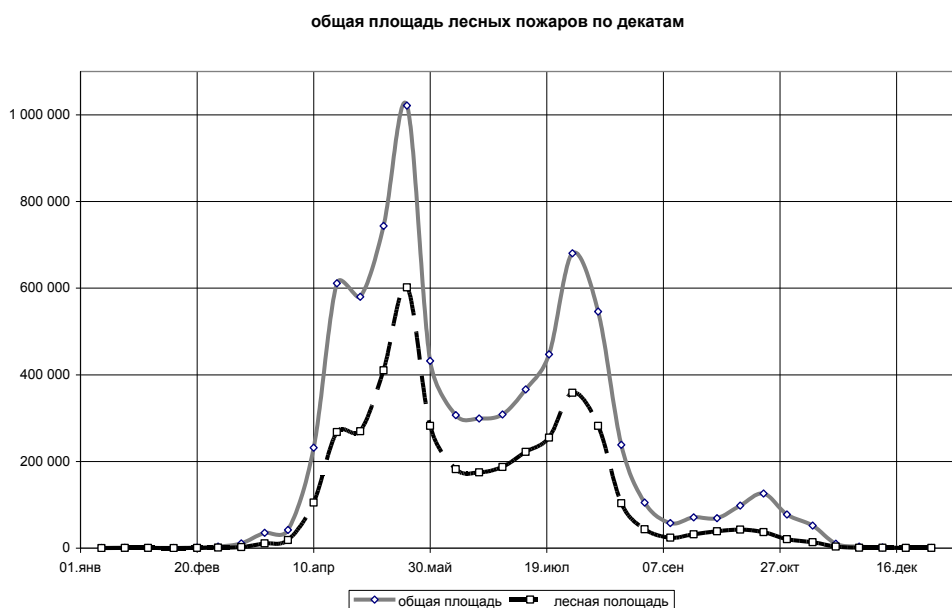


Рис.3. Общая площадь лесных пожаров по декадам

Основной целью доклада является демонстрация возможностей сформированного архива данных о пожарах, действовавших на территории России в 21 веке, и возможностей его использования для изучения различных процессов, связанных с динамикой природных пожаров и их воздействием на различные экосистемы.

ЛИТЕРАТУРА

14. Асмус В.В., Кровотынцев В.А., Милехин О.Е., Соловьев В.И., Успенский А.Б. Использование спутниковых данных ДЗЗ для решения задач гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. 2008. Т. 105. С. 6-16
15. Барталев С.А., Егоров В.А., Ершов Д.В., Исаев А.С., Лупян Е.А., Плотников Д.Е., Уваров И.А. Спутниковое картографирование растительного покрова России по данным спектрорадиометра MODIS // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2011. Т.8. № 4. С.285-302.
16. Барталев С.А., Егоров В.А., Ефремов В.Ю., Лупян Е.А., Стыценок Ф.В., Флитман Е.В. Оценка площади пожаров на основе комплексирования спутниковых данных различного пространственного разрешения MODIS и Landsat-TM/ETM+ // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2012. Т. 9. № 2. С.9-27.
17. Барталев С.А., Ершов Д.В., Коровин Г.Н., Котельников Р.В., Лупян Е.А., Щетинский В.Е. Информационная системы дистанционного мониторинга лесных пожаров Федерального агентства лесного хозяйства РФ (Состояние и перспективы) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2008. Т. 5. № 2. С. 419-429.
18. Барталев С.А., Ершов Д.В., Коровин Г.Н., Котельников Р.В., Лупян Е.А., Щетинский В.Е. Основные возможности и структура информационной системы дистанционного мониторинга лесных пожаров Федерального агентства лесного хозяйства (ИСДМ Рослесхоз) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2010. Т.7. № 2. С.97-105.
19. Лупян Е.А., Мазуров А.А., Флитман Е.В., Ершов Д.В., Коровин Г.Н., Новик В.П., Абушенко Н. А., Алтынцев Д. А., Кошелев В.В., Тацилин С. А., Татарников А. В., Сухинин А. И., Пономарев Е. И., Гришин А.М., Афонин С.В., Белов В.В., Гриднев Ю.В., Матвиенко Г.Г., Соловьев В.С., Антонов В.Н., Ткаченко В.А. Спутниковый мониторинг лесных пожаров в России. Итоги. Проблемы. Перспективы. Аналит. обзор // ИОА; ГПНТБ СО РАН. - Новосибирск, 2003. - с. - (Сер. Экология. Вып. 68).
20. Лупян Е.А., Савин И.Ю., Барталев С.А., Толпин В.А., Балашов И.В., Плотников Д.Е. Спутниковый сервис мониторинга состояния растительности («ВЕГА») // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т. 8. № 1. С. 190-198.
21. Bartalev S.A., Egorov V.A., Efremov V. Yu., Flitman E.V., Loupian E.A., Stytsenko F.V. Assessment of Burned Forest Areas over the Russian Federation from MODIS and Landsat-TM/ETM+ Imagery // In F. Achard & M.C. Hansen (Eds.) Global Forest Monitoring from Earth Observation, CRC Press, Taylor & Francis Group, 2012. CRC Press. P.245-272.
22. Justice C. O., Giglio L., Korontzi S., Owens J., Morisette J. T., Roy, D., Descloitres J., Alleaume S., Petitcolin F., and Kaufman Y (2002). The MODIS Fire Products. Remote Sensing of Environment, 83(1-2), 244-262.

SATELLITE OBSERVATIONS OF FOREST FIRES IN RUSSIA IN THE 21ST CENTURY

**E.A.LOUPIAN¹, S.A.BARTALEV¹, E.V.FLITMAN¹, V.A.EGOROV¹, V.YU.EFREMOV¹, F.V.STYTSENKO¹,
D.V.ERSHOV², V.N. ANTONOV³, L.S. KRAMAREVA³**

¹Space Research Institute RAS

²Center for forest ecology and productivity RAS

³Scientific Research Center of Space Hydrometeorology "Planeta" (SRC "Planeta")

The report is devoted to assessment of forest fires magnitude in the territory of Russia during the period from 2000 to 2012. The report describes a technique for calculation of areas affected by wildfires, based on analysis of active combustion data obtained by MODIS instrument onboard Terra and Aqua satellites. The report also provides various statistics, including estimates of yearly areas affected by wildfires in Russia.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕГИОНАЛЬНОГО МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНО-УСТОЙЧИВОГО ЛЕСОПОЛЬЗОВАНИЯ

С.В. МАКАР

Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации

Моделирование основано на реализации лесным потенциалом региона социально-экономической и социоприродной функций. Построена и апробирована модель расчета оптимальной стоимости запасов углерода для регионов различного типа; на этой основе предложено введение дифференцированной платы за использование запасов углерода лесными экосистемами при производстве лесопромышленной продукции.

Моделирование многофункционально–устойчивого лесопользования исходит из принципа поддержания баланса между экономическим и экологическим результатами общественного развития. Сбалансированность, как известно, является принципом устойчивого развития. Для гармонизации регионального развития целесообразно представить модель сопоставления результатов экономического и экологического «производства» как функций лесного потенциала. В качестве показателей, отражающих экономический и экологический эффекты, в модели предложены объемы производства лесопромышленной продукции и пулы углерода в лесных экосистемах. Эти показатели отражают результаты двух основных функций лесного потенциала - социально-экономической (через производство лесной продукции) и социоприродной (через депонирование углерода). Как очевидно, углерододепонирующую функцию лесного потенциала следует признать приоритетной в долгосрочной перспективе, поскольку она обеспечивает экосистемные блага и услуги, в т.ч. поглощение парниковых газов, накопление углерода в различных структурных составляющих лесных экосистем, производство первичной биологической продукции; сохранение биоразнообразия; регулирование климата, влияние на здоровье и продолжительность жизни людей.

Эффективность экосистемной функции лесов на современном уровне развития экологической и экономической науки может быть охарактеризована, по нашему мнению, как «фактор пять». Во-первых, за поглощение «чужих» выбросов углекислого газа страна (регион) получает компенсацию. При этом, во-вторых, происходит накопление углерода в биомассе древесных растений и его трансформация в другие формы, что в целом повышает углеродный потенциал территории на длительную перспективу. Этот углеродный потенциал можно рассматривать в качестве энергетической платформы будущего развития. В третьих, повышается биоценотический потенциал территории за счет сохранения биоразнообразия, что, в четвертых, открывает, возможности развития таких эколого-экономических видов деятельности как охота, рекреация, агролесотуризм и др. В-пятых, сохранение естественных условий жизни населения на территориях с низкой скоростью биологического кругооборота (обмена веществ) нужно рассматривать как фактор обеспечения здоровья человека, условие увеличения продолжительности его жизни и, следовательно, сохранения человеческого потенциала. Таким образом, отказ от современного экономического использования лесного потенциала страны может быть компенсирован платой за сохранение лесных экосистем со стороны других участников мирового сообщества, а также отложенными возможностями использования лесного потенциала будущими поколениями, учитывая новый уровень знаний и технологий. Необходимо подчеркнуть, что экономический и экологический результаты обеспечиваются за счет многофункциональности леса и цикличности его воспроизводства. Моделирование опирается на результаты экономической оценки экономических и экосистемных полезностей леса.

Для обеспечения развития лесного потенциала в контексте долгосрочного социально-экономического развития страны и ее регионов необходимо поддерживать двуетадивную реализацию лесного потенциала, одновременное достижение экономического и

экологического результатов, которые должны быть либо взаимозаменяемыми, либо взаимодополняемыми (комплементарными). Основные функции – социоприродная и социально-экономическая, по сути, конкурируют друг с другом, т.е. являются частично или полностью взаимоисключающими. Однако с точки зрения пространственной организации они могут быть комплементарными в различных пространственных измерениях или взаимозаменяемыми – в одном уровне пространства. Следовательно, во взаимоотношениях данных функций должен действовать принцип сбалансированности. В этой связи следует говорить об эколого-экономической эффективности реализации регионального лесного потенциала.

С точки зрения взаимодействия отмеченных функций нами рассматривается случай их взаимозаменяемости в региональном пространстве, для чего сформировано соотношение, в котором, с одной стороны, общей площади участков лесного фонда региона соответствует суммарный запас углерода в различных пулах, а с другой, - максимально возможный экономический результат (в частности, производство лесопромышленной продукции), который можно произвести из леса, как источника сырья, так и услуг, полученных с той же общей площади участков лесного фонда региона на данном уровне развития производительных сил (учитывая сложившиеся навыки и технологии производства). Сопоставление результатов (показателей) экономического и экологического производств, даёт возможность получить региональный углеродный эквивалент произведенного лесного (лесопромышленного) продукта в данном регионе. Рассчитать в стоимостном выражении современные возможности использования углеродных запасов лесных экосистем России мы можем на основании цен на лесную продукцию. Кроме того, на этой базе можно оценить углеродные убытки от лесопользования (прежде всего, заготовки древесины).

Поиск равновесия между производством лесной продукции и производством (накоплением) углерода приводит к необходимости определения стоимости используемых запасов углерода.

С экономической точки зрения возможно два варианта функции дохода в эколого-экономической системе. Согласно первому варианту выгоду от использования древесных лесных ресурсов можно представить как разницу между стоимостным объемом произведенной продукции и стоимостной оценкой суммарного углерода, который при этом использовался:

$$(1) \quad R = Q(S) - p(S) C(S) \rightarrow \max,$$

где R – доход от использования лесного потенциала (в частности, древесных ресурсов леса); Q – объем производства лесной продукции в регионе, (млрд. руб.), на который расходуется накопленный ранее запас углерода; C – суммарные запасы углерода (млн. т) на землях лесного фонда региона (в древесине, древесных остатках, почве); S – общая площадь лесных земель региона (тыс. га); p – стоимость углерода, потребляемого при производстве лесопромышленной продукции.

При реализации второго варианта измерения функции выгоды – она принимает относительный характер и представляется в виде отношения стоимостного объема производства лесопромышленной продукции и стоимости суммарных запасов (пулов) углерода:

$$(2) \quad R = \frac{Q(S)}{p(S)C(S)} \rightarrow \max$$

Исходя из первого варианта расчета дохода (абсолютного), стоимость углерода определяется как

$$(3) \quad p = \frac{\Delta Q}{\Delta C}$$

При расчете дохода по второму варианту, который можно охарактеризовать как относительный, для нахождения максимума функции прологарифмируем, а затем

продифференцируем полученное выражение. В результате расчетов с использованием приростов значений переменных, приростная стоимость составит:

$$(4) \frac{\Delta p}{p} = \frac{\Delta Q}{Q} - \frac{\Delta C}{C}$$

Для практического применения рассмотренных моделей была использована типология регионов на основе показателей лесистости и освоенности лесов. Речь идет о четырех типах регионов: многолесные леспромышленные, среднелесные освоенные, малолесные и малоосвоенные. В каждой группе сформированы новые пространственные конфигурации регионов: по возрастанию общей площади земель лесного фонда. Выбранная типология регионов дает возможность увидеть принципиальное различие в стоимости углерода для регионов, в зависимости от уровня лесистости и развития лесопромышленного производства (табл.1). Однако интерпретация полученных результатов подразумевает дальнейшие исследования и использование дополнительных характеристик.

Таблица 1. Стоимость расходуемых запасов углерода по типам регионов РФ

Тип регионов - субъектов Российской Федерации	1-й вариант расчета: оптимальная стоимость углерода, руб./ т	2-й вариант расчета: диапазон относительных приростных значений стоимости углерода
многолесные леспромышленные	68,82	[-0,89;49,36]
среднелесные освоенные	43,00	[-0,86;12,63]
малолесные	-8,32	[-0,87;39,29]
малоосвоенные	0,33	[-0,88;6,96]

Экспериментальные расчеты дают возможность сделать следующие выводы:

1) расчетная стоимость углерода значительно различается в зависимости от типов регионов; 2) императив соблюдения эколого-экономического баланса в современном обществе определяется тем, что при вырубке леса сокращается возможность углеродопоглощения, таким образом, введение ставки платы (которая играет роль штрафа) за использование запасов углерода, позволяет говорить о проведении политики сбалансированного (равновесного) лесопользования; 3) средства, полученные за использованные запасы углерода, могут аккумулироваться во внебюджетном фонде региона и направляться целевым образом на лесовосстановительные виды деятельности и научные исследования лесного потенциала (в т.ч. лесной науки); 4) ставки платы за использование запасов углерода должны быть дифференцированы, исходя из региональных особенностей - лесистости и освоенности лесов (в первую очередь это касается многолесных леспромышленных и среднелесных регионов); для малолесных регионов политика лесопользования связана с другими жизнеобеспечивающими видами хозяйственной деятельности (в частности, сельским и водным хозяйствами; производство лесной продукции в регионах данного типа, очевидно, не должно быть связано с запасами углерода на их территориях).

Моделирование многофункционально-устойчивого регионального лесопользования может быть дополнено лесоуглеродной моделью «поглощения», что предполагает стоимостное сравнение углеродопоглощающей способности лесов с объемом вырубки древесины. Такая идея базируется на гипотетическом сопоставлении стоимости объема поглощения парниковых газов за период (годовой цикл), а также стоимости ежегодной заготовки (вырубки) древесины в регионе, исходя из сегодняшнего уровня развития производительных сил. При этом мы исходим из предпосылки, что в нашей стране (в большинстве регионов) основные проблемы текущего периода относятся не к лесным запасам, а к их использованию, так как в рейтинге стран по показателям, связанных с охраной лесов и сохранением биоразнообразия, Россия вполне благополучна и занимает ведущие позиции в мире.

При сравнении производства (накопления) углерода и производства лесопромышленной продукции предоставляется возможность для расширения понятия «природно-ресурсный потенциал региона», в содержание которого должна войти обеспеченность территории региона запасами углерода, накопление которых связано с увеличением площади лесных земель. Этот подход с акцентом на приоритетность социоприродной функции, указывает на необходимость и возможность перехода с ограниченных экономических видов деятельности на интегрированные, которые включали бы экономические, экологические и социальные аспекты лесопользования. Оценка лесобеспеченности, которая должна включать обеспеченность углеродом, имеет существенное значение с точки зрения будущего (отложенного) использования и получения динамической ренты.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Макар С.В.* Инновационный вектор развития лесного потенциала России // Экономический анализ: теория и практика. 2010. № 10 (175). С. 8-16.
2. *Макар С.В.* Концептуальная модель регионального эколого-экономического баланса на основе лесного потенциала // Региональная экономика. 2012. № 7(238). С. 25-36.
3. *Макар С.В.* Применение методологии пространственного анализа к исследованию лесного потенциала России. Монография. М.: Экономика, 2012. 367с.
4. *Милова О.В.* Исследование регулирующей роли Киотского протокола в области лесохозяйственной деятельности России. Дисс...к.э.н. М., 2006.
5. Реализация прав собственности на природные ресурсы: Монография. М.: Юристъ, 2007. С.13.

MODELLING OF REGIONAL MULTIPURPOSE AND SUSTAINABLE FORESTRY

S.V.MAKAR

Financial university under Government of the Russian Federation

Concept of balance between economic and ecological results of the social development, based on realization of forest potential of regions is presented. Modeling is based on realization by region forest potential the capacity of socio-economic and socio-natural functions. Indicators of economic and ecological effects are offered. The model of calculation of optimum carbon cost for regions of various type is constructed and proved; on this basis introduction of differentiated regional payment for use of carbon stocks during the timber industry production is offered. The model shows potential value of Russian forest potential in regional, national and supranational scale.

ПРИМЕНЕНИЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЛЕСОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ

А.Н. МИШИНА

Московский Государственный Университет леса

В статье на основе изученного материала сделана попытка рассмотреть область применения данных дистанционного зондирования земли при оценке эффективности лесохозяйственных мероприятий. Учитывая точность полученных данных из космоса, оперативность поставки съемки, можно проанализировать изменения в лесном фонде за текущий год проведения оценки эффективности лесохозяйственных мероприятий.

В широком смысле данные дистанционного зондирования земли (ДДЗ) – это получение любыми неконтактными методами информации о поверхности, объектах на ней или в ее недрах. Традиционно к ДДЗ относят только те методы, которые позволяют получить из космоса изображение земной поверхности в каких-либо участках электромагнитного спектра с использованием аппаратуры, установленной на борту космических аппаратов. Объектами

зондирования являются поверхность суши и океана, почвенно-растительный покров, населенные пункты, дорожная сеть, социально-экономические объекты и др. Область применения данных дистанционного зондирования Земли обширна. В настоящее время широкое распространение получило применение данных дистанционного зондирования Земли, получаемых с помощью спутников в сфере научных исследований, практической и коммерческой деятельности. Одной из наиболее важных задач является задача дистанционного зондирования Земли при мониторинге лесов.

Возможности космических технологий для решения социально-экономических задач в лесном хозяйстве:

- Картографирование лесного фонда.
- Выявление существующих вырубок и гарей, оперативный автоматизированный мониторинг появления новых вырубок и гарей, определение экономического и экологического ущерба.
- Определение породного состава лесов по оптическим и радарным космическим снимкам. Подразделение лесов на категории: лиственные, хвойные с дальнейшим уточнением породного состава.
- Подразделение лесов на категории по возрасту.
- Изучение по космическим снимкам негативных процессов, оказывающих влияние на лесные массивы: влияние вредителей и болезней, процессы иссушения или переувлажнения лесов, приводящие к их деградации и гибели.
- Изучение влияния метеорологических условий и пирогенных факторов на развитие лесных пожаров в целях совершенствования прогнозирования развития и продвижения очагов возгораний.
- Изучение природных условий, способствующих или препятствующих активной лесохозяйственной деятельности (выявление плоских заболоченных участков, резких перегибов рельефа и т.п. с применением цифровых моделей рельефа и местности).

На сегодняшний день учет изменений, произошедших в состоянии лесов после проведения мероприятий по охране, защите, воспроизводству лесов, может выполняться на основе данных дистанционного зондирования земли.

Мероприятия ГИЛ по оценке мероприятий по охране, защите, воспроизводству лесов, использования лесов наземными способами направлены на достижение целей государственной инвентаризации лесов, определенных статьей 90 Лесного кодекса Российской Федерации. Оценка мероприятий и использования лесов проводится наземными способами путем натурного обследования лесных участков, отобранных методом случайной выборки ежегодно для объективной характеристики качества и результатов выполненных мероприятий, а также целесообразности их выполнения.

При мониторинге подлежат учету следующие виды использования лесов:

- заготовка древесины (при проведении сплошных рубок спелых и перестойных лесных насаждений, сплошных санитарных рубок и одноприемных рубок реконструкции);
- выполнение работ по геологическому изучению недр, разработке месторождений полезных ископаемых;
- строительство и эксплуатация водохранилищ и иных искусственных водных объектов, а также гидротехнических сооружений и специализированных портов;
- строительство, реконструкция, эксплуатация линейных объектов;
- использование лесов для переработки древесины и иных лесных ресурсов.

Уже сейчас данные ДЗЗ широко используются при оценке проведения использования лесов ежегодно. За период существования дистанционного мониторинга использования лесов он зарекомендовал себя как эффективный способ контроля за исполнением органами государственной власти переданных полномочий в области лесных отношений, так и за соблюдением требований лесного законодательства лесопользователями.

Таблица. Динамика объемов дистанционного мониторинга использования лесов

Год проведения мониторинга	Общая площадь мониторинга, млн. га	Количество субъектов РФ	Количество лесничеств
2005	50,2	7	67
2006	101,2	18	164
2007	113,3	19	191
2008	153,8	22	176
2009	175,4	24	198
2010	106,5	28	178
2011	120,0	30	169
2012	100,0	33	168

Возможность применения данных дистанционного зондирования земли при оценке эффективности лесохозяйственных мероприятий не только для выявления качества проведения сплошных рубок спелых и перестойных насаждений, но и для остального спектра лесохозяйственных мероприятий по охране, защите, воспроизводству и использованию лесов на сегодняшний день находится в стадии изучения. Т.к. с помощью данных дистанционного зондирования земли изучению может быть подвергнута любая точка земного шара, включая опасные и труднодоступные регионы, область применения дистанционного зондирования увеличивается до огромных размеров.

Учитывая оперативность поставки съемки, ее качество, точность, разрешение космических снимков и детальность можно проанализировать изменения в лесном фонде за текущий год проведения оценки эффективности лесохозяйственных мероприятий. Это позволяет выявить проблемы несовершенствования системы и устранить все недостатки. Наряду с проведением оценки эффективности существует возможность проведения дистанционного мониторинга, к примеру, воспроизведения лесов. Это позволит произвести учет погибших насаждений, своевременность уходов, качество проведения рубок ухода и рубок реконструкции. В свою очередь внедрение дистанционного мониторинга воспроизведения лесов уменьшит затраты на проведение натурных обследований, значительно сократит трудозатраты.

Экономическая эффективность применения данных дистанционного зондирования (ДЗЗ) определяется следующими факторами:

- Исследованию может быть подвергнута любая точка земного шара, включая труднодоступные и опасные регионы.
- Не требуется предоставления наземного персонала, организации полевых работ, экспедиций, выделения дополнительных ресурсов и т.д.
- Оперативность получения данных и эффективная возможность организации контроля над состоянием региона.
- Масштабность исследований. Покрываемая одним снимком площадь может достигать десятков тысяч квадратных километров. Наличие разновременных снимков одного региона позволяет исследовать динамику явления.
- Полная стоимость работ на 1-2 порядка ниже, чем при традиционных методах исследования.

Оперативность получения данных по заданному региону может достигать нескольких часов, начиная с момента принятия решения о необходимости проведения работ. Оперативность и достоверность информации, получаемой на основании анализа данных дистанционного зондирования Земли из космоса, позволяет на принципиально новом уровне оптимизировать процессы принятия решений и координации работ региональных органов управления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гонин Г.Б. Дистанционные методы и средства изучения природных ресурсов Земли. ВСЕГЕИ. Л., 1982.
2. Гонин Г.Б. Космические съемки Земли, Л., 1989., С.255.

3. Зуев Ю.С., Решетникова Т.Г., Ткаченко А.А. Применение методов дистанционного зондирования в геоинформатике (на примере снимков камеры Aster) // Геоинформационные системы №1(5) 2003., С.9.
4. Земля из космоса. Выпуск 13, 2012.
5. Книжников Ю.Ф. Аэрокосмическое зондирование: методология, принципы, проблемы Изд-во МГУ. М., 1997., С.127.
6. Коптев Ю.Н. Дистанционное зондирование Земли// Радиотехника, №10. М., 1995.С.83-90.
7. Кронберг П. Дистанционное изучение Земли. Основы и методы дистанционных исследований в геологии. М., Мир. 1988. С.350.
8. Методические рекомендации по проведению государственной инвентаризации лесов Утверждены Приказом Минсельхоза
9. Чандра А.М., Гош С.К. Дистанционное зондирование и географические информационные системы Москва: Техносфера, 2008. - 312 с., С.16.
10. Шульц С.С., мл. Земля из космоса. Изд-во Недра. Л., 1984.С.114.

APPLICATION OF REMOTE SENSING TO ASSESS THE EFFECTIVENESS FOREST OPERATON

A.N. MISHINA

Moscow State Forest University

On the basis of the material studied attempt to consider the scope of remote sensing data to assess the effectiveness of forest management. Given the accuracy of the data from space, speed of delivery shooting, you can analyze the changes in the forest reserve for the current year to assess the effectiveness of forest management.

ТАК СКОЛЬКО ЖЕ У НАС ЛЕСНЫХ ГАРЕЙ?

Б.Н МОИСЕЕВ

ВНИИ лесоводства и механизации лесного хозяйства (ВНИИЛМ)

Проведен краткий аналитический обзор работ по дистанционному мониторингу лесов Российской Федерации, связанных с оценкой площади лесных земель и динамикой площадей гарей. Отмечены значительные расхождения данных ФАО и Института Космических Исследований РАН с официальными статистическими источниками. Намечены возможные пути сближения этих данных.

В 2012 г. ФАО совместно с Европейским Исследовательским Центром (JRC) опубликовали работу «Глобальные изменения площади лесов за период 1990-2005 гг.» (FAO & JRC, 2012). Исследования осуществлялись методом дистанционного зондирования (RSS) по сериям космических снимков LANDSAT за годы 1990, 2000 и 2005. Было отобрано 13066 пробных участков (сцен) размером 10x10 км, которые покрывают около 1% глобальной площади обследования. На этом основании сделан вывод о сокращении площади лесов мира на 1.7% за период с 1990 по 2005 г., т.е. ежегодно площадь лесов сокращалась от 3 до 6 млн. га и составила 3.8 млрд. га в 2005 г. В целом эти данные хорошо согласуются с результатами Глобальной оценки лесных ресурсов 2010, проведенной ФАО на основе национальных докладов стран ООН (FRA 2010, FAO).

Авторы работы утверждают, что в Европе, которая включает по их определению всю территорию Российской Федерации до Тихого океана, происходило сокращение площади лесов на 0.4-0.6 млн га ежегодно, и это сокращение отмечено, в основном, на территории России. Но в той же работе сообщается, что в бореальной зоне планеты площадь лесов увеличивалась со средней скоростью 0.9 млн га/год и, что удивительно, более 1/2 площади бореальных лесов, как известно, приходится на территорию РФ. В лесах Европы было обследовано 907 пробных участков, тогда как в лесах Северной и Центральной Америки их

было изучено 4833. Для Европы 95% доверительный интервал (ошибка) оценки составляет от 303 до 578 тыс. га или 69% и 91% соответственно, т.е. ошибка измерения вполне соответствует самой измеренной величине. Можно ли делать достоверные выводы на такой слабой статистической основе? Видимо, поэтому авторы и не могли объяснить феномен одновременного сокращения лесов в Европе (РФ) и увеличения площади бореальных лесов.

По методике ФАО в понятие «лес» входят вырубки, гари, просеки и редины с сомкнутостью крон не менее 10%. Возникает естественный вопрос, можно ли по космическому снимку отделить естественно возобновляющуюся гарь, вырубку или редину с сомкнутостью крон 15-20% от «не леса» - закустаренного сенокоса, зарастающего сосной болота или прогалины? Это трудно сделать даже в натуре, не имея на руках аэрофотоснимок с нанесенными границами землепользований. При таксации и выборе «лес» и «не лес» неопределенность оценки всегда очень велика.

По данным Государственного учета лесного фонда (ГУЛФ) площадь покрытых лесом земель не только не уменьшилась, но даже увеличилась на 12.6 млн. га за период с 1988 по 1998 год и на 20.1 млн. га за период полных учетов с 1998 по 2003 год. Такое увеличение площади лесов происходило за счет передачи колхозных и совхозных лесов в лесной фонд. Кроме того, продолжается процесс зарастания заброшенных сельскохозяйственных угодий лесной растительностью, который естественным образом увеличивает площадь лесов и должен отражаться на космических снимках и в учетных данных.

На лесном форуме Гринпис России (www.forestforum.ru) опубликован слайд из доклада вице-президента РАН академика Н.П. Лаверова и Е.А. Лупяна - заведующего отделом технологий спутникового мониторинга Института космических исследований (ИКИ) РАН на конференции, посвященной юбилею академика Р.З.Сагдеева, отражающий динамику площадей лесных земель, пройденных лесными пожарами в России за период с 2000 по 2012 год. Судя по графику, общая площадь лесных природных пожаров составляет в среднем 7млн. га в год, а площадь пожаров на «лесных площадях» - около 4 млн. га/год. Сразу же возникает множество вопросов: «общая площадь» каких лесов, какой территории? По Лесному кодексу, у нас есть земли лесного фонда и земли лесов, не входящих в лесной фонд. Общая площадь включает естественные редины, кустарники или лесные болота? Методика ФАО исключает их из понятия «лес». «Лесная площадь» - это что? У нас есть лесные земли, которые подразделяются на покрытые и не покрытые лесом земли. Учитываются ли пожары, возникшие на гарях и вырубках прошлых лет? А в рединах? На слайде приведен пример автоматического оконтуривания гарей по данным спутника LANDSAT. На снимке нет дыма от пожара, следовательно, эта гарь прошлых лет. Можно ли с достоверностью определить год возникновения этой гари? Для этого нужен постоянный ежегодный мониторинг по термоточкам и автоматическому оконтуриванию гарей по всей огромной территории нашей страны. А был ли он у нас с 2000 года? Кроме того, на одном и том же месте, судя по термоточкам, пожары могут возникать несколько раз за год. Более того, термоточки могут возникать и без огня на сплошных вырубках с торфянистыми почвами, а также по местам горящих факелов нефтедобычи.

По данным ФГУП «Рослесинфорг» и Росстат, средняя площадь лесных земель, пройденных пожарами за тот же период, составляет примерно 1.5 млн га. По данным ГУЛФ-ГЛР общая площадь учтенных гарей заметно снижается с 1988 г. и в настоящее время составляет 22.5 млн. га (рис.).

То есть данные дистанционного мониторинга лесов ФАО и отечественного ИКИ противоречат официальным статистическим данным по площади пожаров, что приводит к проблемам в расчетах пространственной динамики лесов и эмиссии CO₂ в результате пожаров. Однако по сумме площадей гарельников, представленных в ГУЛФ-ГЛР, можно, по-видимому, найти некоторое согласие данных. Так, если принять средний возраст возобновления гари за 5 лет, то средняя площадь ежегодных гарей составит примерно 4...5 млн. га ($22.5/5 = 4.5$ млн. га/год), т.е. это примерно такая же цифра, которую дают сотрудники ИКИ (Bartalev et al., 2012). По данным космического мониторинга прибором

Terra-MODIS, проведенного федеральным предприятием «Авиалесоохрана» в 2008 г., реальная площадь лесных пожаров примерно в 4 раза превосходит площадь пожаров, представленную региональными органами управления лесами в качестве статистической отчетности (Ковалев, 2009). А.З. Швиденко с соавторами (Shvidenko et al., 2011) в резюме статьи приводят среднюю годовую площадь лесных пожаров в России в размере 5.35 млн. га (в табл. 5 авторы дают другую цифру – 4.88 млн. га).

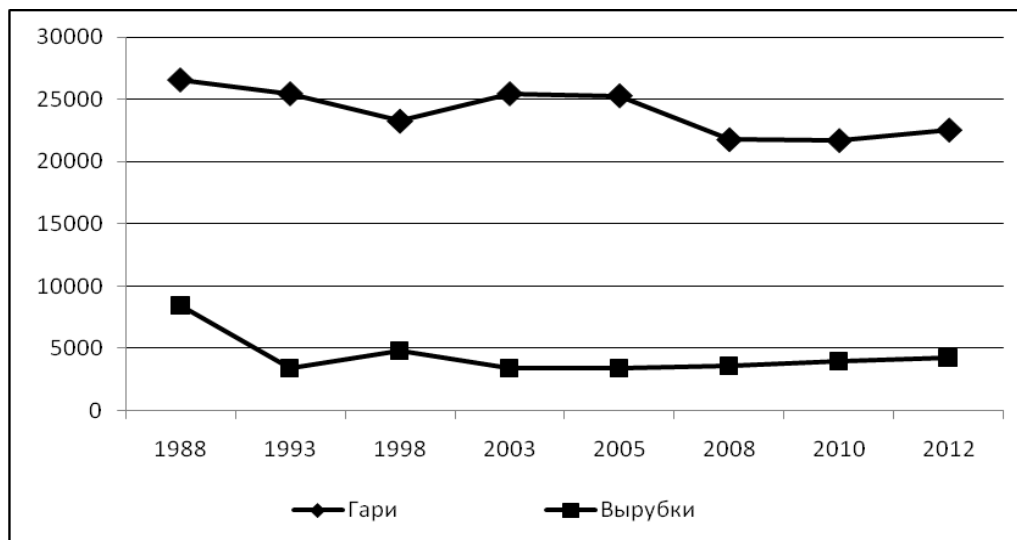


Рисунок. Динамика общей площади гарей и невозобновившихся вырубок по данным учетов ГУЛФ-ГЛР, тыс. га

Так какая же у нас площадь ежегодных гарей? Сотрудники ФБУ ВНИИЛМ принимают участие в создании национального доклада в рамках Глобальной оценки лесных ресурсов ФАО, а также создают Ежегодный доклад о состоянии и использовании лесов Российской Федерации. Какие площади гарей, вырубок и других потерь лесных земель мы должны указывать в этих докладах? И как мы должны объяснять расхождения в цифрах и неточности в терминологии? Такие расхождения приводят к снижению авторитета лесных учреждений как в центре, так и на местах; ведет к тому, что на борьбу с лесными пожарами выделяются незначительные силы и средства. Леса горели и будут гореть всегда, и наша общая задача – снизить давление этого фактора и уменьшить потери. А для этого мы должны владеть достоверной информацией, не вызывающей никаких сомнений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ковалев Н.А. Информационная система дистанционного мониторинга ИСДМ-Рослесхоз. Блок мониторинга пожарной опасности //Доклад на конференции «Проблемы лесоустройства и государственной инвентаризации лесов в России», Москва, 2009.
2. Bartalev, S., Egorov, V., Efremov, V., Flitman, E., Loupian, E. & Stytsenko, F. (2012). Assessment of Burned Forest Areas over the Russian Federation from MODIS and Landsat-TM/ETM+ Imagery. In F. Achard & M.C. Hansen (Eds.) Global Forest Monitoring from Earth Observation (pp. 259–286), CRC Press.
3. FAO & JRC. 2012. Global forest land-use change 1990–2005, by E.J. Lindquist, R. D'Annunzio, A. Gerrand, K. MacDicken, F. Achard, R. Beuchle, A. Brink, H.D. Eva, P. Mayaux, J. San-Miguel-Ayanz & H-J. Stibig. FAO Forestry Paper No. 169. Food and Agriculture Organization of the United Nations and European Commission Joint Research Centre. Rome, FAO.
4. Shvidenko A. et al. (2011). Carbon Emissions from Forest Fires in Boreal Eurasia between 1998-2010. The 5-th International Wildland Fire Conference, Sun City, South Africa, 2011

SO HOW MANY AT US FOREST BURNT AREAS?

B. N. MOISEEV

The short analytical review of works is made on the remote sensing survey of Russian forests bound to an assessment of the forest lands change and dynamics of the areas of burnt forests. Significant apostates of FAO data and Institute of Space Researches of the RAS are noted with official statistical sources. Possible paths of rapprochement of this data are planned.

ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДЗЗ С СОВРЕМЕННЫХ И ПЕРСПЕКТИВНЫХ РОССИЙСКИХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ПРИ ГИЛ РФ

А.А. ПРИСТАВКО, А.М. БЕРДОВ, С.М. ИЗБОВИН

ФГУП «Рослесинфорг»

Государственная инвентаризация лесов. Данные дистанционного зондирования земли. Лесной кодекс Российской Федерации. Российские космические аппараты.

На ряду с лесоустройством, ведением государственного лесного реестра, государственная инвентаризация лесов (ГИЛ) является одним из видов лесоучетных работ, проводимых на территории Российской Федерации.

Целями выполнения работ по государственной инвентаризации лесов, определенными Лесным кодексом Российской Федерации (Лесной кодекс, 2007) являются:

- своевременное выявление и прогнозирование развития процессов, оказывающих негативное воздействие на леса;
- оценка эффективности мероприятий по охране, защите, воспроизводству лесов;
- информационное обеспечение управления в области использования, охраны, защиты, воспроизводства лесов;
- информационное обеспечение управления в области федерального государственного лесного надзора (лесной охраны).

Для достижения целей государственной инвентаризации лесов работы по её проведению разделены на следующие составные части:

- дистанционный мониторинг использования лесов;
- оценка мероприятий по охране, защите, воспроизводству лесов, использования лесов наземными способами;
- определение количественных и качественных характеристик лесов;
- формирование федеральных информационных ресурсов.

В соответствии с Методическими рекомендациями по проведению государственной инвентаризации лесов (Методические..., 2011) (утверждены 10.11.2011г. приказом Федерального агентства лесного хозяйства № 472) при проведении работ по ГИЛ в части определения количественных и качественных характеристик лесов и в части дистанционного мониторинга использования лесов применяются современные материалы аэрокосмических съёмок объектов работ с пространственным разрешением не ниже 5 метров текущего года (года проведения работ) и предшествующего года (для мониторинга). Используется съёмка, выполненная в период вегетации лесной растительности с облачностью не превышающей 5% на сцену. Как правило, используется панхроматическая или мультиспектральная космическая съёмка оптического диапазона.

В 2012 г. в соответствии с государственными контрактами по ГИЛ ФГУП «Рослесинфорг» по направлениям, требующим применение данных дистанционного зондирования земли, были выполнены следующие объёмы работ:

- проведены работы по определению количественных и качественных характеристик лесов на территории 61,6 млн. га;
 - выполнен дистанционный мониторинг использования лесов на площади 100,0 млн. га.
 Сведения о материалах космической съёмки использованной при проведении работ по ГИЛ в 2012 г приведены в таблице 1.

Таблица 1. Покрытие материалами космической съёмки объектов работ ГИЛ 2012 г.

Космический аппарат	Тип съёмки	Доля покрытия объектов работ ГИЛ материалами космической съёмки различного пространственного разрешения (м), %		
		2,0 и лучше	2,5	5
Определение количественных и качественных характеристик лесов				
SPOT-5	панхроматическая	-	58,0	-
SPOT-5	мультиспектральная	-	-	0,6
ALOS (PRISM)	панхроматическая	-	0,02	-
RapidEye	мультиспектральная	-	-	3,8
WorldView-1	панхроматическая	18,2	-	-
WorldView-2	панхроматическая	9,4	-	-
QuickBird-2	панхроматическая	8,8	-	-
Ikonos	панхроматическая	0,004	-	-
GeoEye	панхроматическая	1,1	-	-
Дистанционный мониторинг использования лесов				
Pleades	панхроматический	0,2	-	-
QuickBird-2	панхроматический	29,7	-	-
RapidEye	мультиспектральный	-	-	1,2
WorldView-1	панхроматический	46,5	-	-
WorldView-2	панхроматический	22,4	-	-

Из таблицы 1 следует, что в 2012 г для работ по определению количественных и качественных характеристик лесов доля съёмки с пространственным разрешением 2,5 метра составила более 58% от общей площади объектов работ. Доля съёмки с пространственным разрешением 2 метра составила около 37,5 %, а с разрешением 5 метров –4,4%. В общем объёме преобладает панхроматическая космическая съёмка.

Аналогичная ситуация складывается и с космической съёмкой использованной для дистанционного мониторинга использования лесов. Львиная доля (98,8%) полученной съёмки относится к съёмке с пространственным разрешением 2 метра и лучше. Преобладает панхроматическая космическая съёмка.

В обоих случаях используются космоснимки, полученные с зарубежных коммерческих космических аппаратов.

Исходя из анализа представленных на рынке данных дистанционного зондирования земли (ДЗЗ), которые по своим характеристикам подходят для решения задач государственной инвентаризации лесов, имеется ряд космических аппаратов отечественного производства.

«Ресурс-ДК1»

Основные характеристики съёмочной аппаратуры представлены в таблице 2 (Электронный ресурс...).

Таблица 2. Основные характеристики съемочной аппаратуры КА «Ресурс-ДК1»

Режим съемки	Панхроматический	Мультиспектральный
Спектральный диапазон, мкм	0,58–0,80	0,50–0,60 (зеленый) 0,60–0,70 (красный) 0,70–0,80 (ближний ИК)
Пространственное разрешение (в надире), м	1	2–3
Максимальное отклонение от надира, град	30	
Радиометрическое разрешение, бит на пиксель	10	
Ширина полосы съемки, км	От 4,7 до 28,3 (при высоте 360 км)	
Ширина полосы обзора, км	448 (при высоте 360 км)	
Производительность съемки, млн кв. км/сутки	1	
Периодичность съемки, сутки	6	
Возможность получения стереопары	Да, с соседних витков	
Формат файлов	GeoTIFF	
Скорость передачи данных на наземный сегмент, Мбит/с	75, 150, 300	

«Канопус-В»

Основные характеристики съемочной аппаратуры представлены в таблице 3 (Электронный ресурс...).

Таблица 3. Основные характеристики съемочной аппаратуры КА «Канопус-В»

Режим съемки	Панхроматический	Мультиспектральный
Спектральный диапазон, мкм	0,52–0,85	0,54–0,60 (зеленый) 0,63–0,69; 0,6–0,72 (красный) 0,75–0,86 (ближний ИК)
Пространственное разрешение (в надире), м	2,1	10,5
Ширина полосы обзора, км	Более 20 (при высоте 510 км)	
Производительность съемки, млн кв. км/сутки	Более 2	
Периодичность съемки, сутки	5	
Скорость передачи данных на наземный сегмент (X-диапазон), Мбит/с	2x122,8	

Кроме того, в 2013 году планируется запуск космического аппарата «Ресурс-П», съемку с которого также возможно будет использовать для целей государственной инвентаризации лесов.

Основные характеристики съемочной аппаратуры этого перспективного отечественного космического аппарата представлены в таблице 4 (Электронный ресурс...).

На данный момент, космическая съемка, полученная с отечественных космических аппаратов, не достаточно широко используется при государственной инвентаризации лесов, хотя она во многом соответствует или превосходит зарубежные аналоги, и по своим характеристикам вполне подходит для решения задач при ГИЛ.

Таблица 4. Основные характеристики съемочной аппаратуры КА «Ресурс-П»

Режим съемки	Панхроматический	Мультиспектральный
Спектральный диапазон, мкм	0,58–0,80	0,45–0,52 (синий) 0,52–0,60 (зеленый) 0,61–0,68 (красный) 0,72–0,80; 0,67–0,70; 0,70–0,73 (красный + ближний ИК)
Пространственное разрешение (в надире), м	1	3–4
Ширина полосы съемки, км	38	
Ширина полосы обзора, км	950	
Производительность съемки, млн кв. км/сутки	1	
Периодичность съемки, сутки	3	

ЛИТЕРАТУРА

1. Лесной кодекс Российской Федерации. Комментарии: изд. 2-е, доп./Под общ. ред. *Н.В. Комаровой, В.П. Рощупкина*. – М.: ВНИИЛМ, 2007. – 856 с.
2. Методические рекомендации по проведению государственной инвентаризации лесов. Утверждены приказом Федерального агентства лесного хозяйства от 10.11.2011 г. № 472.
3. <http://www.sovzond.ru/satellites/>

THE POSSIBILITY OF USING REMOTE SENSING OF CURRENT AND FUTURE RUSSIAN SPACECRAFT DURING GIL RF

A.A. PRISTAVKO, A.M. BERDOV, S.M. IZBOVIN

"Roslesinforg"

State forest inventory. Remote sensing data. The forest Code of the Russian Federation. Russian spacecraft.

ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНОЙ ДИСТАНЦИОННОЙ ИНФОРМАЦИИ В ИССЛЕДОВАНИИ ЛЕСОВ

Ю.Г. ПУЗАЧЕНКО¹, А.Н. КРЕНКЕ² М. Ю. ПУЗАЧЕНКО², Р.Б. САНДЛЕРСКИЙ¹

¹Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН

²Институт географии РАН

Рассматриваются подходы и методы исследования функционирования и структуры биогеоценологического покрова с использованием мультиспектральной дистанционной информации в двух взаимодополняющих вариантах: без использования и с использованием полевых измерений. Показано широкая возможность разработки на этой основе фундаментальных проблем биогеоценологии и решения практических задач оценки состояния лесных ресурсов.

Леса можно рассматривать как важнейшую составляющую биосферы, определяющую ее функционирование и производящую значительную часть полезной продукции. Глубина знаний структурно-функциональной организации лесов определяет эффективность использования возобновимых ресурсов и управления климатообразующими процессами.

Принципиальной фундаментальной проблемой лесной биогеоценологии на микроуровне является соотношение континуальности и индивидуальности пространственно-временной организации, прямо связанная с саморегуляцией и устойчивостью, а на макроуровне термодинамика и саморегуляция лесных биомов с их взаимосвязью с атмосферой, почвой и климатом. Разработка этих проблем становится возможной с использованием мультиспектральных (МС) дистанционных измерений (ДИ) со спутников Landsat, Aster, Spot, RapidEye и на макроуровне Modis. Измерения отраженной солнечной радиации в полосах солнечного спектра, их парных и многомерных соотношений, отражающих работу различных структур фотосинтезирующей и транспирирующей зеленой массы, дают объективную информацию о текущем функционировании и состоянии биогеоценологического покрова (БГЦ) и его варьировании в пространстве. Кроме того на основе МС отражения можно получить оценки термодинамических переменных: поглощенной радиации, эксергии, энтропии, приращения информации, диссипации энергии (Puzachenko, 2011). Структура отражения солнечной радиации есть функция ее поступления, сезона, погоды, рельефа, собственного состояния биогеоценоза. Чувствительность к изменяющимся во времени внешним факторам, столь велика, что нельзя найти двух сцен с абсолютно подобным изменением в пространстве отражения солнечной радиации в любом канале, но знаки корреляции одноименных каналов за разные сроки наблюдения в течении вегетационного периода всегда положительны, а сами корреляции статистически значимы. Подбор сцен за разные сроки позволяет исследовать

пространственно-временную структуру поглощения солнечной радиации в различных каналах. На этой основе решаются следующие задачи:

1. Выделение функциональных подсистем. На основе значения отражения в каналах и соответствующих индексов осуществляется расчет синергетических параметров порядка (факторный анализ) как для набора сцен, так и отдельно для каждой. Получаемые параметры выделяют относительно независимые подсистемы поглощения и использования солнечной энергии и не содержат искажений неизбежно существующих в исходных данных.

2. Дихотомическая иерархическая классификация. Дихотомическая иерархическая беспороговая классификация, использующая на каждом иерархическом уровне сходимость в ходе итераций к центрам тяжести двух подмножеств, осуществляется с использованием различных метрик. Метрика, обеспечивающая максимум энтропии признается адекватной реальности. Классификация позволяет определить информационную размерность БГЦ покрова, построить ранговые распределения термостатики для каждого уровня и на этой основе через информацию Кульбака оценить равновесность всего множества и его подмножеств. Оценка позволяет выделить состояния нарушающие равновесие и определяющие возможное направление динамики системы. Получаемые квазидискретные классы интерпретируемы через различия МС отражения и индексы по крайней мере до пятого уровня классификации хорошо ассоциируются с различными состояниями лесных БГЦ в традиционных переменных. Исследование степени дискретности, получаемых выделов, осуществляется дискриминантным анализом (ДА) выделенных классов от исходных МС переменных. ДА, опираясь на нормальную гипотезу, выделяет действительно дискретные индивидуальные БГЦ, которые имеют вероятность распознавания "единица". Обычно вероятность распознавания изменяется от 0.5 до 1. Анализ размещения различных значений вероятностей в пространстве позволяет выделить БГЦ, которые можно рассматривать как целостные системы и мозаику вероятностей, выделяющих континуальные изменения БГЦ покрова. Классификация позволяет исследовать варьирование разнообразия состояний БГЦ в пространстве, отобразить размещение в пространстве состояний с различной мерой уникальности. Так как классификация автоматически упорядочивает состояния по их естественному порядку, то на этой основе можно выделять типы их пространственной мозаики для различных пространственных масштабов. Оценки разнообразия состояний, уникальности и состояний с различным уровнем целостности позволяет в частности оптимизировать систему полевых измерений.

3. Оценка выраженности границ. Измерение выраженности границы естественно строить на основе меры, оценивающей подобие векторов отражения для ячеек скользящего квадрата с заданной стороной. Такой мерой может быть определитель. Для полностью подобных векторов определителю условно присваивается нуль. В результате получаем меру дискретности, на основе которой можно выделить границы с различной выраженностью. Очевидно, что если существует некоторая пространственная структура, то пиксели с детерминантом близким к единице будут группироваться в связанные цепочки, маркирующие границы. Если пространственная структура отсутствуют, то значения детерминанта будут изменяться в пространстве чисто случайно.

4. Рельеф как управляющий параметр. Рельеф, перераспределяя влагу и тепло, может влиять на работу растительности по поглощению солнечной энергии. Информация об этих отношениях может быть полезна для понимания физических факторов, определяющих варьирование поглощения солнечной энергии и термодинамических переменных. Для анализа влияния рельефа предварительно на основе двухмерного спектрального анализа выделяются иерархические уровни его организации и для каждого уровня рассчитывается уклон поверхности, лапласиан, различные кривизны и освещенность с востока и юга. Далее значения МС отражения рассматриваются как функция переменных рельефа. Модель, построенная методом множественной пошаговой регрессии (МПР), описывает гипотетическое отражение равновесное рельефу и позволяет оценить влияние различных режимов увлажнения и освещенности склонов. Эти оценки могут проводиться для сцен,

выполненных в разные сезоны и при разных погодных условиях, что позволяет более содержательно рассматривать гипотезы о влиянии в первую очередь увлажнения на преобразование солнечной энергии. Очевидно, что часть варьирования МС отражения, не описываемая рельефом, определяется текущем состоянием растительности.

5. Организация системы, преобразующей солнечную энергию. В соответствии с общим представлениями организация системы тем выше, чем больше связь между ее переменными. Организация может быть оценена из соотношения общей энтропии системы и величины информации. Естественно, что эти оценки проводятся для всей территории, включенной в анализ. В соответствии с представлениями термостатики система тем дальше от равновесия и тем больше полезная работа, чем выше ее организация. Оценивая меру организации для разных сезонов, получаем оценку динамики организации БГЦ покрова во времени.

7. Динамика БГЦ покрова на основе Landsat может рассматриваться, начиная с 1974 : на всем временном интервале, в течение вегетационного сезона, в связи с изменением погоды. Во всех случаях может рассматриваться два аспекта: 1. в видимом и ближнем инфракрасном канале, отражая продукционный процесс, состав и возраст древесного яруса, зарастание вырубок, лугов, процессы заболачивания; 2. в дальних инфракрасных каналах, отражая увлажнение. Оценка изменений строится на основе метода прямых разностей, при соответствующем преобразовании данных, методом регрессии с последующей классификацией остатков и прямым методом дихотомической классификации.

Таким образом, прямой анализ МС ДИ дает представления о пространственно-временном варьировании преобразования солнечной энергии, о пространственной структуре БГЦ покрова и направлении его динамики. Следующим естественным шагом является объединение (ДИ) с полевыми измерениями (ПИ) состояния конкретных БГЦ. ПИ могут быть организованы на трансектах с регулярным шагом опробования и по схеме, направленной на максимально полный охват разнообразия установленного на первых этапах анализа. Трансекты обладают тем преимуществом, что содержат пространственно сопряженную информацию о состоянии БГЦ. На них удобно осуществлять повторные измерения и по мере появления новых приборов измерять новые свойства, сохраняя их общую пространственную сопряженность. Трансекты становятся весьма эффективным инструментом анализа гиперспектральной информации, например, со спутника Nuregion. Описание растительности осуществляется на круговых площадках. Включаются все качественно и количественно оцениваемые переменные: базальная площадь (релаксометр Masser), LAI (аппарат с фишай), сомкнутость и проективное покрытие (визуально) влажность почвы (диэлектрическая проницаемость) и т.п.

Измеренные переменные состояния растительности и почвы в совокупности с ДИ и свойствами рельефа предназначены для многомерного анализа пространственно-временной организации БГЦ и его компонентов.

Возможны два подхода анализа. 1. Любому избранному свойству БГЦ ставятся в соответствие отражение солнечной радиации, индексы и термодинамические переменные совместно с переменными рельефа и статистическими методами (многомерная пошаговая регрессия, дискриминатный анализ, метод нейронных сетей) строится соответствующая статистическая модель исследуемого свойства. Модель с известной статистической значимостью и ошибкой воспроизводит исследуемое свойство. Отношения, получаемые в модели позволяют сформулировать гипотезы о физическом смысле выявленной связи. Отклонения реальных измерений свойства от модели позволяют выделить их неслучайную составляющую и на местности попытаться установить их природу. Модель на основе ДИ и свойств рельефа позволяет интерполировать значения исследуемого свойства на всю территорию и строить соответствующую карту.

В силу возможной анизотропности пространства интерполяция возможна только для территории тождественной по своим свойствам территории полевой выборки. Если предполагается, что составляемые карты используются в хозяйственной практике, то

необходима проверка гипотезы однородности. Она может быть осуществлена, например, сравнением подобия моделей, построенных для разных форм рельефа, или полевой проверкой качества интерполяции и по контрольной выборке.

Второй подход опирается на предварительный многомерный анализ функционально связанных свойств, например соотношение видов в ярусе растительности БГЦ, или свойств почв и т.п. Возможны два варианта: 1. осуществляется классификация множества избранных свойств и статистическая модель строится для дискретных состояний (дискриминантный анализ или метод нейронных сетей); 2. на основе многомерного анализ (непараметрическое многомерное шкалирование, факторный анализ) выделяются собственные параметры порядка рассматриваемой совокупности свойств. Параметры порядка с известной ошибкой описывают равновесные отношения. Статистически значимые территориально сопряженные отклонения от равновесной модели могут индизировать дискретные целостные состояния, нарушающие континуальные равновесные отношения. Относительно параметров порядка строится статистическая модель от ДИ и рельефа, на основе которой строятся карты параметров порядка для репрезентативной территории. Очевидно, что эта схема анализа в большей степени направлена на исследование соотношения индивидуалистической и континуальной форм организации биогеоценологического покрова.

Статистические методы анализа, описывая равновесные отношения, не содержат прямой информации о порождающих их механизмах. Точно так же они не содержат такой информации об отклонениях от равновесия в форме целостных образований и дискретных границ. Но они позволяют сформулировать реалистичные гипотезы, которые могут быть проверены в прямых ПИ или на основе моделирования.

Особым направлением использования МС ДИ является коррекция специальных мелкомасштабных карт растительности, почвы и лесотаксационных планов. Очевидно, что однозначное, независимо воспроизводимое проведение границ выделов, хотя бы в силу объективной существенной континуальности растительного и почвенного покровов невозможно, но в то же время центральные части выделов воспроизводятся существенно более однозначно. Используя дискриминантный анализ на основе МС информации, можно осуществить коррекцию выделов исходной карты и, более того, выделить параметры порядка, определяющие их генезис. Используя мелкомасштабную карту, как обучающую выборку, можно построить карту с более крупным масштабом, чем исходная.

В докладе демонстрируются примеры всех основных рассмотренных выше разделов использования мультиспектральной информации в исследовании лесных БГЦ.

ЛИТЕРАТУРА

Puzachenko Y.G., R.B. Sandler, A. Svirejeva-Hopkins. Estimation of thermodynamic parameters of the biosphere, based on remote sensing. Original Research Article. Ecological of thermodynamic Modelling 222 (2011) 2913– 2923

GENERAL PRINCIPLES OF USING MULTISPECTRAL REMOTE SENSING INFORMATION IN FOREST RESEARCH

Y.G. PUZACHENKO¹, KRENKE A.N.², M.Y. PUZACHENKO², R.B. SANDLERSKY¹

¹**Institute of ecology and evolution named after Severtsev A.N.**

²**Institute of Geography RAS**

Authors discuss the approach and methods of analyzing the structure and function of biogeocenoses based on multispectral remote sensing information with and without field data. The study demonstrates advantages of this approach for addressing fundamental problems of biogeocenology and solving practical problems of evaluating the condition of forest resources.

РЕСУРСНАЯ ОЦЕНКА ПОВРЕЖДЕННЫХ ЛЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ И ОБЪЕКТОВ ЛЕСОПОЛЬЗОВАНИЯ НА ОСНОВЕ МАТЕРИАЛОВ КОСМИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ И ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

А.А. ПУШКИН¹, М.А. ИЛЬЮЧИК²

¹Белорусский государственный технологический университет

²Лесоустроительное республиканское унитарное предприятие «Белгослес»

Одним из перспективных направлений мониторинга поврежденных лесных насаждений и рубок леса является использование данных дистанционного зондирования земель лесного фонда. В работе рассмотрена технология ресурсной оценки поврежденных лесных насаждений и объектов лесопользования на основе интегрированного использования материалов космической съемки, данных лесоустройства с использованием геоинформационных технологий.

В настоящее время в Республике Беларусь наблюдается увеличение числа буреломных, ветровальных повреждений лесных насаждений и их усыханий. Поврежденная древесина имеет худшую товарную характеристику, однако оперативная предварительная оценка ее запаса, товарной структуры и стоимости позволяет подразделениям лесного хозяйства наиболее оптимально использовать древесину поврежденных лесных насаждений, планировать технические средства и ресурсы для выполнения мероприятий по расчистке поврежденных участков и проведению лесовосстановительных работ.

В результате проведения лесоустройства на земли государственного лесного фонда Республики Беларусь созданы цифровые векторные карты, сформирована повыдельная лесотаксационная база данных лесных насаждений, что создает предпосылки для интегрированного использования материалов лесоустройства и данных дистанционного зондирования для оценки площадей и запасов поврежденных лесных насаждений, а также объектов лесопользования – сплошных рубок леса.

Основной целью проведения исследований являлась разработка технологии и программного комплекса дешифрирования поврежденных лесных насаждений и вырубок по материалам космической съемки, создания соответствующих векторных тематических карт, а также материально-денежная оценка поврежденной или вырубленной древесины.

Разработка программного комплекса выполнена на основе специализированного программного обеспечения совместимого на уровне форматов входных и выходных данных:

- система обработки данных дистанционного зондирования ENVI 4.7;
- специализированное программное приложение автоматизации тематического дешифрирования, разработанное на платформе ENVI 4.7;
- геоинформационная система (ГИС) MapInfo Professional, предназначенная для формирования планово-картографических материалов и отчетных документов;
- специализированное программное приложение ресурсной оценки поврежденных лесных насаждений, разработанное на платформе ГИС MapInfo Professional;
- система управления базами данных Ms Access, используемая для хранения атрибутивной базы данных повыдельной характеристики лесных насаждений.

В качестве исходных данных, необходимых для выполнения оценки, используются материалы разновременной или разовой космической съемки высокого разрешения; цифровые лесные карты в векторном формате TAB, содержащие слои таксационных выделов и кварталов; повыдельная база данных таксационных характеристик лесных насаждений, полученная в результате лесоустройства (Ильючик, Цай, 2011). При проведении опытных работ по дешифрированию поврежденных лесных насаждений и вырубок использовались материалы космической съемки системы ALOS AVNIR и GeoEye.

Технология проведения работ предусматривает выполнение следующих этапов:

- дешифрирование поврежденных лесных насаждений и вырубок по материалам космической съемки;

- формирование векторного полигонального слоя поврежденных или вырубленных участков, определение их площадей и внесение соответствующих изменений в картографический слой таксационных выделов;

- проведение материально-денежной оценки лесного насаждения до повреждения или рубки;

- расчет потерь выхода сортиментов в объемном и денежном выражении после повреждения;

- формирование отчетных документов и тематических карт.

Важнейшей задачей в процессе выполнения ресурсной оценки является выявление поврежденных лесных участков и вырубок на материалах космической съемки. Решение данной задачи возможно несколькими путями: на основе тематической классификации разовых космических снимков, а также выявление произошедших изменений на разновременных материалах космической съемки с использованием базовых алгоритмов поиска изменений.

В практике тематической обработки материалов космической съемки в настоящее время наиболее часто используются алгоритмы на основе статистической оценки спектральных яркостей с использованием эталонных участков изображения или, так называемых, обучающих выборок (Кравцов, 2008). С целью автоматизации работ по тематической классификации различных видов лесных земель и растительности разработан специализированный программный модуль на основе базового программного обеспечения ENVI (Пушкин, 2011). Основным преимуществом метода тематической классификации является возможность выявления поврежденных лесных насаждений на основе данных одиночной съемки. Однако результаты такого дешифрирования необходимо сопоставлять с информацией из повыведельной базы данных или проверять в натуре, поскольку спектрально-яркостные показатели поврежденных лесных насаждений и вырубок весьма схожи с другими видами земель лесного фонда (несомкнувшиеся лесные культуры, прогалины и др.), что может привести к значительным ошибкам. При небольших объемах дешифровочных работ, а также при большой мозаичности территории зачастую более целесообразно применять векторизацию объектов с помощью ГИС в интерактивном режиме. Использование алгоритма поиска изменений позволяет выделять на разновременных материалах космической съемки участки, где спектральные характеристики существенно изменились, например, лесное насаждение – ветровал. Для практической реализации данного способа необходимо наличие двух разновременных космических снимков на одну и ту же территорию лесного фонда, что не всегда возможно. В целом в результате проведения дешифровочных работ по материалам космической съемки высокого и сверхвысокого разрешения достаточно хорошо выделяются ветровальные и буреломные повреждения, усыхания лесных насаждений, а также сплошные вырубки.

По итогам тематической классификации формируется растровое изображение поврежденных лесных насаждений, которое, после проведения постобработки, переводится в векторный формат данных. Полученный, таким образом, векторный слой поврежденных или вырубленных участков разрезается полигональным слоем лесотаксационных выделов, созданным при проведении лесоустройства, в результате чего формируется слой выделов с границами повреждений. На последующем этапе с использованием базовых функций ГИС MapInfo определяются площади поврежденных участков лесных насаждений и вырубок.

Для определения потерь деловой древесины при повреждениях, а также запаса и товарной структуры вырубленной древесины необходимо наличие соответствующих расчетных уравнений. Выход категорий крупности деловой древесины до повреждения определяется на основе уравнений, полученных путем аппроксимации нормативных товарных таблиц полиномами 4-5 степени (Нормативные материалы ..., 1984). Коэффициент детерминации при этом достаточно высок и для деловой древесины составляет 0,832-0,993. Проведение расчетов основывается на содержащейся в повыведельной базе данных информации.

Потери в выходе различных категорий крупности деловой древесины определяются в зависимости от типа повреждений. Необходимость учитывать тип повреждений обуславливается различной величиной потерь деловой древесины. Так в результате полевых обследований целесообразным признано выделение следующих трех основных типов повреждений лесных насаждений:

- сплошные ветровалы – ветровальные деревья составляют не менее 85 % от общего количества поврежденных стволов;
- сплошные буреломы – поврежденные насаждения, в которых не менее 85 % деревьев имеют сломы;
- комбинированные повреждения – поврежденные насаждения, в которых доля ветровальных или буреломных стволов менее 85 %.

При ветровальных повреждениях процент потери деловой древесины зависит от среднего диаметра древостоя, древесной породы и класса товарности. Результаты полевых исследований на ветровальных лесосеках показывают, что для хвойных насаждений 1-3 класса товарности в зависимости от среднего диаметра уменьшение выхода деловой древесины составляет 8-10 %, твердолиственных насаждений – 5-8 %, березовых насаждений – 7-10 %, осиновых и черноольховых насаждений – 6-9 %.

С использованием полученных процентов потерь устанавливается выход деловой древесины всех категорий крупности, а также корректируется выход дровяной древесины и отходов.

Ресурсная оценка насаждений, поврежденных сплошными буреломами, осуществляется с использованием соответствующих расчетных уравнений. Создание данных уравнений выполнено на основе данных таксации буреломных лесных насаждений, результатах материально-денежной оценки, полученных лесхозами при разработке буреломных лесосек, а также с использованием имитационного моделирования повреждений насаждений (при недостаточном количестве объектов полевых исследований).

Известно, что товарная структура древостоя определяется, главным образом, его средним диаметром. В этой связи, модели для определения уменьшения выхода деловой древесины созданы в виде полиномов 3-5 степени в зависимости от среднего диаметра поврежденного древостоя. Также корректируется выход дров и отходов.

С целью автоматизации расчетов по ресурсной оценке поврежденных лесных насаждений разработан соответствующий вычислительный алгоритм и специализированное программное приложение на платформе ГИС MapInfo Professional (рис. 1). Для использования информации из поведельной базы данных таксационных описаний лесных насаждений в формате MsAccess созданы соответствующие запросы. Результаты вычислений записываются в базу данных, а также могут экспортироваться в MsExcel для вывода на печать.

Опытно-производственная проверка разработки показала, что отклонения по выходу отдельных категорий деловой древесины по сравнению с результатами разработки лесосек лесхозами могут достигать существенных значений – до 25 %. На это существенное влияние оказывает и точность таксации лесных насаждений при лесоустройстве, и точность используемых моделей, и особенности учета древесины при разработке ветровально-буреломных лесосек.

В результате работы программного комплекса формируются следующие документы: тематические карты поврежденных или вырубленных лесных участков на уровнях лесхоза и лесничеств; ведомости распределения площадей и запасов поврежденных лесных участков по типам повреждений; поквартальные и поведельные ведомости оценки площадей и запасов деловой древесины на поврежденных или вырубленных лесных участках, как по группам пород, так и по древесным породам.

Разработанная технология и программный комплекс используются для целей оперативного картографирования поврежденных лесных насаждений и вырубок, проведения

их ресурсной оценки с целью получения предварительной информации по объемам поврежденной древесины, контроля рубок леса и актуализации цифровых лесных карт.

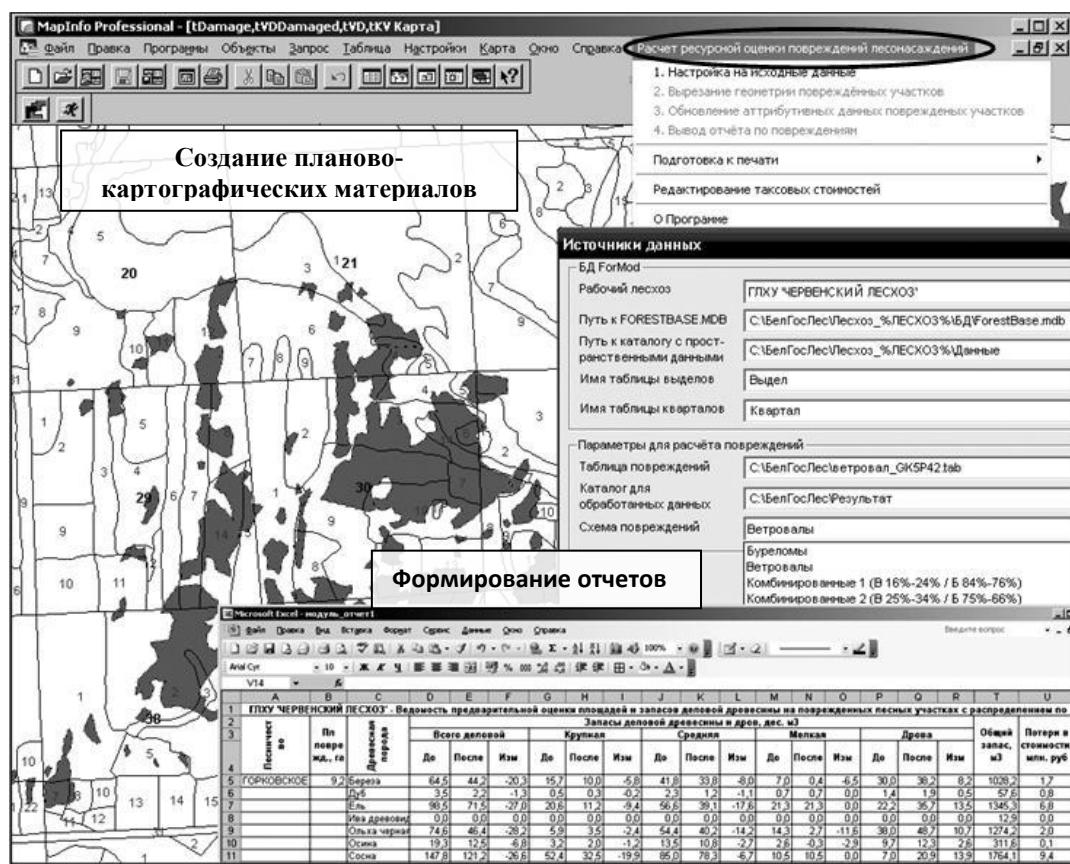


Рис. 1. Программное приложение ресурсной оценки поврежденных лесных насаждений и объектов лесопользования на платформе ГИС MapInfo

ЛИТЕРАТУРА

1. Ильчук М. А., Цай С. С. Предварительная ресурсная оценка поврежденных лесных насаждений на основе данных дистанционного зондирования и ГИС-технологий // Научный журнал «Труды БГТУ». Сер. Лесн. Хоз-во. 2011. № 1 (139). С. 26-29.
2. Кравцов С. Л. Обработка изображений дистанционного зондирования Земли (анализ методов). Минск: ОИПИ НАН Беларуси. 2008. 256 с.
3. Нормативные материалы для таксации лесов Белорусской ССР / под общ. ред. В. Ф. Багинского. М.: ЦБНТИ, 1984. 308 с.
4. Пушкин А. А. Автоматизация тематического дешифрирования земель лесного фонда по материалам космической съемки // Научный журнал «Труды БГТУ». Сер. Лесн. Хоз-во. 2011. № 1 (139). С. 48-52.

RESOURCE ESTIMATE OF DAMAGED FOREST STANDS AND OBJECTS OF FOREST HARVESTING BY REMOTE SENSING DATA AND GIS TECHNOLOGIES

A.A. PUSHKIN¹, M.A. ILYUCHIK²

¹Belarusian State Technological University

²Forest inventory republican unitary enterprise «Belgosles»

One promising direction of monitoring of damaged forest stands and cutting areas is the use of remote sensing data of forest land. In the given work the technology of resource estimate of damaged forest stands and objects of forest harvesting based on integrated use of remote sensing data, forest inventory materials and using geographic information technologies is considered.

МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА ЛЕСНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ ЕВРАЗИИ, ВЫЯВЛЕННАЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АРХИВА СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ GIMMS

И.Ю. САВИН¹, О.В. ХАБАРОВА², М.А. МЕДВЕДЕВА³

¹ Почвенный институт им. В.В. Докучаева Россельхозакадемии

² Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН

³ Институт космических исследований РАН

Анализ архива спутниковых данных GIMMS и метеоинформации позволил выявить особенности многолетней динамичности лесной растительности Евразии. Установлено, что многолетний тренд даты начала сезона вегетации имеет разный знак в различных частях региона. За двадцатилетний период дата начала сезона вегетации, например, местами изменилась на несколько недель. Показана связь динамичности растительности с индексом геомагнитной и солнечной активности.

В основу анализа динамики растительности положено использование временных рядов вегетационного индекса NDVI (архив данных NOAA-AVHRR GIMMS) за период 1982-2006 годы, имеющих временную частоту наблюдений 1 раз в 15 дней и пространственное разрешение 8 км ([http:// gimms.gsfc.nasa.gov/ ndvi/ndvie/ GIMMSdocumentation_NDVIe.pdf](http://gimms.gsfc.nasa.gov/ndvi/ndvie/GIMMSdocumentation_NDVIe.pdf)) и архивы метеорологических данных NCEP/NCAR за аналогичный период, заданные в узлах регулярной сети с пространственным шагом 2.5°x2.5° при временной частоте 1 в 6 часов (Электронный ресурс). Кроме того, для проведения исследований была использована карта наземных экосистем Северной Евразии (Kalnay, 1996).

Для оценки динамики состояния растительности анализировалось много показателей динамичности. Но основное внимание уделено дате начала сезона вегетации и средней скорости прироста фитомассы.

Для оценки динамичности растительности были определены многолетние тренды исследуемых показателей, статистическая значимость которых оценивалась по критерию Стьюдента при условии достоверности 0.9.

Анализ проводился для территории Северной Евразии, включающей территорию бывшего СССР и прилегающих стран.

В результате проведенного анализа были выявлены тренды для 50% ареалов смешанных лесов, степей и тундры. Изменения в остальных типах растительного покрова региона были обнаружены на 20-30% территории их ареалов. На большей части территории выявленные тренды положительные, за исключением таких классов растительности как степи и болота, в которых преобладают отрицательные тренды. В разных регионах наблюдается различная динамика даты начала вегетации. Выделяются 6 участков (рис.1).

В таблицах 1 и 2 приведены статистические данные о значениях трендов. В среднем наблюдаются значения сдвига даты начала сезона вегетации на половину месяца, за исключением юго-западного (24 дня) и юго-восточного (19 дней) участков. Как следует из полученных данных, определяющие тренд изменения произошли во второй половине исследуемого временного интервала (начиная с 1992-1997 годы).

В качестве возможных причин выявленных трендов рассматривались метеорологические параметры, а также флуктуации Солнечной активности (площадь солнечных пятен (ПСП)) и геомагнитная активность. Было установлено, что статистически значимая корреляция между параметрами динамики растительного покрова и ПСП обнаруживается для всех наиболее распространенных на территории исследований классов растительности. Доля территории различных классов растительности, где выявлена статистически значимая корреляция между ПСП хотя бы с одним из проанализированных параметров динамики растительности, показана в таблице 3.

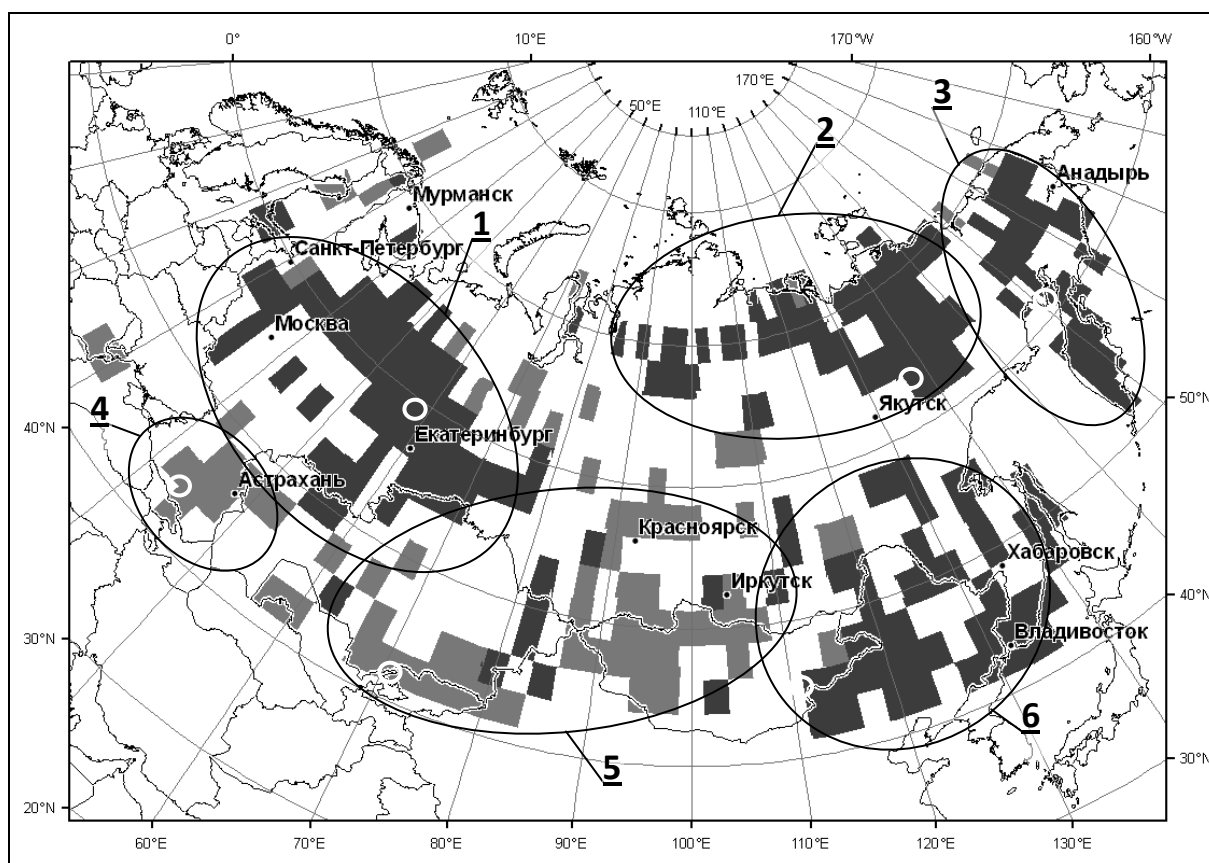


Рис. 1. Направления трендов начала вегетационного сезона (темно-серый – задержка наступления начала вегетации, светло-серый – более раннее начало вегетации)

Таблица 1. Характеристики исследуемых классов растительности Северной Евразии с выявленными изменениями в показателе «Дата начала сезона вегетации»

Класс растительного покрова	Площадь, км ²	Процент от общей площади территории исследований	Процент выявленных трендов от общей площади класса	Соотношение положительных и отрицательных трендов
Хвойные вечнозеленые леса	4785994	10.2	20.1	80:20
Лиственные леса	2627934	5.6	32.0	90:10
Смешанные леса	3066629	6.5	51.9	100:0
Хвойные листопадные леса	8032392	17.1	30.9	76:24
Луга	1367612	2.9	30.8	92:8
Степи	2640487	5.6	49.5	35:65
Болота	2136634	4.6	15.6	14:86
Тундра	8004894	17.1	41.2	90:10
С.х. растительность	3678684	7.8	26.3	46:54

В качестве возможных причин выявленных трендов рассматривались метеорологические параметры, а также флуктуации Солнечной активности (площадь солнечных пятен (ПСП)) и геомагнитная активность. Было установлено, что статистически значимая корреляция между параметрами динамики растительного покрова и ПСП обнаруживается для всех наиболее распространенных на территории исследований классов растительности. Доля территории различных классов растительности, где выявлена

статистически значимая корреляция между ПСП хотя бы с одним из проанализированных параметров динамики растительности, показана в таблице 3.

Таблица 2. Характеристики исследуемых областей с выявленными изменениями в показателе «Дата начала сезона вегетации»

Название и номер участка (см. рис.1)	Минимальное значение тренда, дней за 25 лет	Максимальное значение тренда, дней за 25 лет	Среднее значение тренда, дней за 25 лет	Стандартное отклонение значений тренда, дней за 25 лет	преобладающий класс растительности
1.Северо-Европейский	8,6	30,8	16,1	5,6	Хвойные вечнозелёные леса
2. Якутский	6,0	32,6	14,6	5,3	Растительность тундры
3. Чукотско-Камчатский	5,6	22,1	13,1	4,5	Растительность тундры
4. Южно-Европейский	-36,8	-13,1	-24,4	9,4	Степная растительность
5. Центрально-Азиатский	-28,5	-5,6	-16,5	6,4	Степная растительность
6. Дальневосточный	6,0	49,5	19,1	10,9	Хвойные листопадные леса/ Степная растительность

Таблица 3. Доля территории классов растительности с наличием статистически значимой корреляция между ПСП и параметрами динамики растительности

класс растительного покрова	процент от общей площади класса с наличием корреляции с ПСП
Хвойные вечнозеленые леса	59,6
Лиственные леса	68,0
Смешанные леса	51,9
Хвойные листопадные леса	64,1
Луга	61,5
Сухие степи	71,4
Болота	82,2
Тундра	57,9

Судя по размаху значений коэффициентов корреляции между ПСП и отдельными параметрами динамики наиболее контрастная ситуация наблюдается для ареалов с преобладанием лиственных лесов (от -0.77 до +0.71), а наименее контрастная – для пикселей смешанных лесов (от -0.55 до +0.48). Одновременно, наиболее контрастная ситуация наблюдается для параметра «дата окончания сезона вегетации» (от -0.77 до +0.71), а наименее контрастная – для параметра «продолжительность сезона вегетации» (от -0.59 до +0.53). Таким образом, исследования показали, что многолетние флуктуации солнечной активности могут рассматриваться как фактор динамики растительности во всех природных зонах северной Евразии. При этом каждый класс растительного покрова имеет свою специфику пространственного проявления проанализированных связей.

В рамках анализа факторов динамичности растительности региона было проведено моделирование среднегодовой скорости прироста зеленой биомассы лесов на основе метеорологических данных и Кр-индекса геомагнитной активности. При осреднении данных не по локальной области, а по всему ареалу распространения двух выбранных типов лесов (хвойных вечнозеленых и лиственных), были получены кривые среднегодового изменения NDVI (или отношения NDVI к длине сезона вегетации) с 1982 по 2006.

Эти кривые характеризуют вариации глобального прироста зеленой массы лиственных и вечнозеленых хвойных лесов и потенциально связаны с изменением климата на континентальном уровне. Среднегодовая скорость прироста биомассы может быть смоделирована для обоих типов лесов при введении в рассмотрение таких параметров, как

средняя инсоляция за год, средняя температура вегетационного сезона, сумма осадков за год и планетарный индекс геомагнитной активности Кр (рис.2).

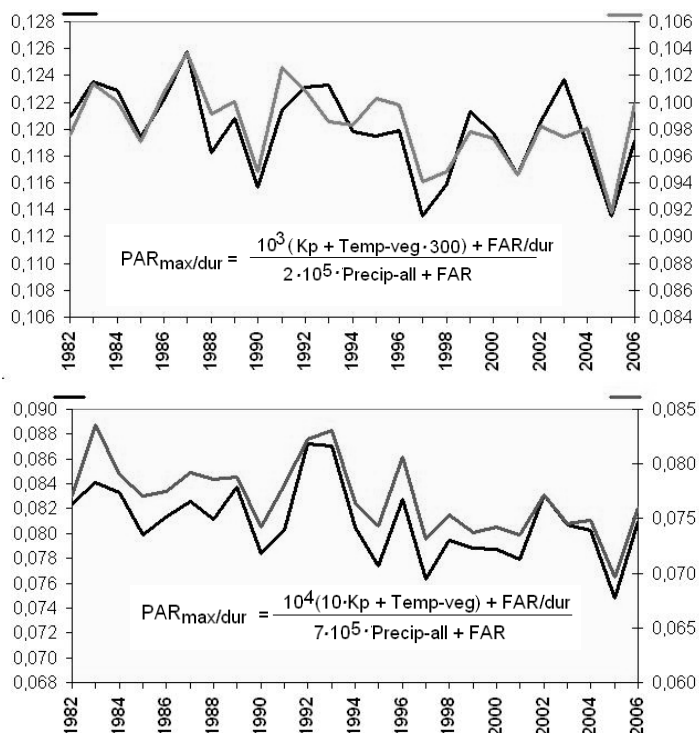


Рис.2. Модель среднегодовой скорости прироста зеленой биомассы для ареалов хвойных вечнозеленых лесов (вверху) и лиственных (внизу). Черная кривая – результаты моделирования.

Воздействие геомагнитной активности на динамичность лесов может быть как опосредованным (например, через изменение глобальной циркуляции атмосферы), так и прямым в связи с тем, что дерево – заземленный объект с движущейся проводящей жидкостью внутри. Полученная формула одинакова для обоих типов лесов с точностью до коэффициентов. Из неё следует, что особенно негативно на росте лесов может сказываться глобальное потепление в сочетании с увеличением осадков (в связи с превышением границ толерантности растительного сообщества).

Таким образом, процессы роста деревьев зависят довольно сложным образом сразу от нескольких воздействующих факторов. И только анализ их сочетания может приблизить нас к пониманию особенностей комплексного воздействия внешней среды на лесные массивы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Kalnay, E., et al. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project // Bull. Am. Meteorol. Soc., 77, 1996, 437-471.
2. Электронный ресурс. Режим доступа: <http://www.cdc.noaa.gov/cdc/reanalysis/>
3. Bartalev, S.A., A.S. Belward, D. V. Erchov, and A. S. Isaev. A new SPOT4-VEGETATION derived land cover map of Northern Eurasia // International Journal of Remote Sensing. 2003. Vol. 24, No. 9, P. 1977 – 1982

LONG-TERM DYNAMICS OF FOREST VEGETATION IN NORTHERN EURASIA DETECTED USING GIMMS ARCHIVE OF SATELLITE DATA

I. SAVIN¹, O. KHABAROVA², M. MEDVEDEVA³

¹ V.V. Dokuchaev Soil Science Institute

² Institute for Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radiowaves Propagation (IZMIRAN)

³ Space Research Institute RAS

Long-term forest dynamics in Northern Eurasia was analyzed based on GIMMS archive of satellite data and meteorological information. Date of the start of the season has different trend sign in different parts of the region. In some places more than 2 weeks changes were detected. The correlation between forest dynamics and global geomagnetic index Kp as well as with Sun spot areas was discussed.

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ИНВЕНТАРИЗАЦИИ ЛЕСОВ

О.Н. СОЛОНЦОВ

ФГУП «Рослесинфорг»

Государственная инвентаризация лесов. Данные дистанционного зондирования земли. Зарубежные космические аппараты.

На сегодняшний день существует огромное количество систем космического и воздушного базирования, осуществляющих съемку земной поверхности в самых разнообразных целях. На наш взгляд, космическая съемка представляется приоритетным способом дистанционного зондирования Земли как в рамках системы лесоучетных работ, так и при проведении мероприятий государственной инвентаризации лесов, а применение современной аэросъемки должно обеспечить детальный мониторинг целевых объектов.

В рамках НИОКР «Исследование возможности применения материалов дистанционного зондирования при государственной инвентаризации лесов» был выполнен сравнительный анализ и обоснование выбора оптимальных видов материалов дистанционного зондирования, а также методов их автоматизированного дешифрирования для целей государственной инвентаризации лесов России

Большое количество космических съемочных систем, данные которых представлены на международном рынке кроме преимуществ, создает и проблемы. Особенно трудно разобраться в этом объеме вновь поступающей информации на фоне существенных различий космических снимков по пространственному, радиометрическому, спектральному и временному разрешению, качественным и точностным характеристикам, как в отношении их геометрических свойств (определяющих возможность геопозиционирования), так и в отношении дешифровочных характеристик (возможность выявления целевых объектов и явлений). Поэтому существует необходимость в рамках каждой сложной тематической задачи, какой и является государственная инвентаризация лесов, определить типы данных удовлетворяющих именно ее решению. Это позволит избежать излишней избыточности в получении разнородных материалов, даст возможность использовать информацию, заключенную в снимках с максимальной полнотой и гарантировать уверенное решение всех поставленных задач с заданной точностью.

Для оценки возможности применения различных материалов дистанционного зондирования Земли, был произведен отбор, заказ, обработка и выполнен сравнительный анализ различных видов ДДЗ, покрывающих модельный полигон – территорию Жуковского лесничества Калужской области (табл. 1). На тестовый полигон было получено 23 космических снимка различных спутниковых систем и проведены полевые работы для оценки точности геопозиционирования снимков, сбора эталонной информации о параметрах леса, а также верификации уже полученных результатов автоматизированного дешифрирования. Кроме того, было изучено состояние вопроса по данным литературных и сетевых источников, а также использованы наработки ФГУП «Рослесинфорг» в этой области.

Снимки оптических систем сверхвысокого разрешения – IKONOS QuickBird, WorldView-1. На сегодняшний день в коммерческом доступе находится 7 съемочных систем сверхвысокого разрешения. Кроме перечисленных, это российский аппарат Ресурс-ДК, индийский – Cartosat-2, южнокорейский KOMPSAT-2, израильский EROS-B. На модельном полигоне опробовано как минимум 40% коммерчески доступных данных аппаратов этого класса. Учитывая тот факт, что снимки с отечественного спутника Ресурс-ДК на территорию Российской Федерации распространяются только в заглубленном виде (2 метра), и имеют

ряд проблем (геометрическое и радиометрическое качество, несовмещение мультиспектральных каналов, проблематичный заказ и относительно высокая цена), а также слабое коммерческое распространение данных KOMPSAT-2 (высокая цена, проблемы с качеством) и Cartosat-2 (только панхроматический канал), можно говорить о достаточно широком охвате рынка данных сверхвысокого разрешения в рамках данной работы.

Таблица 1. Набор космических снимков, использованных для анализа на территории тестового полигона

Спутник/ Сенсор	Тип сенсора	Пространственное разрешение (м)	Количество снимков, (шт.)	Покрытие территории (кв. ²)	Дата съемки	Облачность (%)
Оптические системы сверхвысокого разрешения						
IKONOS	Панхроматический + Мультиспектральный	1 4	1	58	20 августа 2004 г.	0
QuickBird	Панхроматический + Мультиспектральный	0,6 2,4	1	32	14 сентября 2006 г.	0
WorldView-1	Панхроматический	0,5	2	175 288	10 июня 2008 г. 13 августа 2008 г.	3 7
Оптические системы высокого разрешения						
IRS P6	Панхроматический	5,8	2	800	11 июля 2006 г.	2
ALOS/PRISM	Панхроматический	2,5	1	550	24 апреля 2008 г.	0
IRS 1D	Панхроматический	5,8	1	16	31 мая 2008 г.	0
Оптические системы среднего разрешения						
Landsat-7	Панхроматический + Мультиспектральный	15 28,5	7	800	23 сентября 1989 г. 6 октября 1999 г. 22 сентября 2000 г. 4 мая 2001 г. 30 мая 2002 г. 26 августа 2005 г. 23 сентября 2006 г.	
SPOT 2,4	Панхроматический	10	3	800	25 мая 2007 г. 7 июня 2007 г. 23 июля 2008 г.	0
ALOS/AVNIR-2	Мультиспектральный	10	1	800	8 июля 2008 г.	1 5
Радиолокационные системы высокого разрешения						
ALOS/PALSAR	FBS HH FBD HH + HV	6,25 12,5	2 2	800	25 июня 2007 г. 10 декабря 2007 г. 11 февраля 2008 г. 28 июня 2008 г.	- - - -

Спутники IKONOS и QuickBird зарекомендовали себя, как наиболее стабильные, коммерчески доступные и качественные по радиометрическим, геометрическим свойствам аппараты. Кроме того, снимки со спутников QuickBird и WORLDVIEW-1 обладают наивысшим пространственным разрешением среди всех (0,6 и 0,5 метра соответственно). Единственный недостаток снимков WorldView-1 – отсутствие мультиспектральной информации.

В сентябре 2008 года был запущен спутник GeoEye-1 с пространственным разрешением панхроматической камеры - 40 см и мультиспектрального сенсора - 1,7 метра.

Снимки оптических систем высокого разрешения –ALOS PRISM, IRS 1-D, IRS P6 (ResourceSat-1). Последнее десятилетие в развитии дистанционного зондирования Земли отмечено появлением ряда съемочных систем с пространственным разрешением хуже 1 метра и лучше 6 метров. К уже существовавшим системам IRS-1C/D, SPOT-5, EROS-A добавились превосходящие их по многим параметрам спутники ALOS (сенсор PRISM), Formosat-2, Cartosat-1, Resourcesat-1 (IRS-P6).

Снимки с данных систем в большинстве своем обладают значительно меньшей стоимостью, чем съемка сверхвысокого разрешения, большим пространственным захватом и в то же время позволяют решать многие задачи информационного обеспечения лесного хозяйства. Кроме того, некоторые из них располагают возможностью осуществления стереосъемки.

В сравнительном анализе приняли участие также свыше 40% видов этих оптических систем, причем 2 из 3 относятся к современному поколению. Кроме того, ФГУП Рослесинфорг имеет опыт применения снимков со спутника Formosat-2 для решения различных тематических задач в области лесного хозяйства.

В августе 2008 года было выведено на орбиту созвездие из 5 малых спутников RapidEye-1, оснащенных мультиспектральными сенсорами с разрешением 5 метров. Эта группировка обладает беспрецедентной производительностью, что сделало ее перспективной именно для информационного обеспечения государственной инвентаризации лесов.

Снимки оптических систем среднего разрешения – ALOS/AVNIR, SPOT 2-5, LANDSAT-7/ETM+, LANDSAT-5/TM. Кроме вышеперечисленных, функционируют еще 4 космические съемочные системы среднего разрешения (природно-ресурсные спутники) – IRS-1C/D, IRS-P6 – сенсор LISS-3, TERRA - сенсор ASTER, FORMOSAT-2 (в мультиспектральном режиме). Системы серьезно различаются по условиям выполнения съемки, производительности, качеству получаемых изображений, возможностям их автоматизированного дешифрирования. При этом в ряду снимков, отобранных для выполнения НИОКР, присутствуют данные с лидирующих аппаратов, но даже в случае рассмотрения всех систем – в рамках модельного полигона охвачено около половины всех имеющихся на сегодняшний день данных этого типа. Следует отметить, что существует некоторый дефицит данных оптических систем среднего разрешения, который сейчас восполняется за счет площадной съемки сенсором AVNIR-2 аппарата ALOS и возможности оперативного заказа снимков с аппарата Formosat-2 со временем выполнения 1 сутки.

Радиолокационная система высокого разрешения – ALOS PALSAR. На сегодняшний день существует еще 3 радиолокационные системы с более низким разрешением – RADARSAT-1, ENVISAT-1, ERS 1,2. Опыт реализации нескольких проектов (в частности по мониторингу лесопользования Тугулымского лесничества Свердловской области и Ханты-Мансийского района ХМАО - Югры) показывает, что низкое пространственное разрешение снимков ENVISAT-1, ERS 1,2, а также отсутствие перекрестной поляризации у аппаратов RADARSAT-1, ERS 1,2 не позволяет получать хорошие результаты в лесохозяйственных приложениях.

Именно высокое пространственное разрешение снимков ALOS PALSAR (до 6,25 метра) и наличие нескольких поляризаций сигнала дает возможность использовать эти данные при государственной инвентаризации лесов.

В 2007 году было выведено на орбиту 3 радиолокационных аппарата сверхвысокого разрешения – TerraSar-X (до 1 м), Cosmo-SkyMed-1 (до 1 м) и RADARSAT-2 (до 3 м). Данные, получаемые с этих аппаратов, очень перспективны для использования при государственной инвентаризации лесов.

При выполнении НИОКР сезонность и периодичность съемки была подобрана таким образом, чтобы обеспечить дублирование во времени снимков одних систем (например, оптических сверхвысокого разрешения) другими (например, оптическими высокого и

среднего разрешения или радиолокационными данными) для получения наиболее объективных результатов сравнительного анализа снимков и определения возможности их автоматизированного дешифрирования.

Сравнительный анализ космических снимков различных типов показывает, что:

1. Космические снимки сверхвысокого разрешения в полной мере применимы для определения таксационных показателей лесных насаждений, как с использованием традиционных методов визуального дешифрирования, так и с применением современных методов объектно-ориентированного, яркостно-текстурного дешифрирования, алгоритмов нейросетевого анализа, а также автоматических стереоизмерений. Среди снимков сверхвысокого разрешения наиболее востребованы снимки с аппаратов WorldView-1, WorldView-2, GeoEye-1 и QuickBird, большие перспективы связаны с аппаратом GeoEye – 2 который планируется запустить к 2014 году.
2. Космические снимки высокого разрешения представляют собой базовую информацию для всех видов лесного картографирования, инвентаризации, контроля лесопользования, выявления резких изменений в лесном фонде. Среди материалов ДЗЗ высокого разрешения выделяются сенсоры:
 - a. ALOS/PRISM – большое покрытие территории России за последние 5-7 лет, низкая цена, большая площадь сцены, высокое разрешение, позволяющее выполнять текстурный анализ, наличие стереосъемки, беспрецедентные возможности геопозиционирования фотограмметрическими способами только по орбитальной информации.
 - b. Formosat-2 – ежедневная съемка любой территории России, оперативное получение результатов съемки, высокое разрешение.
 - c. Cartosat-1 – высокое разрешение, наличие стереосъемки.
 - d. Панхроматический сенсор SPOT-5 – большая площадь сцены, высокое разрешение, наличие стереосъемки
 - e. Большой интерес представляет спутниковая группировка RapidEye – потенциально огромная производительность и оперативность, мультиспектральная съемка высокого разрешения.
3. Космические снимки среднего разрешения за счет мультиспектральной информации являются одними из главных источников для картографирования преобладающей породы и породного состава лесов, позволяют выявлять медленные естественные и антропогенно-спровоцированные изменения в лесных массивах. Кроме этого, по ним, так же как и по всем другим видам космоснимков, можно вести контроль лесохозяйственной деятельности, выявлять резкие изменения в лесах. Главное преимущество – низкая стоимость и большое покрытие территории.
 - a. Большой интерес представляют космические материалы с сенсора AVNIR-2, установленного на аппарате ALOS – огромная площадь покрытия России за последние 5-7 лет, достаточное разрешение – 10 метров, высокое качество изображения, но после известных событий в Японии в марте 2012 года получение космической съемки затруднено.
 - b. Другую функцию выполняет мультиспектральный сенсор на борту Formosat-2 - ежедневная съемка любой территории России, оперативное получение результатов съемки, высокое разрешение (8 метров).
4. Современные радиолокационные данные (несколько поляризаций, высокое разрешение) уже сейчас могут предоставлять информацию о покрытых лесом площадях, резких изменениях в лесах, лесопользовании, особенно для территорий с постоянно повышенной облачностью, осуществлять съемку в гарантированную дату, в зимнее время. В будущем, с уже произошедшим улучшением пространственного разрешения радарных снимков (запуск аппаратов TerraSar X, Radarsat-2, CosmoSkyMed) и развитием технологий их обработки, есть перспективы значительного расширения применений радиолокации для целей государственной инвентаризации лесов.

По своим техническим характеристикам, современные сканерные снимки могут быть пригодны для создания карт масштабов 1:5000 и мельче. При этом точность создания ортотрансформированных изображений, являющихся базовым измерительным материалом при картографировании, может достигать 1 м.

Для создания цифровых ортофотопланов на российском рынке представлено достаточное количество программных разработок, которые обеспечивают обработку снимков различного типа, получаемых как в процессе воздушной, так и космической съемок. Количество съемочных систем в каждом сегменте пространственного разрешения достаточно велико, причем все они имеют свои специфические конструктивные особенности. Разработка строгих математических моделей для каждой съемочной системы с учетом их конструктивных особенностей и вида съемки позволяет добиться максимальной точности обработки снимков. Однако реализация этих моделей требует использования достаточного сложного и объемного программного обеспечения, а также соблюдения трудоемкой технологии работ, практически уникальной для каждой съемочной системы. Кроме того, эффективное использование этих моделей достигается в случае наличия большого количества специфической информации (о параметрах и типе съемочного устройства, об условиях съемки и т. д.), которая в силу ряда причин не всегда известна в полном объеме.

Большинство современных оптико-электронных космических систем дистанционного зондирования высокого и сверхвысокого разрешения (SPOT, IRS, ALOS, IKONOS, QuickBird, WorldView-1 и др.) формируют изображение построчно, при этом, каждая строка снимка имеет собственные элементы внешнего ориентирования, а геометрические соотношения между положением точек на местности и их изображениями на снимке не подчиняются законам центральной проекции. Это требует применения специальных методов фотограмметрической обработки таких снимков.

Наиболее строгим подходом к фотограмметрической обработке сканерных снимков является моделирование процесса съёмки, в результате которого восстанавливается пространственное положение совокупности лучей, сформировавших снимок. Этот метод подразумевает определение траектории носителя, ориентации сенсора (аналог угловых элементов внешнего ориентирования), а также использование аналога элементов внутреннего ориентирования - геометрической модели сенсора. Строгий метод обработки применим к снимкам SPOT, QuickBird и WorldView-1 (продукты уровня Basic).

Иногда применение строгого подхода невозможно. Геометрическая модель сенсора и результаты его калибровки могут быть недоступны. Решением проблемы, в настоящий момент, является применение метода рациональной функции (1), использующего отношение двух полиномов третьей степени (2), для определения координат (r' , c') точки на снимке.

$$\begin{aligned} r' &= f(X', Y', Z') = a(X', Y', Z')/b(X', Y', Z') \\ c' &= g(X', Y', Z') = c(X', Y', Z')/d(X', Y', Z') \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} a(X, Y, Z) &= a_0 + a_1X + a_2Y + a_3Z + a_4XY + a_5XZ + a_6YZ + a_7X^2 + a_8Y^2 + a_9Z^2 + a_{10}XYZ + a_{11}X^3 \\ &+ a_{12}XY^2 + a_{13}XZ^2 + a_{14}X^2Y + a_{15}Y^3 + a_{16}XZ^2 + a_{17}X^2Z + a_{18}Y^2Z + a_{19}Z^3 \end{aligned} \quad (2)$$

Коэффициенты полинома (2) называют коэффициентами рациональной функции (RPC – Rational Polynomial Coefficientes). Компании GeoEye, DigitalGlobe и JAXA рассчитывают и поставляют коэффициенты для определенных типов продукции.

Опыт реализованных проектов с использованием RPC-коэффициентов как самой распространенной методики, заложенной в коммерчески доступном программном обеспечении обработки снимков ALOS, IKONOS, QuickBird и WorldView-1 показывает, что сопровождающие снимок RPC-коэффициенты корректно аппроксимируют модель снимка по всему полю и позволяют достичь точности ортотрансформирования не грубее двух пикселей изображения с минимальным количеством опорных точек.

При невозможности использования строгого метода и отсутствии RPC-коэффициентов, применяются модель DLT и её модификации, аффинная модель, полиномиальные модели и другие методы, основанные на самых общих предположениях о геометрии съёмки. Показатели точности выходных продуктов, получаемых методами этой группы, в большинстве случаев ниже, чем при применении строгого подхода или RPC-коэффициентов.

Использование каких-либо единых математических моделей для всех типов съёмочных систем и видов съёмки (как правило, используются полиномы различных степеней) не позволяет обеспечить необходимую точность обработки космических снимков.

Для достижения максимально возможной точности ортотрансформирования космических снимков необходимо использовать не только модель снимка определенного типа в совокупности с необходимым уровнем обработки, но и опорную информацию в виде координат наземных опорных точек, уверенно отождествляемых на снимке, а также информацию о рельефе местности (табл. 2).

Таблица 2. Точность ортотрансформирования материалов космической съёмки с использованием наземных опорных точек и информации о рельефе местности

Спутник/ Сенсор	Тип сенсора	Пространственное разрешение (м)	Уровень обработки /Продукт	Формат данных	Метод обработки	Точность (м)	Поддержка в ENVI
Оптические системы сверхвысокого разрешения							
IKONOS	Панхроматический + Мультиспектральный	1 4	Geo OrthoKit	GeoTiff	RPC	2 8	v
QuickBird	Панхроматический + Мультиспектральный	0,6 2,4	Standard OrthoReady	GeoTiff	RPC	1 4	v
WorldView-1	Панхроматический	0,5	Standard OrthoReady	GeoTiff	RPC	1	v
Оптические системы высокого разрешения							
IRS P6	Панхроматический	5,8	Level0,Level1/Super Structure, Fast	Raw, Tiff, HDF	DLT	20	v
ALOS/PRISM	Панхроматический	2,5	1B1	Raw	RPC	5	v
IRS 1D	Панхроматический	5,8	Level0,Level1/Super Structure, Fast	Raw, Tiff, HDF	DLT	20	v
Оптические системы среднего разрешения							
Landsat-7	Панхроматический + Мультиспектральный	15 28,5	1G/ PathOriented	Tiff, Fast	DLT	50	v
SPOT 2,4	Панхроматический	10	Level1A/DIMAP	Tiff	Строгий	20	v
ALOS/AVNIR-2	Мультиспектральный	10	1B2 R	Raw	DLT	20	v
Радиолокационные системы высокого разрешения							
ALOS/PALSAR	FBS HH FBD HH + HV	6,25 12,5	1.1 /SLC	-	SAR	15 20	v

В рамках исследовательской работы создание ортотрансформированных изображений выполнялось в программном комплексе ENVI 4.4.

Что касается точности и количества опорных точек, то, как правило, точность их местоопределения должна быть не хуже пространственного разрешения самого снимка, а их количество зависит от применяемого метода обработки. К примеру, для обработки снимков SPOT, используя строгий метод, достаточно всего четырех опорных точек на сцену размером 60х60 км. Обработка материалов космических съемок сверхвысокого пространственного разрешения, таких как IKONOS, WorldView-1 и QuickBird по методу RPC потребует минимум 1 точку. Аналогичный подход и к обработке снимков ALOS PRISM. Достаточно большое количество опорных точек в количестве от 8 до 12 штук потребуется для обработки снимков IRS.

Информация о рельефе местности в процессе фотограмметрической обработки используется для устранения искажений, значения которых могут достигать сотен метров в зависимости от угла наклона съемочной системы в момент съемки. Источником информации о рельефе местности могут служить топографические карты.

В рамках данной работы было принято решение использовать для ортотрансформирования информацию об орбитальной привязке космических снимков, содержащейся в метаданных и сопровождающих некоторые снимки RPC-коэффициентах. В качестве информации о рельефе местности была использована цифровая модель местности, полученная в рамках мировой программы SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), которая доступна на территорию Российской Федерации, ограниченную 60-й параллелью. Цифровая модель местности SRTM имеет точность в плане порядка 16м и 10 м по высоте при шаге на местности 3 угловые секунды (60-90м) (табл. 3).

Таблица 3. Точность ортотрансформирования материалов космической съемки с использованием орбитальной информации и модели местности SRTM

Спутник/ Сенсор	Тип сенсора	Пространственное разрешение (м)	Уровень обработки/ Продукт	Источник информации об орбитальной привязке	Метод обработки	СКО (м)
IKONOS	Панхроматический + Мультиспектральный	1 4	Geo OrthoKit	*rpc.txt	RPC	11
QuickBird	Панхроматический + Мультиспектральный	0,6 2,4	Standard OrthoReady	*.rpb	RPC	15
WorldView-1	Панхроматический	0,5	Standard OrthoReady	*.rpb	RPC	5
IRS P6	Панхроматический	5,8	Scanex	*.xml	DLT	>150 0
ALOS/PRISM	Панхроматический	2,5	1B1	*rpc*	RPC	10
IRS 1D	Панхроматический	5,8	Scanex	HDF	DLT	>150 0
Landsat-7	Панхроматический + Мультиспектральный	15 28,5	1G/ PathOriented	*.txt	DLT	50
SPOT 2,4	Панхроматический	10	Level1A/DI MAP	*.dim	Строгий	100
ALOS/AVNIR-2	Мультиспектральный	10	1B2 R	summary.txt	DLT	60
ALOS/PALSAR	FBS HH FBD HH + HV	6,25 12,5	1.1 /SLC	-	SAR	40

Оценка точности полученных без использования опорных точек ортотрансформированных изображений выполнялась методом полевого контроля на тестовом полигоне путем сравнения контуров дорог на изображении с GPS-треком, сформированным

во время движения спутниковым приемником Garmin 60Сх с абсолютной точностью 5м (табл. 4).

Таблица 4. Результаты оценки точности ортотрансформирования без опорных точек

Спутник/Сенсор	Среднее расхождение с GPS-треком (м)
IKONOS	11
QuickBird	9
WorldView-1	5
ALOS/PRISM	7
IRS 1D	2500
IRS P6	2500
SPOT 2,4	82
ALOS/AVNIR-2	50
Landsat-7	40
ALOS/PALSAR	30

Анализ полученных ортотрансформированных изображений показал, что точность ортотрансформирования снимков ALOS PRISM соизмерима с точностью ортотрансформирования снимков сверхвысокого разрешения IKONOS, WorldView-1, QuickBird и соответствует точности масштаба 1:25 000. Такой результат объясняется, прежде всего, тем, что точность орбитальных параметров в виде RPC-коэффициентов снимка ALOS PRISM соответствует заявленным поставщиком данным.

Принимая во внимание такие характеристики, как покрытие территории Российской Федерации снимками ALOS PRISM (за 2006-2008 г.г. составляет 80%), пространственное разрешение, размер сцены и стоимость одного квадратного километра, целесообразным является использование ортотрансформированных изображений ALOS PRISM как базового материала для привязки всех остальных космических снимков, используя их в качестве источника опорных точек, плановые координаты которых снимаются непосредственно с ортотрансформированного изображения, а высоты с цифровой модели местности.

Преимущества такого подхода очевидны, т.к. выполнить поиск одинаковых контуров на измеряемом и опорном снимках, значительно проще и быстрее, чем при классических наземных измерениях с использованием абрисов или при «скалывании» точек с карты.

В ходе исследовательской работы было выполнено ориентирование снимков, имеющих низкую точность орбитальной привязки. Результаты анализа точности ортотрансформирования космических снимков с использованием опорных точек, снятых с ортотрансформированных изображений ALOS PRISM, приведены в таблице 5.

Таблица 5. Результаты оценки точности ортотрансформирования с использованием опорных точек снятых с ортотрансформированных изображений ALOS PRISM

Спутник/Сенсор	Среднее расхождение с GPS-треком (м)	Соответствие масштабу
IRS 1D	20	1:50 000
IRS P6	20	1:50 000
SPOT 2,4	25	1:50 000
ALOS/AVNIR-2	25	1:50 000
Landsat-7	30	1:50 000
ALOS/PALSAR	20	1:50 000

Ортотрансформированные снимки ALOS PRISM могут быть использованы не только для достижения высокой точности ортотрансформирования большинства материалов космических съемок высокого и среднего пространственного разрешения, но и служить

основой для приведения любых лесоустроительных планово-картографических материалов к единой геометрии.

ANALYSIS OF POSSIBILITIES OF APPLICATION OF EARTH REMOTE SENSING MATERIALS FOR SOLVING TASKS OF THE STATE FOREST INVENTORY

O.N. SOLONCOV

FSUE «ROSLESINFORG»

State forest inventory. Data of remote sensing of the earth. Foreign spacecraft.

ЧИСТАЯ ПЕРВИЧНАЯ ПРОДУКЦИЯ ДРЕВЕСНЫХ ПОРОД: ОЦЕНКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДЕЛИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ФИТОМАССЫ ПО ФРАКЦИЯМ ДЕРЕВА

В.Г. СУХОВОЛЬСКИЙ¹, Ю.Д. ИВАНОВА²

¹Институт леса им. В.Н.Сукачева СО РАН

²Институт биофизики СО РАН

В настоящей работе рассмотрена задача разработки методов оценки NPP древесных пород по данным наземных измерений, которые бы более надежными по сравнению с существующими и могли бы использоваться для калибровки данных дистанционного зондирования.

Первичная продуктивность (NPP) является одним из ключевых параметров, характеризующих процессы, происходящие в лесных насаждениях. Знание NPP дает возможность прогнозировать динамику роста насаждений, давать долгосрочные оценки запаса древесины в насаждении в зависимости от лесорастительных условий. Наиболее распространенными способами оценки NPP лесных насаждений являются:

- оценка с использованием наземных данных по приросту, опад и отпаду фитомассы фракций насаждения;
- оценка по запасам древесины в насаждении;
- оценка по данным спутниковых измерений спектра отражения лесных массивов с калибровкой сигнала по данным наземных измерений NPP.

Однако сложность с прямыми измерениями фитомасс фракций деревьев (особенно фракции корней) и ненадежность оценок конверсионных коэффициентов, используемых для пересчета запасов древесины в фитомассу, затрудняют расчеты первичной продуктивности. Оценки NPP, выполненные с использованием этих подходов, могут достаточно сильно варьировать (Shvidenko et al. 2009; Усольцев 2001, 2010; Замолотчиков, Уткин, 2000; Швиденко и др., 2001).

В настоящей работе рассмотрена задача разработки методов оценки NPP по данным наземных измерений, которые бы более надежными по сравнению с существующими методами оценки и могли бы использоваться для калибровки данных дистанционного зондирования.

Если известны данные о фитомассах всех фракций деревьев в насаждении в возрастах T и $T+\Delta T$ то для оценки $NPP(T, T+\Delta T)$ насаждения в возрастном интервале от T до $T+\Delta T$ можно использовать следующее выражение (Исаев и др., 2007; Суховольский 1997, 2004):

$$NPP(T, T + \Delta T) = \frac{MQ(T + \Delta T) - MQ(T)}{\Delta T} + \frac{1}{2\theta} [ML(T) + ML(T + \Delta T)] \quad (1)$$

где ΔT – возрастной интервал между двумя смежными учетами динамики фитомассы; $ML(T)$ – фитомасса листьев (хвои); $MS(T)$ – фитомасса ствола с корой, $MR(T)$ – фитомасса корней;

$MB(T)$ - фитомасса ветвей; $MQ(T) = MS(T) + MB(T) + MR(T)$; θ – характерное время жизни листьев или хвои. На рисунке 1 приведена типичная кривая возрастной динамики NPP, вычисленная с использованием (1).



Как видно из рисунка 1, на начальных этапах роста насаждения величина NPP растет, в определенном возрасте достигает максимума, а затем уменьшается до некоторого асимптотического значения, характерного для климаксовых ценозов. Кривую $NPP(T)$ можно охарактеризовать с помощью четырех параметров: максимального NPP_{max} и асимптотического NPP_{∞} значений чистой первичной продуктивности, возрастов T_{max} и T_{∞} достижения максимального и асимптотического значений NPP.

Если известны данные о фитомассах только надземных фракций деревьев в насаждении в возрастах T и $T+\Delta T$, то возможно оценить фитомассу фракции корней по данным о фитомассах надземных фракций, а затем провести расчеты NPP по формуле (1).

Для расчета неизвестной фитомассы корней нами предлагается использовать теоретическое уравнение, описывающее распределение фитомассы между фракциями дерева (ствола с корой, корней, ветвей, листьев (хвои)):

$$M(i) = M(1) \cdot i^{-b} \quad (2)$$

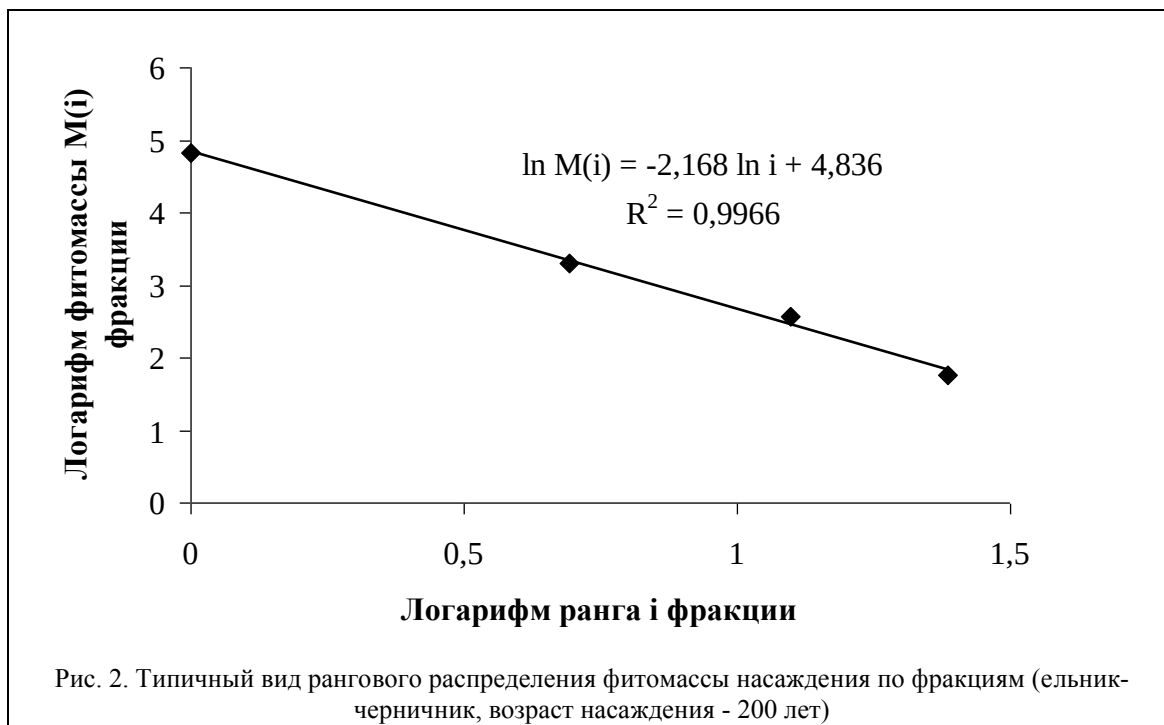
где i - ранг фракции (то есть его номер в ряде, начинающемся с фракции ранга 1, сосредоточившего наибольший объем ресурса); $M(i)$ – объем ресурса у i -ой фракции; b – параметр, характеризующая соотношение распределяемого ресурса. На рисунке 2 приведено типичное ранговое распределение фитомасс фракций насаждения.

Если известны величины фитомасс надземных фракций насаждения, то параметры уравнения (2) можно оценить, зная ранги и фитомассы надземных фракций. Затем по (2) вычисляется фитомасса корней и далее производится расчет NPP по уравнению (1).

Если известны только величины запаса стволовой древесины в насаждении, то в этом случае для расчета NPP предлагается использовать уравнение (2). Из (2) можно получить значения фитомасс всех фракций насаждения в возрасте T при условии, что известны значения фитомасса $M(1)$ первой по рангу фракции и функция $b(T)$. Для описания функции $b(T)$ было использовано следующее нелинейное уравнение:

$$b(T) = b_m \frac{T^2}{B^2 + T^2} \quad (3)$$

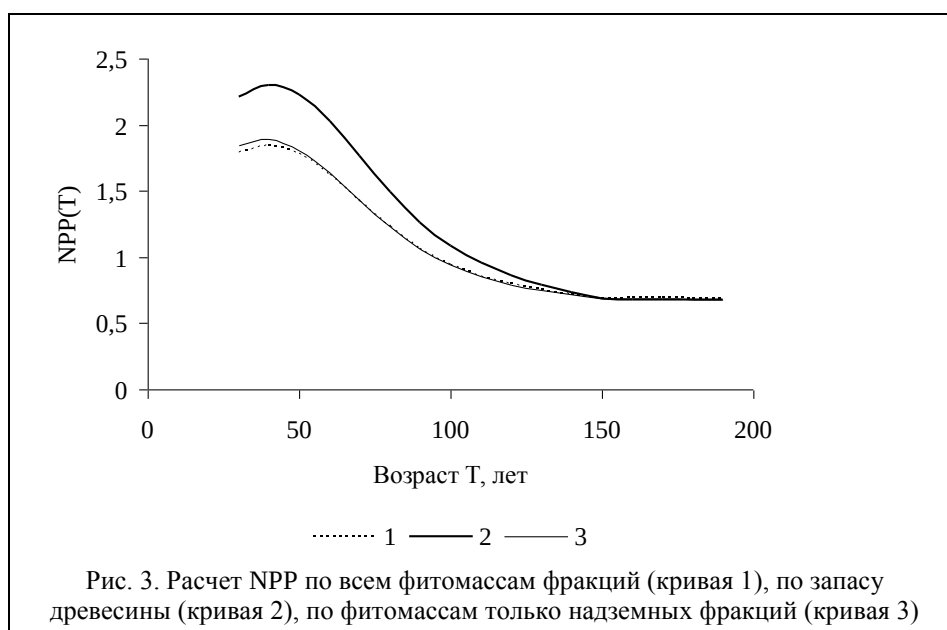
где b_m – максимальное значение $b(T)$; B – возраст насаждения, в котором $b(B) = b_m/2$.



Тогда расчет NPP выполняется в следующей последовательности:

- по величинам запасов древесины $V(T)$ и $V(T+\Delta T)$ с использованием пересчетного коэффициента m_v вычисляются фитомассы $MS(T)$ и $MS(T+\Delta T)$ стволовой древесины насаждения в возрастах T и $T+\Delta T$;
- по уравнению (3) вычисляются значения функций $b(T)$ и $b(T+\Delta T)$;
- по уравнению (2) вычисляются фитомассы корней, ветвей и листьев (хвои) в возрастах T и $T+\Delta T$;
- используя уравнение (1), вычисляется возрастная динамика NPP.

На рисунке 3 приведены кривые $NPP(T)$ для одного и того же насаждения (ельник сфагновый), полученные при использовании различных методов расчетов.



Для объяснения характера кривой возрастной динамики NPP древесных насаждений (рис.1) в работе рассмотрена модель роста фитомассы насаждения – аналог экономической модели Р.Солоу, описывающей работу производственной системы.

Предлагаемые в настоящей работе подходы позволяют уменьшить объем первичных данных, необходимых для расчетов первичной продуктивности, увеличить точность расчетов NPP, провести надежную калибровку оценки NPP с использованием дистанционных данных.

Заметим, что за широко используемым регрессионным подходом к оценкам первичной продуктивности не стоит каких-либо серьезных теоретических представлений о процессах роста древесных растений, тогда как использованные в настоящей работе модели основаны на теоретических представлениях об оптимальности процессов роста растений.

Авторы посвящают эту работу памяти Г.Н.Коровина, передавшего нам данные о фитомассах фракций насаждений на территории Вологодской области, которые были использованы при расчетах. Работа поддержана грантами РФФИ №№ 12-05-00494 и 10-04-00256.

ЛИТЕРАТУРА

1. Замолотчиков Д.Г., Уткин А.И. Система конверсионных отношений для расчета чистой первичной продукции лесных экосистем по запасам насаждений // Лесоведение. 2000. № 6. С. 54—63.
2. Исаев А.С., Овчинникова Т. М., Суховольский В.Г. Распределение фитомассы деревьев и насаждений по фракциям: модель конкуренции // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. СПб: Гидрометеоиздат. 2007. т.21. С. 232 – 250.
3. Суховольский В.Г. Свободная конкуренция фракций дерева за ресурсы и аллометрические соотношения // Журнал общей биологии. 1997. № 5. С. 80-88.
4. Суховольский В.Г. Экономика живого. Новосибирск: Наука. 2004. 136 с.
5. Усольцев В.А. Фитомасса и первичная продукция лесов Евразии. Екатеринбург: УрО РАН. 2010. 570 с.
6. Усольцев В.А. Фитомасса лесов Северной Евразии: база данных и география. Екатеринбург: УрО РАН. 2001. 328 с..
7. Швиденко А.З. Нильсон С. Столбовой В.С. и др. Опыт агрегированной оценки основных показателей биопродукционного процесса и углеродного бюджета наземных экосистем России // Экология. 2001. №2. С. 83-90.
8. Shvidenko A., Schepschenko D., Nilsson S., and Bouloui Y. Semi-empirical models for as sessing biological productivity of Northern Eurasian forests // Ecological Modelling. 2007. Vol. 204. № 1–2. P. 163–179.

NETT PRIMARY PRODUCTION OF TREE SPECIES: ESTIMATION USING A MODEL OF PHYTOMASS FRATION DISTRIBUTION

V.G. SOUKHOVOLSKY¹, YU.D. IVANOVA²

¹**V.N.Sukachev Institute of Forest SB RAS**

²**Institute of biophysics, SB RAS**

The method proposed for estimation of NPP tree stands using data of terrestrial measurements. It's shows that this method is more reliable then standard methods of NPP estimation. A new method will be used for calibration of remote sensing methods of NPP measurements.

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ОТНОШЕНИЙ В ИНФОРМАЦИОННОМ ПРОСТРАНСТВЕ ЛЕСНОГО КОМПЛЕКСА В СВЯЗИ С СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕМ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ

Д.В. ТРУБИН¹, Л.В. АБРАМОВА²

¹САФУ имени М.В.Ломоносова Центр исследования лесов Института математики, информационных и космических технологий

²САФУ имени М.В.Ломоносова Институт математики, информационных и космических технологий

Проведено исследование состояния информационного обеспечения в лесном секторе на примере Архангельской области. Выявлены тенденции снижения его качества при государственном и хозяйственном лесоуправлении. Разработаны направления модернизации информационной базы лесного сектора, путем обновления устаревших лесочучетных материалов с помощью космических снимков высокого и сверхвысокого разрешения.

Информационное пространство лесного комплекса, наверно, более чем на половину заполнено лесоустроительными материалами: таксационными описаниями, поведельной картографией и их производными продуктами (данными государственного лесного реестра (ГЛР), ведомостями поквартальных итогов, расчетами возможного размера заготовки древесины, договорами аренды, лесохозяйственными регламентами лесничеств, проектами освоения лесных участков, переданных в аренду, лесными декларациями, проектами лесовозных дорог и пр.) От качества данных материалов зависит эффективность хозяйственного и государственного лесоуправления и в конечном итоге – социально-экономический результат лесопользования.

Качество информационных материалов о лесах определяется рядом факторов: точностью определенных при таксации показателей, дробностью поведельных характеристик, полнотой внесенных в лесоустроительные материалы изменений, произошедших с момента таксации, и сроком давности этой таксации или как его раньше называли – «ревизионным» или межучетным периодом.

Оценивая качество лесоустроительных материалов по северотаежным лесам, из данного ряда можно положиться только на первый фактор - точность таксации у северных лесоустроителей всегда была на высоком уровне и отвечала нормативным требованиям.

Остальные факторы в настоящий момент не обеспечивают достаточного качества, и соответственно нет гарантий в достоверности официальных данных о лесах, содержащихся в государственном лесном реестре.

Особую обеспокоенность вызывает полнота и точность внесения лесничествами текущих изменений в материалы лесоустройства в межучетный период. Это один из «больных» вопросов лесного хозяйства, который упорно замалчивается при каждом реформировании лесохозяйственных органов. И в современной структуре лесничеств эта важнейшая, требующая высокого профессионализма работа не находит должного места. Достаточно сказать, что эта работа до сих пор регламентирована указаниями 20-летней давности, предусматривающими выполнение ее только на бумажных носителях и на основе буссольных съемок и обмеров мерными лентами. Поправки на возраст и корректировки древесного запаса с учетом текущего прироста совсем не предусматриваются. Уже в девяностых годах работники лесничеств стали не справляться с огромными объемами работ по обмерам мелкоконтурных участков сплошных и выборочных рубок, лесовосстановительных работ, гарей, ветровалов, нанесением этих данных на лесоустроительные планшеты, внесении изменений в таксационные описания и книги учета лесного фонда. Попытки создать компьютерную базу для автоматизации этой работы в лесничествах срывались в связи с очередными реформами.

До принятия Лесного кодекса РФ 2006 года качество лесоустроительных материалов в многолесных регионах было и так невысоким по причине систематического завышения

межучетного периода (10 лет), низких разрядов лесоустройства и организационно-технического несовершенства внесения текущих изменений в эти материалы в межучетные периоды. После принятия кодекса финансирование традиционного лесоустройства прекратилось, и имеющаяся информация о лесах стала стремительно устаревать и дальше терять качество. Компьютерного прорыва в лесничествах не получилось. Запоздалое решение Рослесхоза о создании в каждом лесничестве автоматизированных информационных систем ведения государственного лесного реестра (АИС ГЛР), глядя из дальних таежных лесничеств, пока кажется не реальным событием.

Попытка возродить традиционное лесоустройство в 2012 году, по крайней мере в Архангельской области, так же не удалась. Для нее было выбрано одно из самых маленьких лесничеств – Вилегодское, площадью 427 тыс. га, а бюджетного финансирования выделено 15 млн. руб., достаточного только на не переданную в аренду часть лесничества (менее половины). Это лишь несколько процентов от площади лесов области, требующих срочной инвентаризации. Остальную часть лесничества предполагалось устроить за счет софинансирования от арендаторов, что удалось сделать только после сокращения их арендных платежей.

В целом по стране в тот год лесоустройство за счет бюджетных средств было начато в 17 субъектах на площади 3,7 млн. га. Дополнительно, за счет средств арендаторов удалось сделать еще 1,3 млн. га. А минимальная ежегодная потребность в лесоустройстве только по зоне интенсивного лесопользования составляет 30-40 млн. га, а с учетом 5-летнего «простоя» еще больше. Дальнейшие планы по проведению полномасштабных лесоустроительных работ за счет государственных средств на ближайшие годы общественности пока не известны. Зреет ощущение надвигающегося информационного кризиса в лесной отрасли, когда государство и общество не будет знать, где и какие леса произрастают.

Особенно беспокоит ресурсная составляющая лесных отношений. Большинство арендных договоров заключены по устаревшим данным. Поэтому весь процесс лесопользования превращается из цивилизованного рода деятельности в некий вид промысла: пошел, нашел, срубил. Хозяйственное лесное планирование в лесопромышленных предприятиях арендаторах лесных участков сводится сейчас к обследованию прилегающих к сегодняшним деланкам насаждений и не распространяется более чем на один год. Инвестиционная деятельность в таких условиях часто бывает невозможной.

Пока политика Рослесхоза не способствует тому, чтобы информация о лесах была качественной и общедоступной и могла улучшаться. Сведения о лесах в последнее время нигде не публикуются. Нормативно-правовая база для оборота информационных ресурсов чрезмерно ужесточена. Внесение изменений в государственный лесной реестр допускаются только на основании полномасштабного лесоустройства или по данным натурных обследований. Такая ситуация затрудняет и самому Рослесхозу правильно оценить результаты лесопользования, как в масштабах страны, так и в масштабах регионов, лесничеств, лесных участков, а также обосновывать потребности лесного хозяйства в Правительстве. Она мешает налаживанию конструктивных взаимоотношений между территориальными органами лесопользования, арендаторами, общественными объединениями и местным населением.

Может быть, такая позиция на руку только структурам ФГУП «Рослесинфорг», которые становятся монополистами в лесном информационном поле и «хранителями тайн мадридского двора», в частности, итогов государственной инвентаризации лесов (ГИЛ). Но это кажущаяся благоприятная ситуация для бывших лесоустроителей, причем кратковременная. Затянувшаяся пятилетняя пауза в проведении традиционного лесоустройства влечет потерю профессионализма таксаторов, а торговля тиражируемыми материалами прошлых лесоустройств мало перспективна. Конечно, их интеллектуально-технический потенциал и старые запасы информационных ресурсов востребованы в других сферах лесного сектора: межевании границ, отводе лесосек, услугах по сопровождению ГЛР, мониторинге мест рубок, работах по ГИЛ, но главное, историческое предназначение

лесоустройства – периодическая инвентаризация лесных массивов, своего рода, чистка информационного пространства, отодвинута на дальний план.

Что касается государственной инвентаризации лесов, которой частично заняты сейчас лесоустроительные подразделения, то не секрет, что она проводится за счет тех бюджетных средств, которые до принятия нынешнего Лесного кодекса шли на лесоустройство. Замена хозяйственного лесоустройства на ГИЛ – пагубная ошибка законодателей и не панацея для выживания лесоустройства.

Идея ГИЛ почерпнута в странах с развитым лесным сектором, где преобладает частная собственность на лес, но мотивы ее проведения там иные. Там проведение хозяйственного лесоустройства – прерогатива лесовладельца, который не обязан делиться своей частной информацией о своем лесовладении с государственной лесной службой. Именно в связи с этим, с отсутствием данных о частных лесах (типа нашего государственного лесного реестра – ГЛР) у контролирующих органов, в этих стран проводят подобную статистическую (но не площадную) инвентаризацию лесов в масштабах всей страны. В России все леса остаются в государственной собственности, и рассчитывать, что кто-то проведет их площадную инвентаризацию по сегодняшним правилам игры Рослесхоза бессмысленно. В результате имеем устаревшие данные ГЛР и не полные (и ни кому не нужные) данные ГИЛ. В итоге нарождающееся гражданское общество, имеющее конституционное право на благоприятные экологические условия, будет не удовлетворено «мутной» информационной картиной среды своего проживания, где важнейшим средообразующим фактором является лес. Кроме того не достоверные лесоресурсные данные не дают эффективно управлять лесами и становятся серьезным барьером в инвестиционной деятельности, без которой не возможна модернизация лесопромышленного комплекса.

Дефицит знаний о лесах уже спровоцировал рождение и развитие альтернативного теневого лесоустройства. Из 1,3 млн. га протаксированных в 2012 году по заявкам арендаторов, половина работ сделана не структурами ФГУП «Рослесхоз». Уровень их профессионализма ни кому не известен, но нельзя исключить, что там присутствуют и высокие технологии. Продвинутые лесопромышленные предприятия не затруднит воспользоваться предлагаемыми услугами по инвентаризации арендованных ими лесов высокотехнологичными методами по космическим снимкам высокого и сверхвысокого разрешения, доступ к которым в последние годы неожиданно открылся. В итоге они будут знать лесной фонд лучше, чем хозяева-арендодатели, и смогут в корпоративных интересах увеличивать свою доходность использования лесов, минимизировать арендные платежи и уклоняться от исполнения арендных обязанностей, непреднамеренно ухудшая качественный состав лесов.

Вопрос об информационном обеспечении лесопромышленного комплекса становится чрезвычайно актуальным, и его решения переходят в политическую плоскость. Пока в проекте Лесной политики, опубликованной на сайте Рослесхоза, он отсутствует, но перефразируя знаменитые слова профессора М.М.Орлова, лесная политика без лесоустройства будет мертва. Как нам кажется, в информационном блоке этого проекта должны присутствовать три момента:

1. Информационное пространство лесного сектора должно быть прозрачным, а информация о лесах – достоверной, подробной и доступной обществу, и, особенно, лесному сообществу. Но поскольку реальность далека от такого веления времени, требуется срочная модернизация информационного обеспечения.

2. Имеющиеся лесоустроительные материалы необходимо проанализировать на предмет их достоверности. На той территории, где достоверность их не достигает удовлетворительных значений, подвергнуть таксационные данные, включая поведельную картографию, масштабному обновлению и уточнению по космическим снимкам высокого и сверхвысокого разрешения с использованием современных методов дешифрирования при минимальных объемах натурных лесотаксационных работах. В современных условиях, пока на правительственном уровне не решен вопрос финансирования полномасштабной

инвентаризации лесов в соответствии с действующей лесоустроительной инструкцией, такой метод упрощенного лесоустройства - единственный и наиболее реальный способ получить достаточно точные сведения о состоянии лесов для целей их эффективного освоения и лесопользования. Обновленные лесотаксационные данные следует разместить в автоматизированных распределенных базах данных, совмещенных с геоинформационными системами, построенных с помощью оптимальных программных продуктов. Такие системы должны быть ориентированы именно на участковое лесничество и позволять получать данные для государственного лесного реестра и других отчетных документов.

3. На основе частно-государственного партнерства нужно вовлечь в программу модернизации информационного обеспечения лесного комплекса арендаторов лесных участков, обеспечив им законное право пользования распределенными базами данных для целей хозяйственного управления арендованными лесами и возможность формирования собственных автоматизированных систем учета арендованных лесов, сопряженных с государственными АИС ГЛР.

Такие направления позволили бы лесоустройству выйти на новый уровень развития и сохранить традиции своего исторического предназначения, а лесному комплексу получить новые возможности для развития. Ученые Северного арктического федерального университета разработали подобную программу модернизации информационного обеспечения лесного комплекса Архангельской области (Гурьев и др., 2013; Гурьев и др., 2004). Но осуществление такой программы модернизации информационного обеспечения, вряд ли будет возможным в условиях действующей нормативно-правовой базы, регулирующей производство и оборот информационных ресурсов в лесном секторе. Наверно, в совершенствовании лесного законодательства нужно подразумевать не только его ужесточение и размножение, но и либерализацию и упрощение некоторых сегментов, в частности тех, которые касаются информационного обеспечения. Подчас жесткие нормы и правила не столько дисциплинируют, сколько сковывают полезные инициативы и творческий поиск на пути к прогрессу.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гурьев А.Т, Алешко Р.А, Торхов С.В, Трубин Д.В. Тематическая обработка спутниковых снимков лесных территорий на основе структурных моделей: монография. Архангельск: Изд.-полигр.центр им. В.Н. Булатова САФУ, 2013, 150 с.
2. Гурьев А.Т, Абрамова Л.В, Торхов С.В, Трубин Д.В. Функциональное моделирование в лесном хозяйстве. ИВУЗ – Лесн. Журн. – 2004. - №1. – с.135-144

PROSPECTS FOR RELATIONS DEVELOPMENT IN THE INFORMATION SPACE OF FOREST SECTOR IN CONNECTION WITH THE IMPROVEMENT OF AEROSPACE METHODS

D. TRUBIN¹, L. ABRAMOVA²

¹Northern Arctic Federal University, Forest Research Center at the Institute of Mathematics, Informatics and Space Technology

²Northern Arctic Federal University, Institute of Mathematics, Informatics and Space Technology

This research was carried out to study the condition of information management in the forest sector as an example of the Arkhangelsk region. There were revealed tendencies of its quality reduction in both state and private forest management. Modernization directions of the information base in the forest sector were discussed through updating of the obsolete forest register materials using satellite images of high and ultra-high resolution.

ДИСТАНЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛЕСОВ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ И ПУТИ ЕГО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ

С.В. ФЕДОРОВ, А.С. МУХИНА

ФГУП «Рослесинфорг»

Методика проведения дистанционного мониторинга использования лесов. Данные дистанционного зондирования Земли. Лесной кодекс Российской Федерации. Заготовка древесины. Зона интенсивного лесопользования. Оперативный дистанционный мониторинг использования лесов.

Дистанционный мониторинг использования лесов является одним из направлений государственной инвентаризации лесов Российской Федерации предусмотренный Порядком проведения государственной инвентаризации лесов и статьей 90 Лесного кодекса Российской Федерации.

На сегодняшний день дистанционный мониторинг использования лесов это единственный современный и высокотехнологичный способ выявления нарушений лесного законодательства на основе анализа материалов космической съемки.

За 8 лет проведения дистанционного мониторинга значительно возросла площадь работ, совершенствовались технологии, программное обеспечение.

В течение этих лет происходили серьезные изменения в лесном законодательстве, нормативах, требованиях к конечным результатам. Однако, несмотря на данные обстоятельства, система дистанционного мониторинга использования лесов продолжает развиваться и совершенствоваться.

Целью дистанционного мониторинга использования лесов является своевременное выявление и прогнозирование развития процессов, оказывающих негативное воздействие на леса.

С помощью данных дистанционного зондирования земли выявляют нарушения лесного законодательства при конкретных видах использования лесов (рис.):

- заготовка древесины (ст. 29 Лесного кодекса Российской Федерации);
- использование лесов для выполнения работ по геологическому изучению недр, для разработки месторождений полезных ископаемых (ст. 43 Лесного кодекса Российской Федерации);
- использование лесов для строительства и эксплуатации водохранилищ, иных искусственных водных объектов, а так же гидротехнических сооружений, специализированных портов (ст. 44 Лесного кодекса Российской Федерации);
- использование лесов для строительства, реконструкции, эксплуатации линий электропередачи, линий связи, дорог, трубопроводов и других линейных объектов (ст. 45 Лесного кодекса Российской Федерации);
- использование лесов для переработки древесины и иных лесных ресурсов (ст. 46 Лесного кодекса Российской Федерации).

В ходе проведения дистанционного мониторинга использования лесов решаются следующие задачи:

при заготовке древесины

выявление мест рубок и анализ соответствия их параметров договорам аренды, проектам освоения, договорам купли-продажи, лесным декларациям;

выявление мест и определение площади незаконных (без правовых документов на рубку леса, рубку за пределами отвода лесосек, рубку неэксплуатационных участков и рубку в защитных и особо защитных участках лесов) ;

выявление нарушений действующих правил и организационно-технических элементов рубок и порядка отвода лесосек при проведении сплошных рубок.

по объектам недропользования и линейным объектам:

выявление несоответствия фактического местоположения арендованного лесного участка данным договора аренды;

выявление самовольного использования земель лесного фонда (превышение фактической площади арендуемого лесного участка по сравнению с указанной в договоре аренды).



Рисунок. Зона интенсивного лесопользования Российской Федерации

Для достижения наилучшей эффективности, дистанционный мониторинг использования лесов целесообразно проводить в зоне интенсивного лесопользования. К этой зоне можно отнести лесничества с заготовкой древесины превышающей 100 тысяч кубических метров древесины в год. Площадь лесничеств с такой ежегодной заготовкой древесины составляет примерно 213 миллионов гектар. В этих лесничествах вырубается 90 % общего объема заготовленной древесины в стране.

По выявленным нарушениям использования лесов выполняется расчет ориентировочного ущерба на основании такс и методик исчисления размера ущерба (вреда) в порядке, предусмотренном постановлением Правительства РФ от 08.05.2007 № 273 (с изменениями от 26.11.2007 № 806).

За восьмилетний период существования дистанционного мониторинга использования лесов он зарекомендовал себя как самый эффективный способ контроля как за исполнением органами государственной власти переданных полномочий в области лесных отношений, так и за соблюдением лесопользователями требований лесного законодательства (табл.).

Таблица. Динамика объемов дистанционного мониторинга использования лесов.

Год проведения мониторинга	Общая площадь мониторинга, млн. га	Количество субъектов РФ	Количество лесничеств	Сумма рассчитанного ущерба по выявленным нарушениям лесного законодательства, млн. руб.
2005	50,2	7	67	2,4
2006	101,2	18	164	1,8
2007	113,3	19	191	1,0
2008	153,8	22	176	4,5
2009	175,4	24	198	4,8
2010	106,5	28	178	8,1
2011	120,0	30	169	8,5
2012	100,0	33	156	10,7

Анализируя ориентировочный размер ущерба лесному фонду, представленный в таблице, замечена тенденция к его увеличению за последние 3 года мониторинга. При этом общая сумма ущерба, исчисленного по результатам дистанционного мониторинга, значительно превышает средства, затрачиваемые на его проведение.

Существует ряд проблем в проведении дистанционного мониторинга использования лесов. Одну из них можно обозначить как давность выходных материалов. Результаты работ приводятся за период предшествующий году осуществления дистанционного мониторинга. В большинстве случаев такая методика не дает возможности принятия оперативного решения. Следовательно материалы по незаконной заготовке древесины поступают в органы исполнительной власти в области лесных отношений только спустя год после её совершения.

Для эффективного и оперативного контроля за лесопользованием на территории Российской Федерации, сведения по незаконным рубкам на землях лесного фонда необходимо получать ещё на стадии их совершения. Такие данные, регулярно предоставляемые в органы исполнительной власти субъекта Российской Федерации, позволяют своевременно выявлять и пресекать несанкционированное использование лесов, что в целом позволяет значительно снизить и компенсировать ущерб лесному хозяйству страны.

В настоящее время при проведении дистанционного мониторинга использования лесов обследуются только сплошные, сплошные санитарные рубки и рубки реконструкции. В данном случае остается в стороне значительный процент лесосек с заготовкой древесины выборочным способом.

Анализируя особенности и проблемы дистанционного мониторинга использования лесов можно обозначить следующие пути совершенствования:

1. Переход с традиционного на оперативный метод дистанционного мониторинга использования лесов.

Оперативный метод дистанционного мониторинга использования лесов характеризуется следующими особенностями:

- Систематическое получение космических снимков на объекты работ один или два раза в месяц.

- Оперативное получение первичных материалов от органов исполнительной власти субъектов Российской Федерации в области лесных отношений.

- Оперативное (ежемесячное) направление результатов дешифрирования с выявленными нарушениями лесного законодательства в органы исполнительной власти субъектов Российской Федерации в области лесных отношений.

2. Обследование выборочных рубок при проведении дистанционного мониторинга использования лесов используя современную съемку сверхвысокого разрешения.

3. Охват дистанционным мониторингом всей арендованной площади использования лесов по статьям 29, 43-46 Лесного кодекса Российской Федерации.

REMOTE MONITORING OF FOREST USE OF THE RUSSIAN FEDERATION AND WAYS OF ITS IMPROVEMENT

S.V. FEDOROV, A.S. MUKHINA

FSUE "ROSLESINFORG"

Methods of remote monitoring of forest use. Data of remote sensing of the Earth. The forest code of the Russian Federation. Wood harvesting. Area of intensive forest use. Real-time remote monitoring of forest use.

ОСОБО ЗАЩИТНЫЕ УЧАСТКИ ЛЕСОВ – СОСТОЯНИЕ ИНФОРМАЦИИ, ПРОБЛЕМЫ ФОРМИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ

Е.М. ШАЛИМОВА¹, А.А. ДЕРЮГИН², З.С. БРУНОВА¹

**¹Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства
(ВНИИЛМ)**

²Институт лесоведения РАН

Рассматриваются существующие системы особо защитных участков лесов (ОЗУ) в 7-ми субъектах РФ европейской части России, состояние информации об ОЗУ и проблемы формирования систем ОЗУ.

В соответствии с Лесным кодексом Российской Федерации (ЛК РФ) и внесенными в него дополнениями (Федеральный закон от 22.07.2008 № 143-ФЗ) на землях лесного фонда с целью сохранения важных природоохранных и средообразующих функций леса предусмотрено выделение защитных лесов, которые составляют основу экологического каркаса страны. Частью экологического каркаса являются особо защитные участки лесов (ОЗУ) – участки, выделяемые в лесах различного целевого назначения для сохранения защитных и иных экологических функций леса путём установления в них соответствующего режима ведения лесного хозяйства и использования лесов. Создание такой системы было обусловлено необходимостью сохранения небольших лесных участков, где лес выполняет важные защитные функции или имеет определенное научное, историческое, хозяйственное или природоохранное значение. Данные участки в связи с их малой площади и территориальной разрозненности не могли быть отнесены к той или иной категории защитных лесов.

Одним из первых документов, регламентировавших выделение ОЗУ – Инструкция 1979г., в которой приведены перечень и нормативы их выделения. В дальнейшем положения данного документа неоднократно пересматривались. Последний документ, определивший перечень и нормативы выделения ОЗУ – лесоустроительная инструкция 2011 г. Согласно ей перечень ОЗУ включает 19 наименований.

В настоящее время, согласно Лесному кодексу, выделение особо защитных участков лесов и установление их границ осуществляется органами государственной власти, органами местного самоуправления в пределах их полномочий, определенных Лесным кодексом РФ.

Данные об ОЗУ включены в состав государственного лесного реестра (ГЛР) – форма «Сведения об особо защитных участках лесов (ОЗУ)». Сведения по этой форме поступают от субъектов РФ и являются единственным источником информации на федеральном уровне. Однако, несмотря на это, систематизированные данные об ОЗУ отсутствуют как на региональном, так и на федеральном уровнях.

В 2008-2011 гг. сотрудниками ВНИИЛМ с целью изучения состояния информации об ОЗУ и существующих их региональных системах были выполнены работы по сбору сведений о выделенных ОЗУ в семи областях РФ (Брянская, Владимирская, Вологодская, Костромская, Новгородская, Смоленская и Ярославская). Леса названных субъектов РФ расположены в трех лесорастительных зонах: таёжная зона, зона хвойно- широколиственных лесов, лесостепная.

Основные источники информации – форма 1.4. ГЛР, лесоустроительные материалы, сведения, полученные от органов управления лесами в субъектах РФ. Как показал анализ, полученные сведения не всегда поддаются компьютерной обработке и требуют существенного редактирования и форматирования. В связи с этим в формате MS Excel была разработана форма «База данных ОЗУ лесов», которая включала следующую информацию:

1. Субъект РФ;
2. Лесничество;
3. Участковое лесничество;

4. Целевое назначение лесов;
5. Категория защитных лесов;
6. Название ОЗУ лесов;
7. Номер квартала;
8. Номер лесоустроительного выдела;
9. Площадь;
10. Ограничения хозяйственной деятельности.

Выбор в качестве программного обеспечения MS Excel обусловлен следующими причинами: электронная таблица обеспечивает удобный поиск данных разного уровня; возможность редактирования и внесения новых сведений; удовлетворяет уровню подготовки кадров в субъектах РФ.

При формировании баз (БД ОЗУ) все выделенные ОЗУ были проверены на соответствие действующим нормативным документам. Объем сформированных БД ОЗУ по вышеперечисленным субъектам РФ изменяется от 7,4 до 65,4 тысяч строк.

Установлено, что в общей площади лесного фонда рассматриваемых областей доля площади ОЗУ достигает весьма высоких значений – от 10 до 16%. Анализ составленных БД ОЗУ показал, что только в 7-ми субъектах РФ список наименований ОЗУ включает 164 варианта (для сравнения в перечне, приведенном в лесоустроительной инструкции 2011 г., их 19). Это объясняется тем, что одним и тем же ОЗУ в разных субъектах РФ, а зачастую в разных лесничествах одного субъекта, присваивают различные варианты одного принятого в инструкции названия. Можно предположить, сколько вариантов названий можно ожидать при составлении базы данных ОЗУ в целом по Российской Федерации? Сложившаяся ситуация во многом объясняется правом органов управления лесами в субъектах присваивать названия ОЗУ.

Анализ данных по субъектам показал, что причиной неадекватной информации о площади ОЗУ может стать включение в их состав особо охраняемых природных территорий регионального значения (заказники, памятники природы), площадь которых в пределах одних границ может составлять не одну тысячу га. Так в Ярославской области площадь экологического заказника «Кучневский», включенного в систему ОЗУ, составляет 19, 2 тыс. га. Последнее противоречит идеи выделения ОЗУ, как разобщенных лесных участков небольшой площади.

В качестве других выявленных недостатков существующей информации об ОЗУ необходимо отметить следующее:

- отсутствие названий категорий защитных лесов, в которых выделяют ОЗУ и что не позволяет установить целесообразность их выделения;
- выделение ОЗУ в категориях защитных лесов с аналогичным режимом ведения хозяйства;
- использование в названиях ОЗУ наименований категорий защитных лесов;
- использование названий, не отражающих целевое назначение ОЗУ (например «Изреженное ОЗУ», «Режим ограниченного пользования»);
- отсутствие сведений или одинаковый подход к назначению ограничений по режиму ведения хозяйства в различных видах ОЗУ;
- выделение ОЗУ лесов там, где должно вестись интенсивное хозяйство, направленное на формирование определенных целевых насаждений (например «Опушки леса, примыкающие к автомобильным дорогам»).

Заключение.

1. Существующая практика учета ОЗУ на местах требует существенной корректировки. Предоставляемые материалы зачастую не позволяют осуществлять компьютерную обработку данных без предварительной редакции и формализации их.

2. Необходимо придерживаться принятым в соответствующих документах наименованиям ОЗУ. В противном случае станет невозможным укрупнение данных для выхода на федеральный уровень. Это не исключает возможность использования на местах

других названий, но они должны вписываться в общую структуру перечня ОЗУ лесов. Нецелесообразно использовать в названии ОЗУ лесов терминов, применяемых в названиях категорий защитных лесов.

3. Существующая форма государственного лесного реестра «Сведения об особо защитных участках лесов» требует некоторой корректировки. По нашему мнению в неё следует ввести сведения о «Категории защитных лесов», без которой невозможно оценить целесообразность выделения ОЗУ в них.

4. На федеральном уровне следует решить вопрос о целесообразности отнесения к ОЗУ особо охраняемых природных территорий (ООПТ) регионального значения (заказники, памятники природы). Подобная ситуация может привести к двойному учету площадей ОЗУ лесов.

SPECIALLY PROTECTED FOREST AREAS – INFORMATION STATUS, PROBLEMS OF CREATION

A.A. DERYUGIN¹, E.M. SHALIMOVA², Z.S. BRUNOVA²

¹**Institut of Forest Science of RAS**

²**All-Russian Research Institute of Silviculture and Forestry Mechanization (VNIILM)**

The following topics are considered in the article: Systems of Specially Protected Forest Areas, existing in seven Central European districts of the Russian Federation; Information status about Specially Protected Forest Areas and existing problems of creation of the areas.

СИСТЕМНОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ ДИСТАНЦИОННЫХ И НАЗЕМНЫХ МЕТОДОВ В ИССЛЕДОВАНИЯХ УГЛЕРОДНОГО ЦИКЛА ЛЕСОВ РОССИИ

А.З. ШВИДЕНКО^{1,2}, Д. Г. ЩЕПАЩЕНКО^{1,3}, Я. МакКАЛЛУМ¹

¹**Международный институт прикладного системного анализа**

²**Институт леса СО РАН**

³**Московский государственный университет леса**

Обсуждается роль и особенности использования средств дистанционного зондирования в современной методологии познания углеродного бюджета лесов. Показано, что системное объединение спутниковых данных, наземной информации и моделей лесных экосистем является необходимым звеном верифицированного учета полного углеродного бюджета лесных экосистем России, который обеспечивал бы уровень неопределенностей, достаточный для лиц, принимающих решения.

Современная наука о глобальных изменениях исходит из необходимости *верифицированной* оценки *полного* углеродного бюджета экосистем (ПУБ). Требование полноты предполагает учет всех процессов, определяющих обмен углеродом между экосистемами и атмосферой, гидросферой и литосферой. Верификация предопределяет необходимость возможно надежного и исчерпывающего знания неопределенностей. Результаты должны быть представлены в пространственно распределенном виде и непрерывно во времени. Вместе с тем, исследование углеродного цикла лесных экосистем представляет собой типичную нечеткую (недостаточно организованную) систему, из чего следует, что любой из существующих методов оценки углеродного цикла, *примененный индивидуально*, позволяет оценить только неопределенность «внутри метода» и не отражает структурной неопределенности использованного метода. Формальная верификация ПУБ традиционными методами практически нереальна, поскольку это требует значительных трудовых и финансовых ресурсов. Поэтому современные методологии ПУБ рекомендуют системную интеграцию основных методов изучения углеродного бюджета экосистем

[ландшафтно - экосистемного подхода; процессных моделей различного типа; метода вихревых пульсаций (eddy covariance); инверсного моделирования] с последующей гармонизацией и взаимным согласованием (mutual constraints) независимо полученных результатов и их неопределенностей (Shvidenko et al. 2010).

Средства дистанционного зондирования (ДЗ) играют ключевую роль в процессе познания влияния лесов России на глобальный углеродный цикл. Это определяется как спецификой лесов страны, их огромной территорией и наличием значительных регионов с быстрыми изменениями лесного покрова вследствие природных и антропогенных нарушений, так и возможностью оценки средствами ДЗ биофизических показателей, измерение которых наземными методами затруднительно (например, чистой первичной продукции экосистем или радиационной энергии лесных пожаров). Существенной специфической причиной является также очевидный информационный провал в знании современного состояния лесного покрова России: по состоянию на начало 2013 года около половины лесов страны были учтены более 25 лет назад, а 63% - более 16 лет, и возможности исправления этой ситуации традиционными методами пока не просматриваются (Швиденко, Щепаченко, 2011).

«Множественная» концепция применения ДЗ является краеугольным камнем ПУБ. Средства ДЗ существенно используются *inter alia* для 1) классификации, геоференсирования и параметризации лесного покрова и его изменений; 2) измерения биофизических и экологических параметров экосистем и ландшафтов; 3) оценки нарушений в лесах; и 4) оценки влияния внешней среды на состояние, жизнеспособность и продуктивность экосистем. Вместе с тем, традиционный недостаток большинства спутниковых продуктов - недостаточность системной верификации – приводит к типичной ситуации, когда их точность на региональном уровне остается неизвестной, что порождает неоправданный разброс и противоречия в сообщаемых результатах (например, в части лесных пожаров (Ершов и др., 2009; Швиденко и др., 2011; Vivchar, 2011)) и может приводить к возникновению неконтролируемых значительных систематических ошибок (рис.1 и 2). Это ведет к необходимости системного сравнения и гармонизации всех используемых источников информации, включая данные наземных измерений, анализ временных серий, использование различных типов многомерных моделей лесных экосистем (Shvidenko et al., 2007).

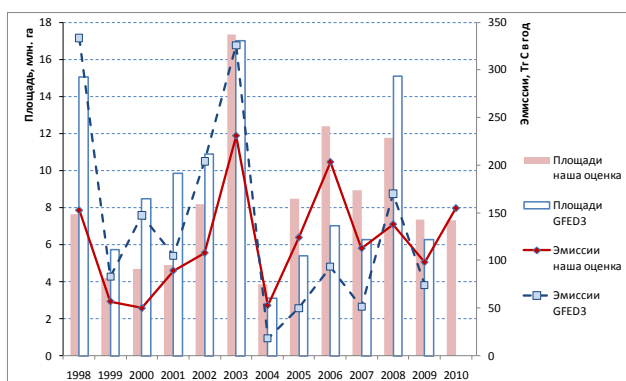


Рис. 1. Сравнение площадей и углеродных эмиссий природных пожаров в России в 1998-2010 гг. на основе ландшафтно-экосистемного подхода и глобальной базы данных GFED3

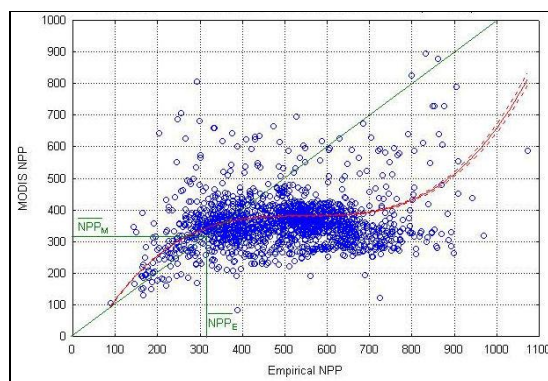


Рис.2. Чистая первичная продукция по лесным предприятиям России (данные Terra-MODIS (Running et al., 2004) и эмпирические данные; ЧПП представлена в $г\ C\ м^{-2}\ год^{-1}$)

Ландшафтно-экосистемный подход (ЛЭП) представляет собой целесообразное обобщение экспериментальных данных и эмпирических моделей, обеспечивающих возможно полное количественное описание экосистем и ландшафтов. ЛЭП служит системной основой ПУБ. В качестве информационной базы ЛЭП используется Интегральная земельная информационная система (ИЗИС), представляющая собой многослойную и разномасштабную ГИС, включающую гибридный земельный покров и многочисленные

атрибутивные базы данных. ИЗИС аккумулирует все целесообразные источники информации – картографические материалы (цифровые карты административного деления, растительности, земельного покрова, почв, ландшафтов, биоклиматических зон и т.д.), данные различных инвентаризаций и обследований (Государственные учеты земельного и лесного фондов, данные о природных пожарах и т.д.); обширные базы данных измерений *in situ* (фитомасса, чистая первичная продукция, почвенное дыхание и пр.); пространственно распределенные климатические данные; разнообразные продукты ДЗ; многочисленные вспомогательные модели для оценки биофизических показателей экосистем. Основным принцип ИЗИС – поддерживать наличие в системе наиболее точных и современных данных, начиная с некоторой приемлемой минимальной площади проявления. Расчеты показывают, что обеспечение точности ПУБ для страны в целом, которая была бы приемлема для лиц, принимающих решения, требует пространственного разрешения порядка 1 км² и выше, хотя и в этом случае остается потребность как в учете «виртуальных полигонов», объединяющих данные, которые не отражаются на картах из-за небольшой площади отдельных полигонов, но которые существенны для баланса площадей и оценок параметров ПУБ (такие как линейные элементы, небольшие водные резервуары, вырубки и др.), так и более высокого разрешения для районов с быстрым изменением лесного покрова.

Гибридный земельный покров представляет собой объединение различных источников информации, использованных для пространственного распределения и параметризации многоуровневой иерархической классификации земельных классов с последовательным включением дистанционных и наземных данных, точность которых может быть оценена. На первом этапе были использованы глобальные и региональные продукты ДЗ (GLC2000, MODIS land cover, MODIS VCF, ENVISAT ASAR, ALOS PALSAR, Landsat и др.), что позволило отделить покрытые лесом земли от других классов земельного покрова (непродуктивные земли, сельскохозяйственные земли, болота, естественные травы и кустарники) и разделить древостои по группам пород – вечнозеленые, лиственные и смешанные леса, включая все леса, вне зависимости от их ведомственной принадлежности. Дальнейшая параметризация лесного покрова проведена на основе использования данных учета лесов по лесным предприятиям с обновлением основных параметров древостоев в предприятиях, устроенных более 10 лет назад. Сравнение использованных источников показало, что 52% территории имеют высокую степень согласования данных ДЗ и учета лесов, 18% – хорошую и 24% – посредственную; данные ДЗ для примерно 5% площади противостоят другим источникам информации. Пространственная параметризация древостоев (включая преобладающие породы, возраст, полноту, и, следовательно, запас, фитомассу, продуктивность, ЧПП и т.д.) производилась по специальному оптимизационному алгоритму (Schepaschenko et al., 2010), который сохранял обновленные суммарные данные в пределах лесных предприятий и давал наиболее вероятное по-пиксельное распределение преобладающих пород. Наличие многомерных пространственно распределенных моделей лесных экосистем (Shvidenko et al., 2007) позволило существенно улучшить оценку ряда биофизических параметров (фитомасса, ЧПП), используя радарные методы (Santoro et al., 2011).

Результаты ЛЭП были системно увязаны с данными, полученными независимо другими методами для страны в целом и ряда больших ее регионов (Dolman et al., 2012; Quegan, 2011). Несколько оценок инверсного моделирования показали результаты, практически совпадающие с ЛЭП. Расчеты, выполненные на основе *eddy covariance*, дали значения на верхнем пределе доверительного интервала данных ЛЭП. Однако роль этого метода в ПУБ страны ограничена вследствие недостаточного количества измерений и отсутствия надежных градиентов для обобщения результатов на уровне лесного покрова страны. Использование динамических глобальных моделей растительности показало, что, в среднем для ансамбля моделей, DGVM дают достаточно надежные результаты в оценке ЧПП лесов России, но существенно завышают гетеротрофное дыхание и не отражают реальных нарушений. Это приводит к занижению чистой биомной продукции лесов России почти

вдвое. В целом, результаты свидетельствуют, что леса России на протяжении первого десятилетия нынешнего столетия в среднем обеспечивали чистый сток углерода порядка 500-600 Тг С год⁻¹ (что составляет 90-95% общего стока углерода во все растительные экосистемы России) с общей (системной) погрешностью $\pm 20-25\%$ для годовых оценок и 7-10% - для среднего значения десятилетнего периода (доверительная вероятность 0.9). Следует учесть, что эти результаты содержат предположение, что использованные методы не имеют неучтенных систематических погрешностей и содержат ряд экспертных оценок. В заключение рассматриваются необходимые шаги, связанные с дальнейшим совершенствованием системного применения существующих и перспективных средств ДЗ в исследованиях ПУБ лесных экосистем России и их увязки с системой учета лесов России, в том числе 1) создание обновляемой системы наземных полигонов для верификации спутниковых продуктов; 2) последовательная детализация представления лесного покрова и биометрических показателей лесов в рамках ИЗИС, используя новую спутниковую информацию и наземные данные; 3) системное включение данных ДЗ в многомерные модели лесных экосистем России, особенно для оценки показателей, недоступных непосредственному измерению средствами ДЗ; 4) разработка новых технологий оценки интенсивности нарушений в лесах и др.

ЛИТЕРАТУРА

1. Еришов Д.В., Ковганенко К.А., Сочилова Е.Н. ГИС-технология оценки пирогенных эмиссий углерода по данным Terra-MODIS и государственного учета лесов // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2009. Выпуск. 6. № 2. С. 365-372
2. Швиденко А.З., Щепаченко Д.Г., Ваганов Е.А., Сухинин А.И., Максюттов Ш.Ш., МкКаллум И., Лакида П.И. Влияние природных пожаров в России в 1998-2010 гг. на экосистемы и глобальный углеродный бюджет // Доклады Российской Академии наук. 2011. Том 441. № 4. С. 544-548.
3. Швиденко А.З., Щепаченко Д.Г. Что мы знаем о лесах России сегодня // Лесная таксация и лесоустройство. 2011. № 1-2 (45-46). С. 153-172.
4. Dolman A.J., Shvidenko A., Schepaschenko D., Ciais P., Tchepakova N., Chen T., van der Molen M.K., Beletti Marchsini L., Maximov T.C., Maksyutov S., Schulze E.-D. An estimate of the terrestrial carbon budget of Russia using inventory based, eddy covariance and inversion methods. Biogeosciences. 2012. V. 9. P. 5323-5340.
5. Quesgan, S., Beer, C., Shvidenko, A., McCallum, I., Handoh, I.C., Peylin, P., Rödenbeck, C., Lucht, W., Nilsson, S., Schimmlus, C. Estimating the carbon balance of central Siberia using a landscape-ecosystem approach, atmospheric inversion and Dynamic Global Vegetation Models. Global Change Biology. 2011. V. 17 (1). P. 351-365.
6. Running S.W., Nemani R.R., Heinsch F.A. et al. A continuous satellite-derived measure of global terrestrial primary production // Bioscience. 2004. Vol 56. No 6. P. 547-560.
7. Santoro, M., Beer, C., Cartus, O., Schimmlus, C., Shvidenko, A., McCallum, I., Wegmüller, U., Wiesmann, A. Retrieval of growing stock volume in boreal forest using hyper-temporal series of Envisat ASAR ScanSAR backscatter measurements // Remote Sensing of Environment. 2011. Vol. 115. No 2. P. 490-507.
8. Schepaschenko D., McCallum I., Shvidenko A., Fritz S., Kraxner F., Obersteiner M. A new hybrid land cover dataset for Russia: a methodology for integrating statistics, remote sensing and in situ information // Journal of Land Use Science. 2010. iFirst, doi: 10.1080/1747423X.2010.511681, 1-15.
9. Shvidenko, A., Schepaschenko, D., Nilsson, S., Bouloui, Y. Semi-empirical models for assessing biological productivity of Northern Eurasian forests // Ecological Modelling. 2007. Vol. 204. P. 163-179.
10. Shvidenko A., Schepaschenko D., McCallum I., Nilsson S. Can the uncertainty of full carbon accounting of forest ecosystems be made acceptable to policy makers? // Climatic Change. 2010. Vol. 103 (1-2). P. 137-157.
11. Vivchar A. Wildfires in Russia in 2000-2008: estimates of burnt areas using the satellite MODIS MCD45 data // Remote Sensing Letters. 2011. No 2(1). P.81-90.

INTEGRATION OF REMOTE SENSING AND GROUND METHODS IN RESEARCH OF CARBON CYCLING OF RUSSIAN FORESTS

A. SHVIDENKO^{1,2}, D. SCHEPASCHENKO^{1,3}, I. McCALLUM¹

¹International Institute for Applied Systems Analysis

²Institute of Forests, SB RAS

³Moscow State University of Forest

The presentation discusses the role and specifics of application of remote sensing in modern methodologies of understanding of carbon cycling of forest taking into account fuzziness of the problem and specifics of Russia's forests. It is shown that system integration of satellite data, ground information and models of forest ecosystems is an obligatory component of a full verified carbon account of forest ecosystems of Russia. Such an approach allows to limit uncertainties of the account to a level which seems acceptable for policy makers

АЭРОКОСМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В ЛЕСОВЕДЕНИИ, ЛЕСНОМ ХОЗЯЙСТВЕ И ЭКОЛОГИИ

АНАЛИЗ СТРУКТУРНЫХ СВЯЗЕЙ ДЕШИФРОВОЧНЫХ ПРИЗНАКОВ СПУТНИКОВЫХ СНИМКОВ И ТАКСАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ ЛЕСНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Р.А. АЛЕШКО¹, А.Т. ГУРЬЕВ¹, С.В. ТОРХОВ²

¹Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова

²Архангельский филиал ФГУП РОСЛЕСИНФОРГ

Использованы методы системного анализа для исследования процессов тематической обработки спутниковых снимков. Разработаны модели структурных связей и свойств лесонасаждений и дешифровочных признаков спутниковых снимков в различных спектральных каналах для обзорных и детальных снимков. Предложен критерий оценки альтернативных вариантов тематической обработки. Построены производственные правила дешифрирования таксационных параметров насаждений.

Предметной областью исследований являются объекты и процессы тематической обработки спутниковых снимков лесных территорий, интеграция их с распределенными базами пространственных данных.

Объектами тематической обработки снимков лесных территорий нами выделены единицы площади лесной территории (участковое лесничество, квартал, выдел и т.д.) и дешифровочные признаки насаждений. Единицы площади лесных территорий и дешифровочные признаки могут обладать свойствами.

Процессы тематической обработки снимков должны обеспечить эффективное дешифрирование лесных территорий с использованием алгоритмов автоматизированной и автоматической обработки пространственных данных.

Проблемной областью исследований являются задачи повышения эффективности дешифрирования снимков лесных территорий.

Обобщающей методологией проектирования и совершенствования технических, природных и социальных систем являются методы системного анализа, объекты изучения которых – сложные системы. Основными задачами системного анализа считаются (Антонов, 2008; Рыков, 2009; Зарубин, 2001): построение структуры системы, анализ ее элементов и компонентов; построение моделей; определение целей системного анализа и формирование критериев; генерирование альтернатив; реализация выбора и принятия решений.

Объект и свойства объекта, связь между объектами и свойствами объектов позволяют передать семантику моделируемых систем. Универсальным средством описания структур систем являются полихроматические множества и графы (Павлов, 2006), которые могут быть интегрированы с другими методами моделирования.

При проведении исследований использовались следующие изображения: обзорные снимки с аппаратов Landsat5, Landsat-7; детальные снимки с аппарата GeoEye, Iconos.

Для обзорных спутниковых снимков установлены структурные связи между количественными и качественными характеристиками древостоя в выделе: преобладающая порода, класс возраста, класс бонитета, тип леса и дешифровочными признаками снимков в спектральных каналах: ближнем инфракрасном, видимых синем, зеленым и красным для обзорных снимков.

Например, для таксационных параметров «преобладающая порода», «тип леса» и дешифровочного признака «яркость в видимом синем спектре» связи будут выглядеть, как показано на рисунке 1.

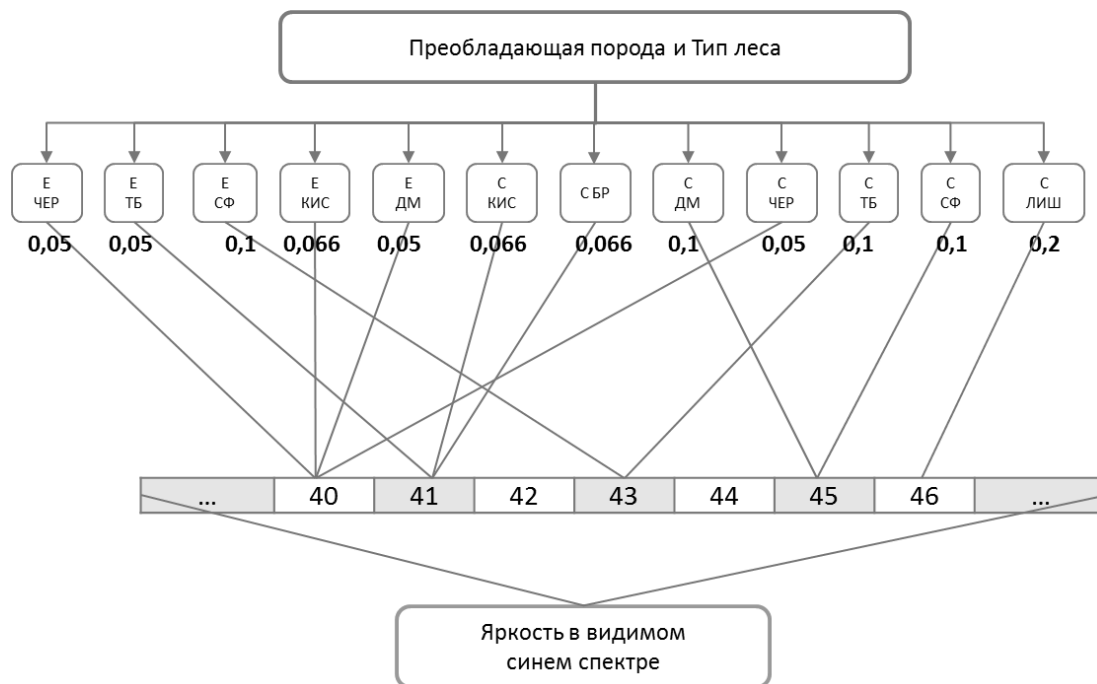


Рис. 1. Связь между свойствами древостоя «преобладающая порода и тип леса» и свойством спутникового снимка «яркость в видимом синем спектре»

Представлена схема связей преобладающей породы совместно с типом леса и значений яркости пикселей изображения в видимом синем спектральном канале. На рисунке видно, что для некоторых значений яркости свойственно большое количество связей (например, для «40» - 4 связи, для «41» - 3 связи), для других значений – малое. Если предположить, что общая сила связи между дешифровочным признаком и таксационным показателем равна единице, то можно представить силы связей отдельных значений этих параметров в долях от единицы. Данное значение будет также представлять вероятность верного определения таксационного показателя по имеющейся спектральной яркости.

Если построить подобные схемы для четырех спектральных каналов, то таксационный параметр «тип леса и порода» можно представить в виде правила на основе продукционной модели «ЕСЛИ»-«ТО»:

ЕСЛИ

- «яркость в видимом синем спектре» = 40
- И «яркость в видимом зеленом спектре» = 16
- И «яркость в видимом красном» = 12
- И «яркость в ближнем инфракрасном спектре» = 33

ТО

«тип леса и порода» = «Е ДМ»

Для детальных снимков лесных насаждений установлены структурные связи большинства характеристик древостоя в выделе с дешифровочными признаками снимка – рисунок изображения (форма, кроны, проекция тени, тон и др.).

Например, для таксационного параметра «преобладающая порода» и дешифровочного признака «форма проекций крон» связи будут выглядеть, как показано на рисунке 2.

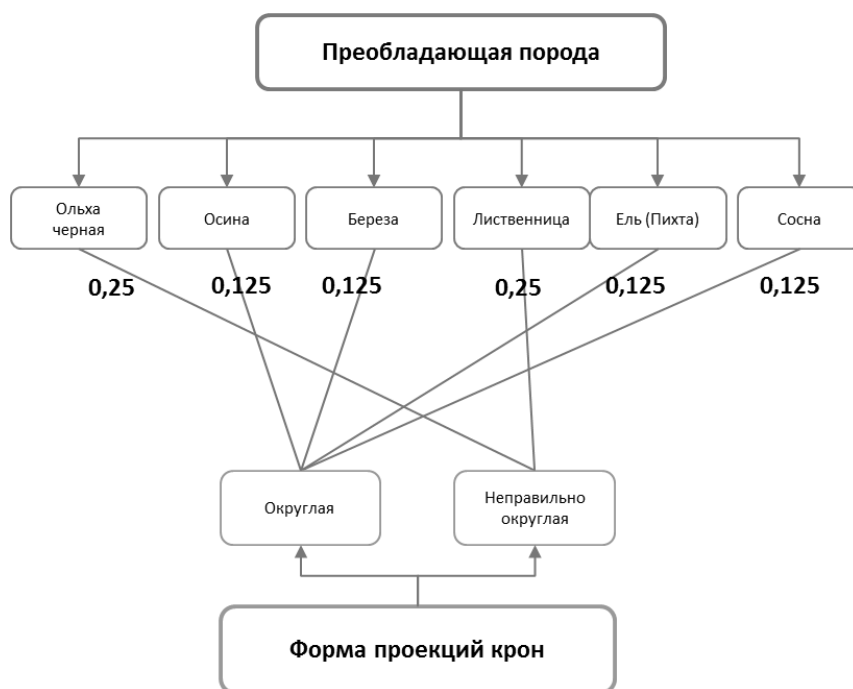


Рис. 2. Связь между свойствами древостоя «преобладающая порода» и свойством спутникового снимка «форма проекций крон»

Представлена схема связей преобладающей породы и вариантов значений дешифровочного признака «форма проекций крон» на детальном спутниковом снимке. Для значений параметра «округлая» свойственна низкая вероятность верного определения таксационного параметра, для «неправильно округлая» - вероятность высокая.

Для таксационного параметра «преобладающая порода» правила на основе продукционной модели «ЕСЛИ»-«ТО» будут выглядеть следующим образом:

ЕСЛИ

«собственная тень» = «полумесяц» И «форма проекций крон» = «округлая»

И «форма крон» = «параболоид» И «вид крон в пологе» = «выпуклые»

И «варьирование» = «1:3» И «протяженность крон» = «1/3-1/5»

И «тон крон» = «зеленый» И «яркость крон» = «светло-серые»

ТО

«преобладающая порода» = «сосна»

Аналогичные структурные модели между свойствами объектов леса и свойствами дешифровочных признаков леса построены и для других характеристик древостоя, как для обзорных, так и детальных спутниковых снимков.

Построенные структурные схемы и продукционные правила можно обобщить для других таксационных параметров и дешифровочных признаков, реализуя тем самым формализованный переход от параметров снимка к параметрам лесных насаждений. Полученные результаты являются основой для разработки автоматизированного дешифрирования спутниковых снимков лесов и реализации экспертной системы автоматизированного дешифрирования лесов с использованием обзорных и детальных спутниковых снимков.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алешко Р.А., Гурьев А.Т. Разработка методики автоматизированной обработки данных дистанционного зондирования лесных насаждений // Информационные технологии в исследовании Северных и Арктических территорий: материалы науч.-техн. конф. (Архангельск, 28-29 июня 2012 г.) / Сев. (Арктич.) федер. ун-т. – Архангельск: ИПЦ САФУ, 2012. – с. 3-9.

2. Антонов А.В. Системный анализ: Учеб. для вузов / А.В. Антонов. – 3-е изд., стер. – М.: Высш. шк., 2008. – 454 с.
3. Гурьев А.Т., Алешко Р.А., Торхов С.В., Трубин Д.В. Тематическая обработка спутниковых снимков лесных территорий на основе структурных моделей. – Архангельск: Северный (Арктический) федеральный университет (САФУ), 2013. – 150 с.
4. Зарубин В.С. Математическое моделирование в технике: учеб. для вузов / под ред. В.С. Зарубина, А.П. Крищенко. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. – 496 с.
5. Павлов В.В. Структурное моделирование в CALS / В.В. Павлов; [отв. Ред. Ю.М. Соломенцев]; Ин-т конструкторско-технологической информатики РАН. – М.: Наука, 2006. – 307 с.
6. Рыков А.С. Системный анализ: модели и методы принятия решений и поисковой оптимизации. – М.: Издательский Дом МИСиС, 2009. – 608 с.

ANALYSIS OF STRUCTURAL RELATIONSHIPS BETWEEN INTERPRETIVE FEATURES SATELLITE IMAGERY AND FOREST INVENTORY PARAMETERS FORESTS

R.A. ALESHKO¹, A.T. GURIEV¹, S.V. TORKHOV²

¹Northern (Arctic) federal university named after M.V. Lomonosov

²ROSLESINFORG Arkhangelsk Branch

The methods of systems analysis for researching of satellite imagery thematic processing are used. We developed the models of structural relationships and properties of forests and satellite images interpretive features in different spectral bands of the survey and detailed images. In addition, we proposed criterion for alternatives evaluating of thematic processing. Production rules for interpretation of forest inventory parameters are constructed.

ТЕХНОЛОГИЯ ОЦЕНКИ ПЛОЩАДИ ПОЖАРОВ НА ОСНОВЕ КОМБИНИРОВАННОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ MODIS И LANDSAT-TM/ETM+

**С.А. БАРТАЛЕВ, В.А. ЕГОРОВ, В.Ю. ЕФРЕМОВ, Е.А. ЛУПЯН,
Ф.В. СТЫЦЕНКО, Е.В. ФЛИТМАН**

Институт космических исследований РАН

В работе представлена автоматизированная технология интегрированной оценки площади пожаров на основе совместного использования спутниковых данных различного пространственного разрешения, получаемых системами дистанционного зондирования MODIS и Landsat-TM/ETM+. Технология включает получение и комплексирование трех типов оценок площади пожаров, отличающихся уровнями оперативности и точности. Наиболее оперативная оценка площади пожара основана на пространственно-временной агрегации результатов детектирования действующих пожаров по данным MODIS с пространственным разрешением около 1 км. Последующие уточненные оценки получают за счет использования информации об отражательной способности по данным прибора MODIS пространственного разрешения 230 м, и изображений Landsat-TM/ETM+ с пространственным разрешением около 30 м. Разработанная технологическая схема предполагает комплексирование на уровне отдельных пожаров трех различных типов данных путем использования потенциально наиболее точной оценки из всех доступных на текущий момент времени.

Являясь одним из основных факторов воздействия на лесные и другие типы наземных экосистем России, пожары ежегодно повреждают растительный покров на площади, измеряемой миллионами гектаров (Korovin, 1996). Данные о пройденной огнем площади являются важной информацией для организации эффективной охраны лесов от пожаров, оценки их экологических и экономических последствий. В зависимости от решаемых задач предъявляются различные требования к уровням оперативности и точности оценки пройденной огнем площади. Так, при организации тушения действующих пожаров основным требованием к получаемой информации является ее оперативность и частота обновления, которая должна достигать нескольких раз в день. С другой стороны, задачи

оценки экономических и экологических последствий пожаров требуют максимально точной оценки пройденных огнем площадей. Такие данные получаются в течение нескольких недель или месяцев после пожара и используются, в частности, для обновления материалов инвентаризации лесов, планирования лесохозяйственных мероприятий, оценки эмиссии углерода и решения других задач.

Разработанная к настоящему времени технология дистанционного мониторинга природных пожаров (ТДМП) позволяет создавать соответствующие функциональные модули в составе различных систем контроля окружающей среды. В частности, на основе ТДМП создан модуль детектирования и оценки последствий природных пожаров в структуре спутникового сервиса ВЕГА, ориентированного на решение задач мониторинга растительного покрова на территории Северной Евразии (Лупян и др., 2011). ТДМП является ключевой технологией для построения и развития Информационной системы дистанционного мониторинга лесов ИСДМ-Рослесхоз (Loupian et al., 2006; Барталев и др., 2008). Созданные на основе ТДМП системы позволяют получать однородную информацию о пожарах и их последствиях на огромных территориях. При этом, для оценки пройденных огнем площадей в системе используется три основных источника спутниковых данных, а именно:

- (i) результаты детектирования действующих пожаров с использованием стандартного алгоритма MOD14 (Justice et al., 2006), по данным MODIS уровня обработки Level 1B (Toller et al., 2006), полученным станциями приема спутниковых данных сети партнерских организаций. Одновременно осуществляется получение данных MOD14 с веб-сайта системы FIRMS (<http://firefly.geog.umd.edu/firms>);
- (ii) данные ежедневных измерений коэффициента спектральной яркости (КСЯ) земной поверхности спектрорадиометром MODIS, включая информацию о геометрических условиях солнечного освещения и проведения спутниковых наблюдений (стандартные продукты MOD09 <http://lpdaac.usgs.gov/main.asp>);
- (iii) данные Landsat-TM/ETM+, автоматически поступающие в архив данных ИКИ РАН с веб-сайта геологической службы США (USGS Glovis <http://glovis.usgs.gov>).

Автоматизированная технология оценки площади пожаров основана на интеграции трех указанных выше источников данных и, получаемых в результате их обработки, информационных продуктов, таких как:

- (i) *AFBA (Active Fire Burnt Area)* – границы (полигоны) пройденных огнем участков, формируемые на основе пространственно-временной кластеризации пикселей действующих пожаров (*hot-spots*), выявляемых по данным MODIS с пространственным разрешением около 1 км;
- (ii) *SRBA (Surface Reflectance Burnt Area)* – результаты выявления пройденных огнем участков с пространственным разрешением 230 м на основе комбинированного использования продуктов MODIS, включая данные измерений КСЯ земной поверхности и координатах *hot-spots* пикселей;
- (iii) *HRBA (High Resolution Burnt Area)* – результаты картографирования пожаров с пространственным разрешением около 30 м на основе данных Landsat-TM/ETM.

Продукт *AFBA* обеспечивает наиболее оперативную оценку пройденной огнем площади, которая может быть замещена одной из двух оценок, полученных на основе продукта *SRBA* или продукта *HRBA*, в зависимости от их доступности. Продукт *SRBA* производится регулярно на основе ежедневных данных MODIS, обычно через несколько недель после получения продукта *AFBA* и, чаще всего, появляется раньше продукта *HRBA*. Эта последовательность может не выполняться в случаях, когда, например, небольшой по площади пожар не был выявлен на основе алгоритма *SRBA*.

Интегрированная оценка площади пожаров предполагает комбинированное использование всех трех, непрерывно обновляемых в течении пожароопасного сезона, информационных продуктов *AFBA*, *SRBA* и *HRBA*, с целью получения наиболее точной для данного момента времени оценки. Полученные на основе трех различных методов и

внесенные в БД записи о конурах отдельных пожаров связываются между собой через идентификаторы контуров пожаров, входящих в состав информационного продукта *AFBA*. Процедура интеграции информационных продуктов предусматривает проверку контура каждого пожара по данным *AFBA* с целью поиска соответствующих ему контуров пожаров по данным *SRBA* и *HRBA*. Если пожар выявлен только по данным *AFBA*, то при оценке пройденных огнем площадей учитывается только площадь, полученная по результатам детектирования очагов горения. Если же пожар выявлен по данным *SRBA* или *HRBA*, то оценка по данным *AFBA*, замещается соответствующей уточненной оценкой, с приоритетом использования данных *HRBA*, как имеющих большее высокую точность.

Основанная на комплексировании спутниковых данных различного пространственного разрешения технология интегрированной оценки площади пожаров была использована для определения масштабов воздействия огня на растительный покров России в 2011 и 2012 годах. Сравнение с данными информационного продукта *HRBA* площадей пожаров, полученных по результатам детектирования действующих очагов горения по данным MODIS позволило получить оценки значений относительных среднеквадратической и систематической ошибок, составившие соответственно: $СКО = \pm 2,43\%$ и $СО = -14,1\%$.

Аналогично полученные оценки точности определения площадей пожаров по данным MODIS методом *SRBA* составили соответственно $СКО = \pm 1,52\%$; $СО = -8,7\%$ Экспериментально полученные зависимости (рис. 1) демонстрируют снижение величины $СКО$ оценки площадей пожаров с ростом их размеров.

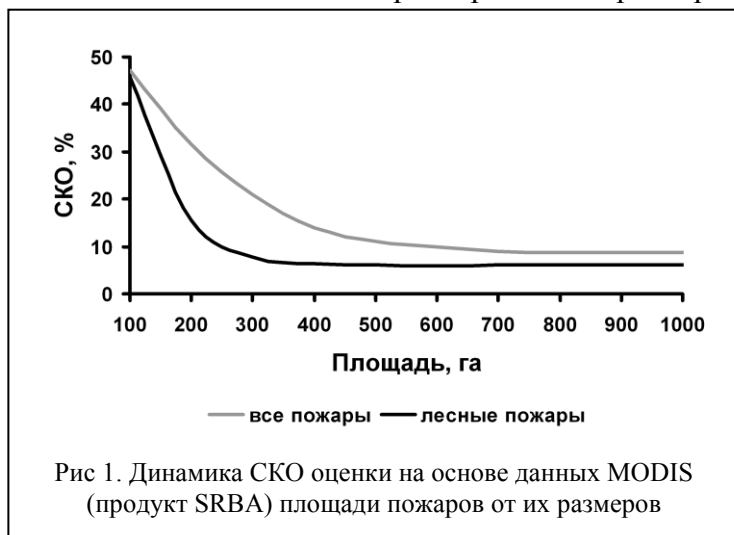


Рис 1. Динамика СКО оценки на основе данных MODIS (продукт SRBA) площади пожаров от их размеров

Комплексирование различных спутниковых данных и методов их обработки позволяет получать наиболее полную на текущий момент и регулярно уточняемую в течение пожароопасного сезона оценку масштабов повреждения растительного покрова пожарами. Представленные в работе результаты получены при поддержке Министерства образования и науки РФ (Государственный контракт № 14.515.11.0007 на выполнение НИР по теме «Разработка методов дистанционного мониторинга

природных пожаров для оценки их воздействия на окружающую среду и прогнозирования техногенных рисков» - Шифр: 2013-1.5-14-515-0039-021).

ЛИТЕРАТУРА

1. Барталев С.А., и др. Информационная система дистанционного мониторинга лесных пожаров Федерального агентства лесного хозяйства РФ (состояние и перспективы развития) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2008. Т.2. № 5. С.419-429.
2. Лупян Е.А., и др. Спутниковый сервис мониторинга состояния растительности ("Вега") // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т.8. № 1. С.190-198.
3. Justice, C., et al. MODIS Fire Products Algorithm Technical Background Document. Version 2.3, 2006. http://modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd_mod14.pdf
4. Korovin G.N. Analysis of the Distribution of Forest Fires in Russia, in Fire in ecosystems of boreal Eurasia // Forestry Sciences. 1996. V.48. 112.
5. Loupian, E.A., et al. Satellite Monitoring of Forest Fires in Russia at Federal and Regional Levels // Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change. 2006. V.11. P-113.
6. Toller, G.N., et al. MODIS Level 1B Product User's Guide for Level 1B Version 6.1.0 (Terra) and Version 6.1.1 (Aqua) // NASA Goddard Space Flight Center. 2006.

BURNT AREA ASSESSMENT BASED ON COMBINE USE OF MODIS AND LANDSAT-TM/ETM+ SATELLITE DATA

**S. A. BARTALEV, V. A. EGOROV, V.YU. EFREMOV, E. A. LOUPIAN
F.V. STYTSENKO, E.V. FLITMAN**

Space Research Institute RAS

The study focused on automated technology for integrated assessment of burnt area based on combined use of multi-resolution satellite data acquired by the Earth observation systems MODIS и Landsat-TM/ETM+. The most rapid burnt area assessment is based on spatial-temporal clustering of hot-spots detected based on the MODIS data with spatial resolution about 1 km. This first burnt area assessment is a subject of consecutive accuracy improvement through additional use of the MODIS surface reflectance data with spatial resolution 230 m. The most accurate burnt area assessment is based on additional use of the Landsat-TM/ETM+ images with about 30 m spatial resolution. The developed technology involves integration of all three burnt area products based on use from all available for given time assessments most potentially accurate one for each individual fire event.

ВЫЯВЛЕНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ В ЛЕСАХ НА ОСНОВЕ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ КОСМИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ (НА ПРИМЕРЕ ООПТ «СМОЛЕНСКОЕ ПООЗЕРЬЕ»)

О.В.БРОВКИНА

Санкт-Петербургский научно-исследовательский центр экологической безопасности РАН

В статье описана задача выявления изменений в лесах на основе автоматизированных и интерактивных методов обработки материалов космической съемки. Приведены требования к исходным данным для обнаружения рубок, гарей, ветровалов, сухостоев, а также актуализации таксационного описания.

В последнее время при решении задач лесоустройства по выявлению изменений в лесах все чаще используются материалы космической съемки. Привлечение данных дистанционных наблюдений объясняется рядом их характеристик: оперативность получения изображения подстилающей поверхности, обзорность, сверхвысокое пространственное разрешение снимков (от 0,5 м) и возможность одномоментной регистрации изображения в различных спектральных диапазонах.

Своевременное выявление изменений в лесах крайне актуально на особо охраняемых природных территориях. Национальный Парк "Смоленское Поозерье" (НП) включает в себя более 146 тыс.га, из них 80% занимают широколиственно-еловые леса. Используя материалы космической съемки, на территории НП были выявлены нарушения лесного покрова: рубки, гари, ветровалы и сухостои. Для одного из лесничеств проведена актуализация таксационного описания.

В качестве исходных данных для работы использовались космические снимки съемочных систем RapidEye и GeoEye, полученные в июле 2011 и 2012 гг. соответственно. Выбор типа спутниковой аппаратуры основывался на разработанных требованиях, предъявляемых к космическим снимкам для выявления изменений в лесах (табл. 1). Исходными данными также были квартальная сеть лесничеств, таксационное описание с планшетами, топооснова М1:200000 (цифровая карта местности) и библиотека спектральных признаков объектов ландшафта. Для обработки исходных данных использовалось программное обеспечение ArcGIS, ENVI и специализированное программное обеспечение.

Выявление рубок, гарей, ветровалов и сухостоев производилось в автоматизированном режиме. Структурная схема алгоритма приведена на рисунке 1. Результат обработки представлялся в геоинформационной системе (ГИС) с заполненными атрибутами

выявленных объектов: дата снимка, площадь нарушения лесного покрова и ориентировочный эколого-экономический ущерб. Для объектов "гарь" определялась степень лесовозобновления выгоревшей территории (рис. 2).

Актуализация таксационного описания заключалась в определении таксационных характеристик на основе автоматизированного и интерактивного дешифрирования материалов космической съемки: породного состава, полноты, высоты древостоев, диаметра крон. В результате автоматизированного распознавания породного состава уверенно обозначились два класса пород – хвойные и лиственные, дальнейшее уточнение выполнялось с привлечением материалов последнего лесоустройства и библиотеки спектральных признаков растительности. Полнота определялась исходя из значения сомкнутости крон, полученного автоматизированным методом. Для определения таких параметров, как высота древостоев и диаметр крон, использовались измерительные методы космического снимка в стереорежиме и значения высоты стояния Солнца. Полученные значения заносились в атрибутивную таблицу, которая использовалась для формирования файла актуализированного таксационного описания.

Таблица 1. Требования к характеристикам материалов дистанционных наблюдений

Наименование задачи	Спектральный диапазон, мкм	Линейное разрешение на местн., м	Периодичность
Выявление рубок	B 0,44-0,51 G 0,52-0,60 R 0,63-0,69 NIR 0,76-0,90	Не хуже 6,5	1 раз в год
Выявление гарей	B 0,44-0,51 G 0,52-0,60 R 0,63-0,69 RedEdge 0,69-0,73 NIR 0,76-0,90		После пожара
Выявление погибших насаждений (сухостой)	B 0,44-0,51 G 0,52-0,60 R 0,63-0,69 RedEdge 0,69-0,73 NIR 0,76-0,90		1 раз в 3-5 лет
Выявление ветровалов, буреломов	B 0,44-0,51 G 0,52-0,60 R 0,63-0,69 NIR 0,76-0,90		После шквального ветра
Актуализация таксационного описания	PAN 0,40-0,90 B 0,44-0,51 G 0,52-0,60 R 0,63-0,69	Не хуже 1 Не хуже 2	1 раз в 5 лет

Общие требования: облачность – не более 5 %; сезон года для съемки – май-сентябрь.

Результаты обработки материалов космической съемки представлены в виде тематических слоев цифровой карты в ГИС. Созданная карта отражает актуальную информацию и позволяет оценивать динамику состояния лесной территории Национального парка.

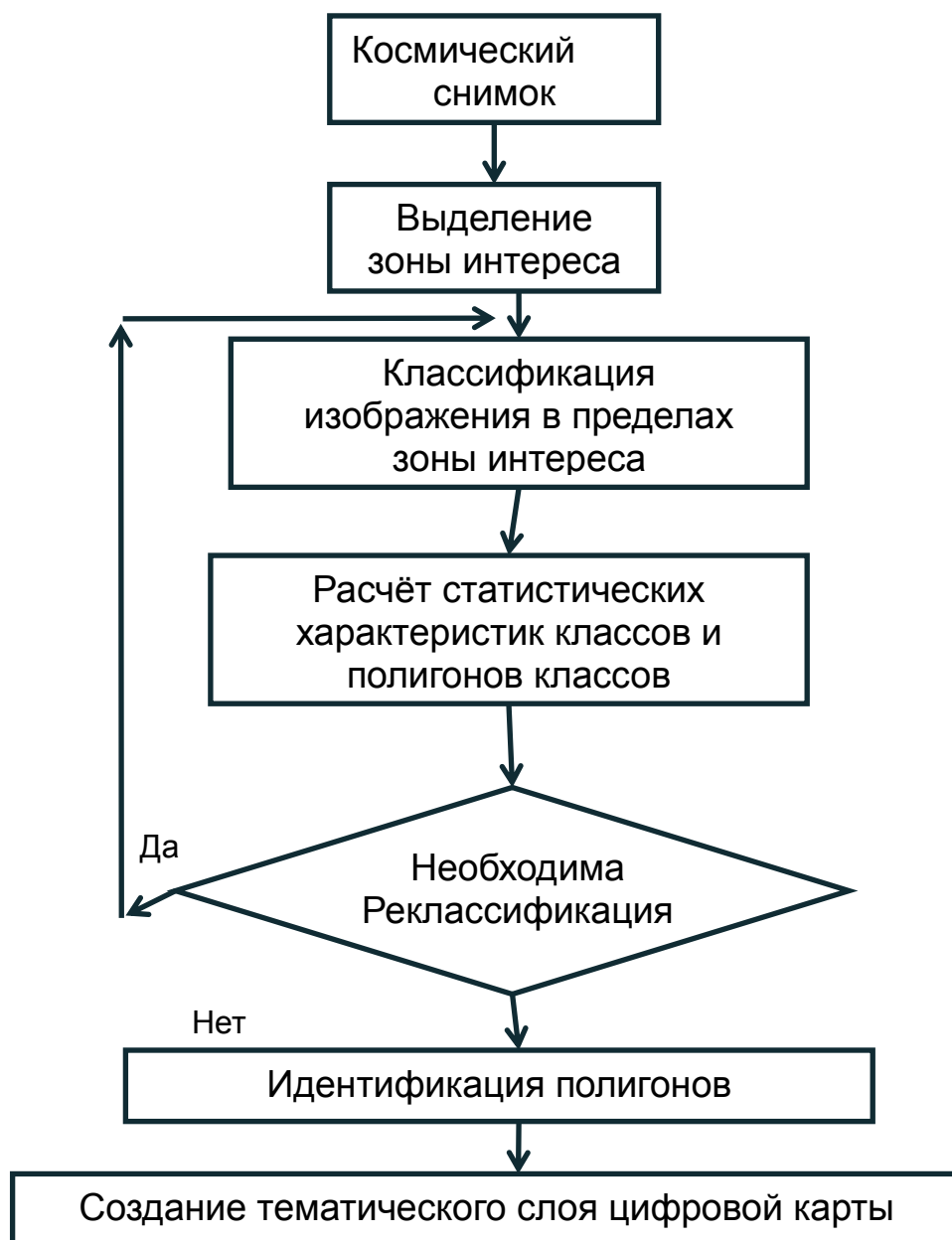


Рис. 1. Структурная схема алгоритма выявления нарушений лесного покрова

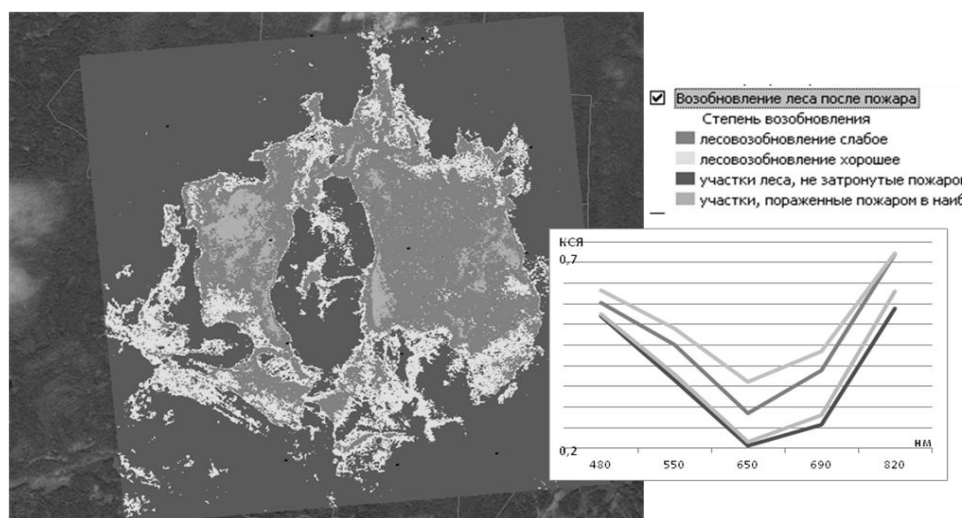


Рис. 2. Оценка лесовозобновления гари

ЛИТЕРАТУРА

1. *Жирин В.М., Сухих В.И., Шаталов А.В., Бутусов О.Б., Эйшлин С.П.* Использование космических снимков для изучения динамики зарастания гарей // Исследование Земли из космоса. 2004. № 5. С. 69-76.
2. *Минаев В.Н., Леонтьев Л.Л., Ковязин В.Ф.* Таксация леса М.:Лань, 2010 г., 248 с.
3. *Самойлович Г. Г.* Применение аэрофотосъемки и авиации в лесном хозяйстве, 2 изд., М., 1964.

FOREST CHANGE DETECTION BASED ON SPACE IMAGES

O.V.BROVKINA

Scientific Research Centre for Ecological Safety Russian Academy of Sciences

We summarize the capacity of high spatial resolution space imagery to support forest change monitoring. It is shown in review the technical requirements to remote sensing data for forest cuts, windfalls, dead trees and forest valuation detection.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННЫХ КОСМИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ LANDSAT ДЛЯ СОЗДАНИЯ ОБЩЕДОСТУПНОЙ КАРТЫ ЛЕСОВ АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ И ВЫЯВЛЕНИЯ ИЗМЕНЕНИЙ В ЛЕСНОМ ПОКРОВЕ С СЕРЕДИНЫ 70-Х ГГ. XX ВЕКА

Н.А. ВЛАДИМИРОВА, Е.С. ЕСИПОВА, А.М. КРЫЛОВ

НП «Прозрачный мир»

В работе рассматривается опыт создания общедоступной карты лесов Архангельской области по материалам космической съемки Landsat за период 1975 – 2007 гг.

В России существует экстенсивная система управления лесами, однако обсуждение данной проблемы во многом носит общий характер из-за отсутствия общедоступной информации о состоянии и динамики лесов. Это же создает серьезные препятствия для участия общественности в управлении лесами, привлечении инвестиций в лесной сектор, для движения к интенсификации лесного хозяйства. Существующая лесоустроительная информация является практически недоступной для большей части заинтересованных сторон и общественности, а зачастую и не отражающей актуальное состояние лесов. Кроме того, отсутствуют качественные обобщения актуальной лесоустроительной картографической информации на уровне субъектов РФ, федеральных округов или лесных районов.

Эффективным решением означенной проблемы может стать использование общедоступных спутниковых данных среднего разрешения в целях получения актуальной и независимой информации о лесных экосистемах. Составление карт растительного покрова и его мониторинг с помощью материалов дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) имеет ряд преимуществ, включая достаточную точность и актуальность результатов, возможность осуществления таких работ организациями проверки, уточнения и актуализации.

Важным достижением в этой области стало создание карты лесов России на основе Spot Vegetation (Леса центра и севера Европейской России..., 2008), а также ежегодно обновляемой карты на базе MODIS (Барталев, 2005). Вместе с тем в большинстве случаев разрешения снимков MODIS недостаточно для оценки динамики лесопользования и восстановления лесных ресурсов.

НП «Прозрачный мир» в рамках проекта «Интенсивное и устойчивое лесопользование в России» создает карты лесов территории Северо-Запада РФ на основе данных космической съемки Landsat TM/ETM+ и MSS. Преимуществом использования данных космической съемки Landsat является наличие большого покрытия снимков за длительный период,

начиная с 1970х годов, что дает возможность произвести оценку состояния лесного покрова на обширных территориях за несколько временных периодов. По данным космической съемки Landsat возможно достаточно точное определение типа растительного покрова и преобладающей породы лесов. Кроме того, применение временной серии снимков позволяет определить возраст насаждений на месте гарей, рубок и других повреждений, если лес на этих территориях был уничтожен полностью.

К настоящему времени завершены работы по созданию карты лесов Архангельской области по данным Landsat трех временных срезов: 1975-80, 2000 и 2007 гг.

Для создания промежуточных карт типа растительного покрова для срезов 2000х и 2007 гг. использовались мультиспектральные спутниковые снимки Landsat7/ETM, Landsat5/TM (разрешение 30 м/пиксель). Преимущество отдавалось последним по времени данным уровня обработки L1T. Для создания карты среза 1973-1976 г. было собрано покрытие из изображений Landsat MSS пространственным разрешением 60 м.

Для достижения поставленной цели нами использовались две **методики** - для дешифрирования данных Landsat TM и ETM+ и для дешифрирования Landsat MSS.

Методика дешифрирования TM и ETM+ подробно описана в работе (Владимирова, Есипова, 2011). Основная работа велась в программном пакете ScanEx NeRIS: проводилась контролируемая классификация методом обучения нейронных сетей. В результате классификации и использовании готовых вспомогательных слоев были получены две карты основных типов растительного покрова на Архангельскую область. Карты включают следующие классы: леса с доминированием темнохвойных пород, зеленомошные сосняки, лишайниковые сосняки, сфагновые сосняки, лиственные леса, смешанные леса, сфагновые болота, травяные болота, обводненные болота, вырубки, гари, ветровалы, водоемы, участки тундры и необлесенные территории.

Космические снимки Landsat MSS гораздо хуже поддаются автоматизированной обработке, чем более поздние изображения Landsat. Поэтому выделить такие же типы растительного покрова, как для 2000 и 2007 г, невозможно. Надежно были выделены только свежие вырубки, гари, более старые зарастающие вырубки, участки не подвергшегося изменениям леса, болота и нелесные земли (водоемы, поля и т.п.).

Дальнейшее картирование насаждений проводилось с помощью последовательного выявления изменений, и это позволило получить представление о динамике лесных экосистем Архангельской области, а в частности определить примерный возраст всех насаждений, возобновившихся после 1973-75 гг. Для этого выполнялся поиск и исправление ошибок дешифрирования путем вычленения заведомо ошибочных изменений в растительном покрове. Также была проведена визуальная проверка точности дешифрирования для каждого класса переходов. Использование данных за 3 временных периода позволило создать более подробную карту растительного покрова по состоянию на 2007 год.

Результатирующая карта содержит 23 класса: ельники, сосняки зеленомошные, сосняки лишайниковые, сосняки сфагновые, лиственные леса (с разделением на 3 возрастные группы), смешанные леса (с разделением на 2 возрастные группы), болота сфагновые, болота травяно-березовые, болота обводненные, водоемы, тундра, антропогенные ландшафты, а также нарушения: вырубки, гари и ветровалы с разделением на старые и свежие.

Анализ карты показывает абсолютное доминирование рубок леса среди всех нарушений лесного покрова. Большая часть рубок сосредоточена в крупных хвойных массивах. Большинство рубок восстанавливается естественным путем, однако сроки восстановления нередко превышают 10 лет. На участках, вырубленных в первой половине XX века, сформировались массивы смешанного леса с вкраплениями хвойных насаждений, которые могли бы в настоящее время вовлекаться в эксплуатацию вместо малонарушенных лесных территорий. В то же время за период 2000-2007 гг. рубок в этих массивах проводится очень мало. Текущее состояние лесов Архангельской области является следствием

многолетней экстенсивной эксплуатации, и изменения в лесном фонде, произошедшие с 2000-2007 гг., продолжают этот тренд.

На базе созданной карты возможна организация ежегодного мониторинга лесопользования, оценка его соответствия принципам устойчивого управления лесами. Также карта может использоваться для прогнозирования динамики лесных ресурсов, их экономической доступности, влияния лесозаготовок на сохранение лесов высокой природоохранной ценности, оценки углерододепонирующих функций насаждений при разных сценариях развития лесного сектора Архангельской области.

Окончательный вариант созданной карты будет размещен в сети Интернет для свободного использования всеми заинтересованными сторонами. Авторы надеются, что созданные данные послужат базой для дополнительных исследований в области устойчивого лесопользования и сохранения окружающей среды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Барталев С.А., Ершов Д.В., Исаев А.С., Потапов П.В., Турубанова С.А., Ярошенко А.Ю. Карта "Леса России" масштаба 1:14000000, окрашенная по группам преобладающих пород и сомкнутости лесов // М.: Гринпис, 2005.
2. Владимирова Н.А., Есипова Е.С. Использование данных космической съемки Landsat для создания общедоступных карт лесов севера европейской России // "Земля из космоса - наиболее эффективные решения", пятая международная конференция 29 ноября - 1 декабря 2011 г. / Сборник тезисов. - М.: Инженерно-технологический Центр СканЭкс, НП "Прозрачный мир", Издательство Бином, 2011- 416 с. С. 61-64
3. Леса центра и севера Европейской России: Карта масштаба 1:4 500 000 / А. Ю. Ярошенко, Д. А. Добрынин, А. В. Егоров, И. В. Журавлева, А. Е. Маниша, П. В. Потапов, С. А. Турубанова, Е. В. Хакимулин. Гринпис России. - М., 2008

USE OF LANDSAT IMAGERY TO CREATE A PUBLIC FOREST MAP OF ARKHANGELSK REGION AND TO DETECT CHANGES IN FOREST COVER SINCE THE MID 70-IES

N.A. VLADIMIROVA, E.S. ESIPOVA, A.M. KRYLOV

NGO "Transparent World"

The creation of the public forest map of the Arkhangelsk region based on Landsat satellite imagery for the period 1975 - 2007 years is discussed.

РАДИОЛОКАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ДЛЯ ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА

**С.Л. ВНОТЧЕНКО, М.Ю. ДОСТОВАЛОВ, Р.В. ЕРМАКОВ, А.И. КОВАЛЕНКО,
Т.Г. МУСИНЯНЦ, В.В. РИМАН, С.Н. СМЕРНОВ, А.В. ШИШАНОВ**

ОАО «Научно-исследовательский институт точных приборов» Федерального космического агентства

Использование радиолокационных методов получения информации может существенно повысить информативность и оперативность получения результатов дистанционного мониторинга лесов. Приведены характеристики существующих и разрабатываемых образцов радиолокаторов с синтезированной апертурой авиационного и космического базирования. Определен перечень первоочередных работ в части использования радиолокационных методов в интересах лесного хозяйства.

Не зря леса называют "легкими" планеты. В значительной мере благодаря лесам на планете обеспечивается стабильность содержания кислорода и углекислого газа в атмосфере планеты. Но наблюдающееся в наше время потепление климата, влекущее за собой повышение частоты засух и лесных пожаров, может привести к дополнительному выделению углерода в атмосферу. Это чревато нарушением стабильности газового состава атмосферы, что может ускорить процесс глобального потепления. Положительная обратная

связь этих процессов может вызвать катастрофические последствия для всех проявлений жизни на нашей планете, вплоть до ее прекращения. Разумная часть человечества уже пришла к пониманию грозной опасности бесхозяйственного отношения к лесам, к недостаточной эффективности предотвращения лесных пожаров и борьбы с вредителями и болезнями лесов. Ряд международных организаций начал активную работу в этом направлении. Наша страна не может оставаться в стороне от этой работы. Ведь существенной компонентой лесов мира являются бореальные леса (тайга) России, доля которых составляет около 70% бореальных лесов мира.

По некоторым оценкам около 65% лесных пожаров происходят из-за деятельности людей. Воздействие молний намного меньше – всего около 17% случаев. По этим оценкам в бореальных лесах России ежегодно выгорает около 12 млн. га, что примерно в пять раз больше, чем в Канаде, на Аляске и в Скандинавии, вместе взятых. Если существенно не повысить уровень охраны лесов России, с каждым последующим годом в условиях потепления климата ситуация будет лишь ухудшаться. Для предотвращения этого необходимо принятие ряда серьезных мер как в части внесения изменений в лесное и смежное законодательство, так и в части выделения необходимых средств из федерального бюджета для внедрения современных технологий пожаротушения, борьбы с вредителями и мониторинга состояния лесов.

Специфические российские условия (огромные территории тайги и весьма низкая их заселенность) не позволяют обеспечивать эффективный мониторинг лесов традиционным методом – визуальным контролем. Даже использование авиации для визуального контроля не может радикально изменить ситуацию. Научными учреждениями страны проводятся исследования по возможности использования современных технологий мониторинга состояния лесного хозяйства. Использование приборных методов получения информации с авиационных носителей может существенно повысить информативность и оперативность получаемых данных, позволяет вести мониторинг в любое время суток, в неблагоприятных метеоусловиях, при смоге и задымлении. А использование данных космических съемок позволяет резко увеличить площадь контролируемых территорий.

Совместная обработка радиолокационных и оптических данных позволяет (Копылов и др., 2007) существенно повысить качество извлекаемой из этих данных информации. Особенно важно при этом наличие качественной радиолокационной информации. Ведь в отличие от данных оптического наблюдения радиолокационные методы зондирования обладают существенными достоинствами. Они одинаково хороши в любое время суток и сезона, не зависят (по крайней мере, в средних и высоких широтах) от погодных условий и задымленности в данной местности. Качественные же оптические снимки могут быть получены в условиях отсутствия облачности (вероятность ясной погоды во многих регионах России всего около 30%), задымления и смога. Так что реально рассчитывать на наличие полной совокупности данных дистанционного зондирования можно в основном при решении задач, связанных с медленными процессами изменения состояния лесов, когда можно использовать данные разных источников, полученные в разное время. Для решения оперативных задач получение полной совокупности данных далеко не всегда реально и поэтому нужно уметь решать эти задачи в случае наличия только радиолокационных данных. В таблице 1 приведены характеристики радиолокаторов с синтезированной апертурой (РСА) космического базирования разработки ОАО «НИИ ТП».

Таблица 1. Характеристики РСА космического базирования

РСА / носитель	Дата начала работы	Разрешающая способность	Ширина полосы захвата	Диапазон частот / Поляризация
Северянин-М / КА «Метеор-М»	№1 - 2009 г.	500 м	750 км (длина полосы до 4000 км)	Х / ВВ
	№2 – 2013 г.			
Касатка-Р / КА «Обзор-Р»	2015 – 2016 г.	От 1 м до 40 м в узкой полосе	От 10 км до 50 км в узкой полосе	Х / ВВ, ГГ, ВГ, ГВ

Работающий в настоящее время в экспериментальном режиме РСА «Северянин-М» метеорологического назначения имеет невысокое пространственное разрешение, но широкую полосу захвата и поэтому может использоваться только при получении обзорных радиолокационных изображений (РЛИ) для выявления крупномасштабных неоднородностей лесных массивов (рис. 1).

Разрабатываемый многоцелевой РСА «Касатка-Р» должен обеспечивать получение РЛИ с высоким пространственным разрешением (от 1 м до 40 м в узкополосных режимах) при ширине полосы захвата от 10 до 50 км. Его особенностью будет являться возможность одновременного получения РЛИ одних и тех же участков местности при разных вариантах поляризации излучаемого и отраженного сигналов. Такие характеристики РСА «Касатка-Р» позволят получать весьма детальную информацию о состоянии лесных массивов. РСА космического базирования обладает многими достоинствами.

Но есть и недостаток – нереальность срочного (через несколько часов) получения информации. Интервал от подачи заявки на съемку нужного участка местности до получения снятого РЛИ может достигать нескольких суток, а то и недель. Для некоторых задач управления лесным хозяйством такая задержка совершенно недопустима. При этом оказывается целесообразным использование другой разработки ОАО «НИИ ТП» – уникального РСА авиационного базирования семейства «Компакт» (Внотченко и др., Доклады..., 2009). Характеристики этого РСА приведены в таблице 2.

Таблица 2. Характеристики РСА авиационного базирования семейства «Компакт»

Диапазон частот	Поляризация сигналов	Разрешающая способность	Ширина полосы захвата	Масса приборов на борту
X (8600 МГц)	ВВ или ГГ (переключение ручное)	0,5 м	4 км	16 - 18 кг в каждом диапазоне
L (1310 МГц)		0,8 м	6 км	
P (430 МГц)		2,5 м	6 км	
VHF (140 МГц)		3,5 м	6 км	

В максимальном варианте это четырехдиапазонный РСА (от 3-х сантиметрового диапазона до диапазона VHF) с возможностью установки на вертолете Ми-8 или подобном. При этом антенны диапазонов VHF и P устанавливаются на внешней подвеске. В минимальном варианте – это однодиапазонный или двухдиапазонный (X и/или L), способный работать через иллюминаторы многих типов самолетов или вертолетов (рис.2).

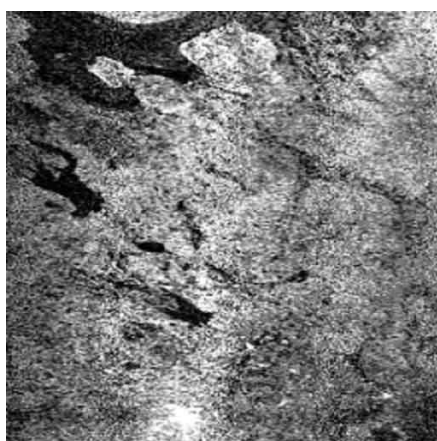


Рис. 1. Фрагмент РЛИ от Москвы до Белого моря (РСА «Северянин-М»)

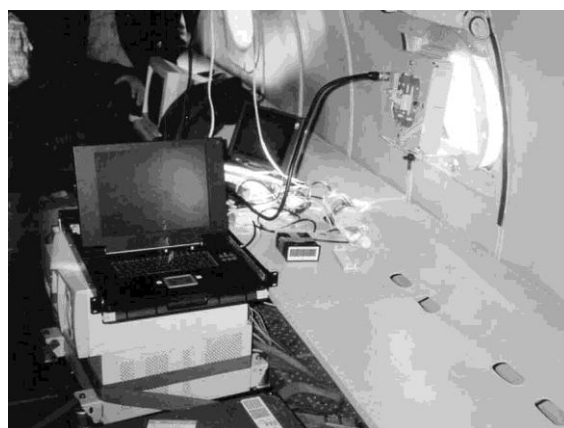


Рис. 2. РСА «Компакт» (диапазон X) на борту Ан-26

В варианте диапазонов X или L время установки РСА на воздушное судно – порядка 1 часа. Никаких изменений конструкции судна не требуется, нужна только розетка электропитания =27 В. Наземный сегмент РСА (10 кг) может быть установлен на земле в

любом отапливаемом помещении с электропитанием 220 В. РСА семейства «Компакт» уже много лет эффективно используется для решения разных практических задач (аварийно-поисковые работы, геологоразведка и т.д.), но ни одного случая реального проявления заинтересованности использования данного РСА со стороны работников лесного хозяйства не было зафиксировано. Пришлось производить съемку и частные исследования по собственной инициативе (рис. 3, Внотченко и др., 2009).



Рис. 3. Образец разновременной съемки лесного участка РСА «Компакт»

В итоге получается, что имеется уникальный экспериментальный образец авиационного РСА с широкими возможностями получения высококачественных данных для оперативного мониторинга лесного хозяйства, но нет заказов на проведение исследовательских работ в этом направлении. Также нет никаких предложений на разработку и производство серийных образцов РСА для авиационных носителей.

Разрабатываемый РСА «Касатка-Р» космического базирования скоро даст уникальную возможность одновременного получения РЛИ с различными комбинациями поляризации зондирующего и отраженного сигналов, но методики извлечения информации из этих РЛИ в интересах лесного хозяйства отсутствуют. Очевидно, что такая методика могла бы быть создана с использованием двухполяризационного РСА «Компакт», но ни исполнители этой работы, ни требуемые средства не определены.

В заключение приведем перечень первоочередных работ в части использования радиолокационных методов в интересах лесного хозяйства.

1. Проведение научно-исследовательской работы по созданию методики обработки многополяризационных РЛИ, получаемых в разных диапазонах частот, в интересах лесного хозяйства.
2. Исследование возможностей наблюдения радиолокационными методами участков, пораженных вредителями и болезнями, а также гарей и очагов пожаров с открытым пламенем.
3. Разработка программно-математического обеспечения обработки данных (в том числе многополяризационных данных) РСА с авиационных и космических носителей.
4. Разработка ТЗ на создание серийного образца РСА для мониторинга лесных массивов с авиационных носителей.
5. Разработка рабочей документации серийного образца РСА для мониторинга лесных массивов с авиационных носителей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Внотченко С.Л., Достовалов М.Ю., Дьяков А.В., Дьяков И.В., Ермаков Р.В., Жаровская Е.П., Коваленко А.И., Мусинянц Т.Г., Нейман Л.С., Римаев В.В., Сушков В.Е. Авиационные мобильные малогабаритные радиолокаторы с синтезированной апертурой семейства «Компакт». III Всероссийская конференция "Радиолокация и радиосвязь", 26-30 октября 2009 г., Москва, ИРЭ РАН им. В.А. Котельникова. Доклады, том 1, стр. 207-211.
2. Внотченко С.Л., Достовалов М.Ю., Ермаков Р.В., Жаровская Е.П., Мусинянц Т.Г. Сравнительный анализ характеристик отражения объектов и фоновых поверхностей по РЛ изображениям высокого разрешения в метровом, дециметровом и сантиметровом диапазонах // Исследование Земли из космоса, 2009, № 3, С.16-26.

3. Копылов В.Н., Полищук Ю.М., Хамедов В.А. Методические вопросы использования космических снимков для оперативной оценки последствий лесных пожаров // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. ИКИ РАН, Москва 2007, № 1, том 4, стр. 155-161.

RADAR METHODS FOR FORESTRY

**M.U. DOSTOVALOV, R.V. ERMAKOV, A.I. KOVALENKO, T.G. MUSINYANTS,
V.V. RIMAN, S.N. SMIRNOV, S.L. VNOTCHENKO, A.V. SHISHANOV**

OJSC "Research Institute of Precision Instruments" ROSCOSMOS

Use of radar methods of obtaining information can significantly increase informational content and efficiency of receiving results of remote monitoring of the forest. Characteristics of existing and developed samples of radars with the synthesized aperture of aviation and space basing are given. The list of prime works regarding use of radar methods in interests of forestry is defined.

ТЕМАТИЧЕСКОЕ КАРТОГРАФИРОВАНИЕ ПОРОДНОЙ СТРУКТУРЫ ЛЕСОВ НА ОСНОВЕ СПУТНИКОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ LANDSAT-TM\ETM+

Е.А. ГАВРИЛЮК, Д.В. ЕРШОВ

Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН

Данная работа посвящена исследованиям возможностей тематического картографирования породной структуры лесного покрова, основывающихся на автоматизированном дешифрировании разносезонных композитных изображений высокого пространственного разрешения Landsat-TM\ETM+. Рассматриваются методологические подходы к тематической классификации древесных пород с использованием спектральных свойств в различные вегетационные периоды, а также возможные пределы ее точности.

Тематическое картографирование является одной из первостепенных задач дистанционного мониторинга состояния и динамики лесных экосистем. Карта служит основой для геопространственного анализа и оценки статических и динамических характеристик лесного покрова, а также является наглядной иллюстрацией качественных и количественных показателей лесов исследуемой территории. Преобладающая порода лесного участка – один из основных таксационных характеристик насаждения, отражаемых на лесных картах. Для определения этого показателя необходимо оценить породную структуру лесов. Изучение возможности пространственной оценки породной структуры лесного участка дистанционными методами через проективное покрытие крон деревьев является важнейшим предметом для исследования, который в сочетании с данными о возрастной структуре и запасе древостоя в перспективе позволят приблизиться к задаче получения формулы породного состава лесного участка. Многочисленные работы последних лет в данной области (Крицук, 2012; Коптев, 2012; Галкин, 2012) подтверждают исключительную значимость подобных исследований для дистанционного мониторинга лесов.

Исходные данные

Спутниковые данные высокого пространственного разрешения, получаемые с американских аппаратов Landsat-5 и Landsat-7, в настоящее время находят широкое применение при дистанционном мониторинге лесов. Электронный архив Геологической службы США предоставляет доступ к уникальной коллекции спутниковых изображений Landsat-TM\ETM+, которая охватывает временной интервал с 1984 года по настоящее время, причем на безвозмездной основе (Галкин, 2012). Популярность этих данных также обуславливает достаточно хорошо проработанный методологический аппарат, как при

предварительной обработке, так и при автоматизированном тематическом дешифрировании. Спутниковые данные Landsat являются на данный момент оптимальным исходным материалом для тематического картографирования лесного покрова и исследования возможностей оценки его породной структуры.

Необходимость использования сезонных композитов

При работе с относительно небольшими территориями (до 10000 км²) для анализа и картографирования бывает достаточно одиночных спутниковых изображений. Но для большей части территории России такой подход неэффективен ввиду частого и плотного облачного покрова, а также низкой периодичности съемки одной и той же территории спутниками Landsat (раз в две недели). Поэтому в настоящее время активно используются и развиваются методики создания безоблачных композитных изображений на основе данных Landsat. На сегодняшний день эту задачу можно считать практически решенной в отношении летнего периода года, в течение которого число безоблачных измерений (и соответственно изображений) достаточно велико, чтобы составить непрерывный композит (Белова, 2010). Но для тематического картографирования лесного покрова и, тем более, его породной структуры только летних изображений часто оказывается недостаточно. Для правдоподобной классификации необходим анализ последовательного временного ряда изображений, охватывающих весь вегетационный период. Кроме того, изображения за зимний (подразумевается, прежде всего, снежный) период года могут использоваться в качестве дополнительной информации для распознавания основных типов наземных экосистем. Таким образом, для качественной тематической классификации необходимо иметь набор композитных изображений за все четыре периода года. Создание весенних, осенних и зимних композитов по методике аналогичной летнему периоду затруднено по причине тотального недостатка безоблачных данных, а часто и полного их отсутствия. Поэтому для получения сезонных композитных изображений используется методика моделирования поведения спектральных яркостей постилающих поверхностей в различные периоды года для спутниковых изображений Landsat-TM\ETM+ и ее новейшие модификации (Гаврилюк, 2012). Использование разносезонных многоканальных композитов представляется наиболее перспективным подходом для решения задач тематического картографирования породной структуры лесов.

Картографируемая территория

В качестве тестового участка для исследования возможностей тематического картографирования породной структуры лесов по спутниковым данным в данной работе была выбрана территория бывшего Мотыгинского лесхоза Красноярского края, расположенного в нижнем бассейне р. Ангары и занимающего площадь 1819524 га (примерно 18,2 тыс. км²). Большая часть лесхоза покрыта хвойными лесами, но, тем не менее, не редко встречаются и лиственные массивы. Не покрытые лесом пространства занимают малые площади, достаточно фрагментарны и чаще всего привязаны к долинам рек. Согласно лесоустройству 1994 года на территории лесхоза произрастают следующие породы деревьев:

1. Кедр
2. Сосна
3. Лиственница
4. Ель
5. Пихта
6. Береза
7. Осина

Учитывая специфику территории, а также, проанализировав карту-схему преобладающих пород, составленную по результатам лесоустройства, можно сделать вывод, что лесные массивы здесь довольно однородны и имеют определенную геоморфологическую локализацию, что, безусловно, является благоприятным фактором для автоматизированного дешифрирования и классификации спутниковых изображений. Использование цифровой

модели рельефа, а также отдельных снимков сверхвысокого разрешения в качестве вспомогательных материалов, позволяет выделить дополнительные параметры дифференциации для повышения точности картографирования породной структуры лесного покрова.

Краткая методика

В общем случае, методика тематического картографирования с использованием спутниковых данных, применяемая в данной работе, выглядит следующим образом (Гаврилюк, 2012):

1. Подбор снимков на территорию картографирования;
2. Предварительная обработка подобранных снимков;
3. Создание летнего композитного изображения на территорию картографирования;
4. Моделирование весеннего, осеннего и зимнего композитных изображений на территорию картографирования;
5. Кластеризация полученного многоканального изображения;
6. Сегментация полученного многоканального изображения;
7. Экспертный анализ и формирование эталонной выборки для классификации на основе сочетания результатов кластеризации и сегментации;
8. Классификация многоканального изображения по сформированной эталонной выборке локально-адаптивным статистическим классификатором;
9. Оценка точности классификации;
10. Постобработка полученного тематического изображения.

Модификации данной схемы применительно к картографированию породной структуры лесов касаются, главным образом, 5-го, 6-го и 7-го этапов. Принципиальными позициями здесь являются:

- выбор набора спектральных каналов различных сезонов для классификации;
- выбор алгоритма неконтролируемой классификации изображения;
- выбор параметров для сегментации изображения;
- выбор и анализ материалов, на основании которых проводится экспертный анализ и формируется эталонная выборка для классификации.

Исследование этих вопросов позволяет сделать вывод о возможности тематического картографирования породной структуры лесов по данным ДЗЗ высокого пространственного разрешения, а также о качественной точности продуктов, полученных по данной методике.

Результаты

Результатами данной работы являются:

- растровая тематическая карта породной структуры лесов на территорию бывшего Мотыгинского лесхоза Красноярского края пространственным разрешением 30 м;
- оценки точности определения тематических классов на полученной карте;
- методические рекомендации по тематическому картографированию породной структуры лесов на основе данных высокого пространственного разрешения Landsat-TM\ETM+.

Кроме того, предметом исследования является принципиальная возможность автоматизированного дешифрирования породной структуры лесов на основании лишь спектральных характеристик отражающей поверхности, параметры и критерии, обуславливающие эту возможность, а также выявление пределов точности такой классификации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Белова Е.С., Еришов Д.В. Методика создания безоблачных композитных изображений по спутниковым данным Landsat // Восьмая Всероссийская Открытая конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса» Москва, ИКИ РАН, 15-19 ноября 2010 г. Сборник тезисов конференции.
2. Белова Е.С., Еришов Д.В. Предварительная обработка временных серий изображений Landsat-TM/ETM+ при создании безоблачных изображений местности // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Т8, №1, 2011, с. 73-82.

3. Гаврилюк Е.А., Еришов Д.В. Методика совместной обработки разносезонных изображений Landsat-TM и создания на их основе карты наземных экосистем Московской области // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Т9, №4, 2012, с. 15-23.
4. Гаврилюк Е.А., Еришов Д.В. Методика автоматизированной подготовки обучающей выборки для тематической классификации изображений высокого пространственного разрешения Landsat-TM // Десятая Всероссийская Открытая конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса» Москва, ИКИ РАН, 12-16 ноября 2012 г. Сборник тезисов конференции.
5. Галкин Ю.С., Шалаев В.С., Батырев Ю.П., Потапов В.Н., Эсеналиев Ч.Д. Метод амплитудной селекции спектральных максимумов при определении породного состава лесов // Вестник Московского Государственного Университета Леса – Лесной вестник. Т83, №7, 2012, с. 85-88.
6. Контев А.В. Тематическое картографирование лесов по материалам дистанционного зондирования Земли (на примере среднего Приангарья) // ИНТЕРЭКСПО ГЕО-СИБИРЬ. Материалы конференции. Т2, 2012, с. 84-89.
7. Крицук С.Г. Картирование бореальных лесов на основе спутниковых данных (на примере особо охраняемых природных территорий Ленинградской области) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Т9, №4, 2012, с. 255-264.
8. Руководство пользователя: Erdas Imagine field guide, 2006.
9. Сервис ВЕГА: спутниковый сервис анализа вегетации [Электронный ресурс]: <http://vega.smislabs.ru/>, режим доступа: регистрация.
10. Landsat Glovis USGS archive [Электронный ресурс]: <http://glovis.usgs.gov/>, режим доступа: свободный.

THEMATIC MAPPING OF FOREST'S SPECIES COMPOSITION BASED ON LANDSAT-TM/ETM+ SATELLITE IMAGERY

E.A. GAVRILYUK, D.V. ERSHOV

Center for forest ecology and productivity RAS

This research is devoted to investigations of possibilities for thematic mapping of species composition of forest cover, based on automated interpretation of all-season's multi-spectral image composites with high spatial resolution, derived from Landsat-TM/ETM+ satellite imagery. We consider the fundamental methodological issues, conditions causing the possibility of such thematic classification, as well as the limits of its accuracy.

МЕТОД ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ С ГИПЕРСПЕКТРОМЕТРОВ ПРИ ДЕШИФРОВКЕ ОБЪЕКТОВ АЭРОКОСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

Ю.С. ГАЛКИН, В.Н. ПОТАПОВ

ВПО Московский государственный университет леса

В статье приведено описание метода обработки гиперспектральной аэрокосмической информации а также проверка эффективности разработанного метода с помощью программного обеспечения и снимков, смоделированных на основе данных гиперспектрометров.

В настоящее время аэрокосмический мониторинг земной поверхности является важным направлением при оценке и решении многих проблем связанных с изменением климата, экологии, контроля состояния и воспроизводства природных ресурсов и др. В свете этих проблем стремительное развитие получили технические приборы в области дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ).

Основой дистанционного мониторинга как в оптическом, так и в радиодиапазоне является регистрация на борту авиационного или космического аппарата отражения электромагнитного излучения объектов.

На сегодняшний день широкое распространение получил механизм использования оптического и ближнего инфракрасного (ИК) диапазонов во время съемки. В этих диапазонах наиболее значимо проявляются особенности коэффициентов спектральной

яркости (КСЯ) и яркостных контрастов (ЯК), которые создают набор дешифровочных признаков объектов, особенно растительной природы (Сухих, 2005).

В связи с этим, наиболее эффективным является использование данных приборов с высокой точностью съемки (высоким пространственным разрешением) и большим числом каналов – гиперспектрометров (Непобедимый, 2004). Подобные приборы позволяют максимально использовать информативность КСЯ, ЯК и структурных характеристик объектов.

На сегодняшний день основная работа по обработке информации, полученной с гиперспектрометров, возложена на оператора-дешифровщика, что увеличивает влияние субъективного фактора на точность дешифровки, понижает скорость обработки и уменьшает количество обрабатываемой информации, а значит неэффективно в промышленных масштабах.

В работе (Галкин, 2011) предложен и математически описан метод получения дополнительных к КСЯ дешифровочных признаков, которые не зависят от внешних условий съемки, формируются и обрабатываются полностью в автоматическом режиме без участия дешифровщика.

В настоящей статье представлена оценка эффективности предложенного метода обработки информации на примере модельного гиперспектрального снимка.

В качестве определяемых объектов приняты древесные породы: сосна, ель, береза, осина, ольха, для которых получены спектральные характеристики в диапазоне 400-1100 нм.

Спектральный шаг гиперспектрометра взят 10 нм.

Для приблизительной оценки ситуации, данные гиперспектрометра визуализированы на рисунке 1, так как таблица имела бы 600 значений и менее наглядна. На рисунке видно, что лиственные породы по значению КСЯ различить затруднительно.

Согласно работе (Галкин, 2011), по данным гиперспектрометра создается разностная матрица, на ее основе построены кривые отражательных способностей лесных пород на рисунке 2. Здесь видно, что по ряду новых параметров кривые пород разделяются в большей степени, чем по спектрам.

По оси у приведены значения величин элементов разностной матрицы в безразмерном масштабе. По оси x – длины волн в нанометрах. В качестве дешифровочных признаков приняты следующие параметры: суммы положительных и отрицательных амплитуд значений в рядах матрицы; периоды переколебаний в рядах матрицы; разницы полупериодов переколебаний в рядах матрицы.

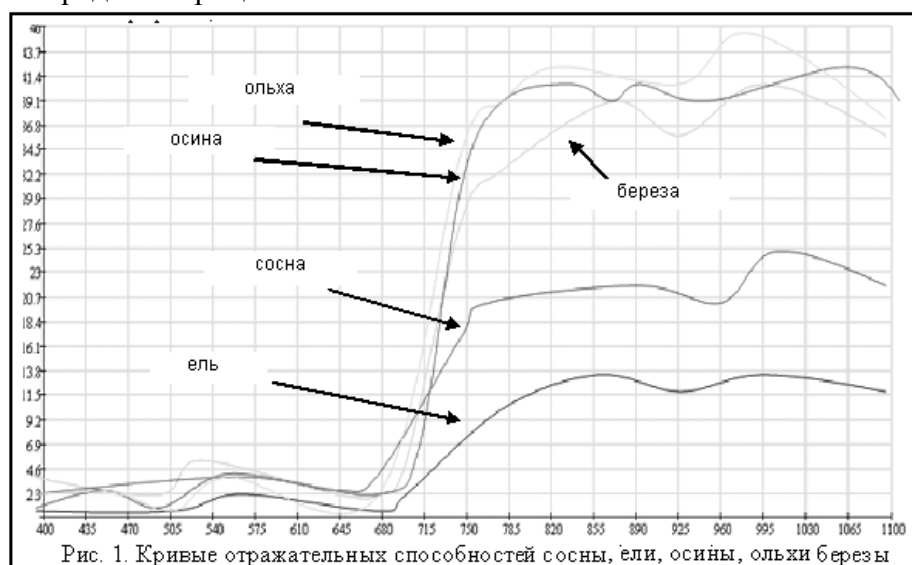


Рис. 1. Кривые отражательных способностей сосны, ели, осины, ольхи березы

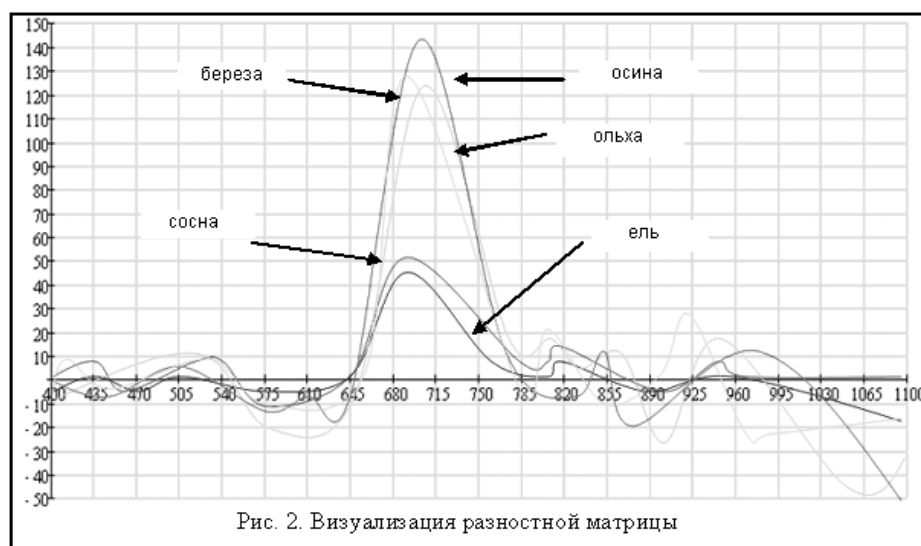


Таблица 1. Значения дешифровочных признаков

	сосна	ель	береза	осина	ольха
Сумма амплитуд	60	58	159	172	133
Период переколебаний	75	25	25	50	100
Разница полупериодов	45	15	45	20	45

Из полученных данных выделен процент разрешающей способности дешифровочного признака относительно фона (среднее значение параметра при одновременном наличии всех пород).

Проведено сравнение с аналогичной оценкой стандартных методов дешифровки, приведенных в литературе (Шовенгердт, 2010), и результаты приведены в таблице 2.

Таблица 2. Разрешающая способность дешифровки по каждой породе

	сосна	ель	береза	осина	ольха
Сумма амплитуд	51%	0%...50%	136%	147%	114%
Период переколебаний	136%	45%	45%	91%	182%
Разница полупериодов	132%	44%	132%	58%	132%
Дешифровка по NDVI	30%	32%	23%	24%	23%
Дешифровка методами кластерного анализа	35%	35%	25%	30%	25%
Дешифровка статистическими методами	25%	25%	20%	20%	20%

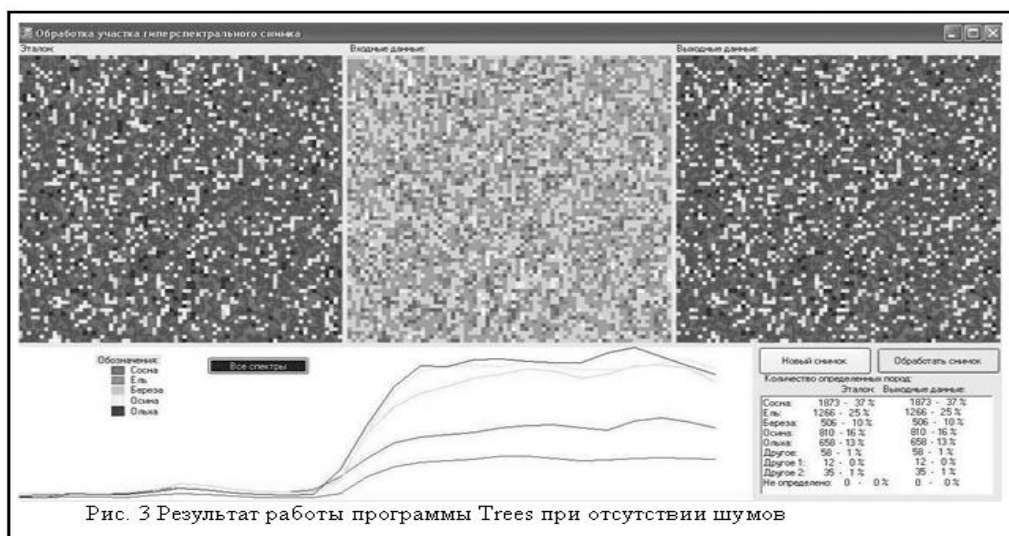
Таблица 2 наглядно иллюстрирует преимущества предложенных новых дешифровочных признаков.

Для практического применения предложенных дешифровочных признаков был разработан подробный алгоритм и специальный пакет программ Trees.

Пакет позволяет из данных гиперспектрометра автоматически создать три цифровых четырехмерных гиперкуба, которые реализуют разработанный метод. Для оценки эффективности была построена модель гиперспектрального снимка размером 75 на 75 пикселей.

Снимок представляет собой модель лесного участка, содержащего хаотически размещенные 1873 сосен, 1266 елей, 506 берез, 810 осин, 658 деревьев ольхи и 105 деревьев с неизвестными спектральными характеристиками.

При проверке работоспособности Trees данный снимок играет роль эталона. На рисунке 3 эталон приведен в левом секторе.



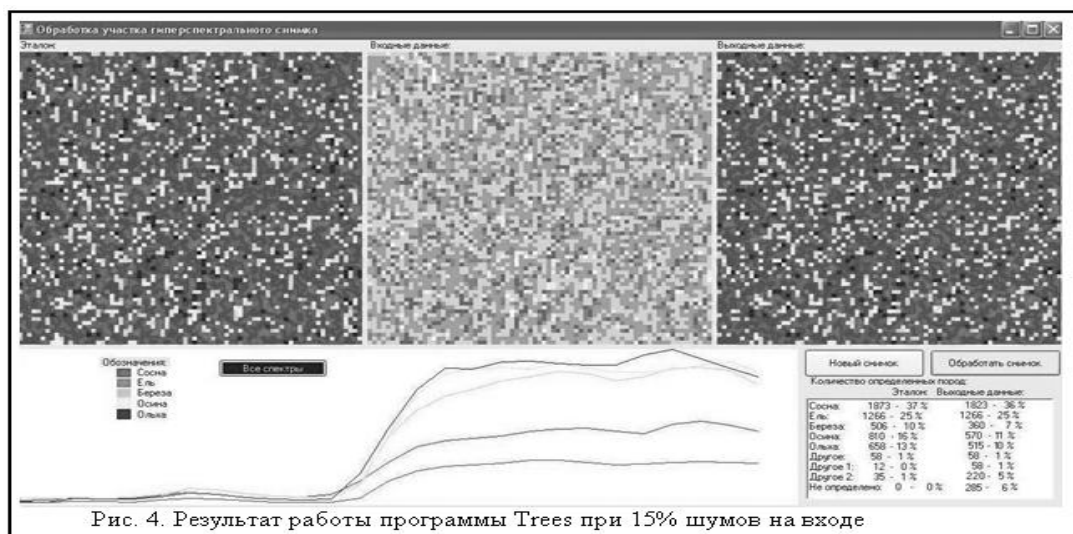
Центральный сектор рисунка отражает визуализацию на экране компьютера первого гиперкуба изображения. На основе данных гиперкуба программа Trees производит автоматическую дешифровку принадлежности пикселей и выдает информацию в требуемом виде в правый сектор (в данном случае – визуальном).

Одновременно программа производит сравнение с эталоном и выдает результат в таблице, приведенной в правом нижнем углу рисунка.

Учитывая, что входные данные не были искажены шумами, результирующее изображение полностью совпадает с эталонным.

Оценим устойчивость алгоритма и программ в условиях действия шума на входные данные, отличающие их от эталона.

Введем случайные шумы путем изменения амплитуд данных гиперкуба со средней интенсивностью 15% и проведем обработку модели гиперснимка в указанных условиях.



Правильность определения пород по сравнению с эталоном снизилась: сосна – 97%, ель – 100%, береза – 70%, осина – 69%, ольха – 77%, другие (в целом) – 11%.

При уровне шума 20% правильность дешифровки получилась следующей: сосна – 95%, ель – 88%, береза – 30%, осина – 37%, ольха – 31%, другие (в целом) – 1%.

Следует заметить, что методы, основанные на КСЯ, при уровне шума уже в 15% при автоматической обработке дают не больше 15% правильно определенных пород.

Результаты подтвердились в реальных условиях на тестовом участке.

Таким образом, можно говорить о том что, разработанный метод и пакет программ Trees выдают приемлемый результат автоматической дешифровки и являются перспективной областью для развития и улучшения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Галкин Ю.С., Шалаев В.С., Батырев Ю.П., Потапов В.Н., Эсеналиев Ч.Д. Метод обработки информации с гиперспектрометров для определения породы растительности при дистанционном мониторинге/ // Вестник Московского государственного университета леса - Лесной вестник. – 2011 №7(83) с. 79-82.
2. Непобедимый С.П. Гиперспектральное дистанционное зондирование земли / С.П. Непобедимый, И.Д. Радионов, Д.В. Воронцов и др. // Доклады Академии наук. – 2004. – Т.397. - №1. – С. 45-48.
3. Сухих В.И. Аэрокосмические методы в лесном хозяйстве и ландшафтном строительстве: Учебник. - Йошкар-Ола: МарГТУ, 2005. - 392 с.
4. Шовенгердт Р.А. Дистанционное зондирование. Модели и методы обработки изображений// Москва: Техносфера, 2010.

THE METHOD OF PROCESSING INFORMATION OF GYPERSPECTROMETERS BE DESCRYPTED OF AEROSPACE MONITORING OBJECTS

YU.S. GALKIN, V.T. POTAPOV

Moscow State Forest University, MSFU

The article describes a method of processing hyperspectral aerospace information and verification of the effectiveness of the method developed by the software and modeled based on gyperspectrometer picture.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ УРБООКОСИСТЕМЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЭРОКОСМИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

И. Н. ГОРОХОВА¹, Т. И. БОРИСОЧКИНА², Е. А. ШИШКОНАКОВА²

¹Научный геоинформационный центр РАН

²Почвенный институт им. В. В. Докучаева РАСХН

В статье представлены результаты экологического мониторинга почвенно-растительного покрова на территории ключевого участка «Лианозово» в Москве с применением материалов аэрокосмических съемок. Мониторинг ситуации за 10 лет (2000-20010 гг.) показал, что на ключевом участке сократилась площадь, занимаемая древесно-кустарниковой растительностью в парках и отдельных частях лесопарков за счет строительства жилых домов, большой рекреационной нагрузки и произошло загрязнение почв в местах разведения костров.

Объектом исследования стал ключевой участок «Лианозово», расположенный в Северо-Восточном округе Москвы. Он раскинулся по обе стороны от Алтуфьевского шоссе и на севере примыкает к МКАД. Общая площадь участка 242 га. Данное исследование охватывало лесопарковую и парковую зоны, в состав которой входят: Лианозовский парк культуры и отдыха (ПКиО), Лианозовский лесопарк, Алтуфьевский парк, Лианозовский питомник.

Для проведения почвенно-экологического мониторинга и картографирования городской зеленой зоны ключевого участка «Лианозово» использовались крупномасштабная цветная аэрофотосъемка (1:10000), спектрзональная космическая съемка высокого разрешения (0,6 м на местности) QUICK BIRD и современные геоинформационные технологии (MapInfo, ArcGIS). Дополнительно проводились наземные маршрутные исследования. По результатам работ была создана почвенно-экологическая карта на территорию ключевого участка за 2000 и 2010 годы.

Карта создавалась путем прямого и косвенного контурного автоматизированного дешифрирования ортофотоплана, составленного по аэро- и космоснимкам. Результаты дешифрирования совмещались с единой государственной картографической основой (ЕГКО). При дешифрировании проводился анализ тона, структуры рисунка фотоизображения, формы и размера объектов, их расположение по отношению к инфраструктуре. Не меньшее внимание обращалось на косвенные дешифровочные признаки - выявление взаимосвязей между различными объектами (прежде всего, между элементами рельефа, растительностью и почвами).

Наземные маршрутные исследования на ключевом участке «Лианозово» проходили в июне и сентябре 2012 года. Проводилось описание растительности и отбор почвенных образцов на площадках наблюдений, расположенных в разных рекреационных частях участка (лесопарк, парк) и с учетом их рельефа.

Необходимость ведения мониторинга почвенно-растительного покрова потребовала создания геоинформационной системы, позволившей упорядочить информацию о зеленой зоне мегаполиса. ГИС включает цифровые ортофотопланы, составленные по дистанционным материалам, электронную экологическую карту за два срока, созданную на единой государственной картографической основе г. Москвы и результаты наземных и лабораторных исследований.

По материалам аэро- и космосъемки были определены: границы лесных массивов и парков, их площади, характер происхождения леса (естественный лес, лесопосадки); выделены в лесу с характерными для них видами растительности водоразделы и склоны (дуб черешчатый (*Quercus robur*), береза повислая (*Betula pendula*), сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris*), ольха серая (*Alnus incana*), рябина обыкновенная (*Sorbus aucuparia*), клен обыкновенный (*Acer platanoides*), ясень пенсильванский (*Fraxinus pennsylvanica*)), долины малых рек, овраги, болота (береза (*Betula alba*), ива (*Salix cinerea*), щучка дернистая (*Deschampsia cespitosa*), осоки и др.) и почвы дерново-слабоподзолистые на водоразделах и склонах, дерново-глеевые и перегнойно-глеевые в понижениях; участки с доминированием в верхнем пологе мелколиственных (березы) и широколиственных (дуб, липа) пород деревьев; определены характеристики, отражающие состояние экосистемы, такие как наличие полян, прогалин, площадь дорожно-тропиночной сети, сомкнутость верхнего полога древесного яруса.

Была создана комплексная экологическая карта на территорию ключевого участка за 2000 и 2010 годы, отражающая состояние и динамику изменения почвенно-растительного покрова мегаполиса.

Мониторинг ситуации за 10 лет (2000-2010 гг.) показал, что на исследуемой территории выросло число строений с 283 до 306, площадь которых составила 22,0 и 24,2 га соответственно. Площадь древесно-кустарниковой растительности сократилась с 173,0 до 170,8 га, прежде всего в парках, за счет их реконструкции – прокладки дорожек и строительства дополнительных павильонов, автостоянок. Площадь зеленых насаждений в лесопитомнике и лесопарке изменилась мало (с 54,4 до 54,3 и с 53,3 до 53,2 га соответственно), но если ее рассматривать по отдельным частям, то ситуация выглядит следующим образом: в лесопарке «Лианозово» значительно сократилась площадь древесно-кустарниковой растительности в северной части, за счет строительства жилых домов и произошел прирост деревьев в центральной и южной частях, который, как бы компенсировал данное снижение. Однако состояние лесопарков все-таки ухудшилось, о чем свидетельствует

изменение величины сомкнутости верхнего полога деревьев и образование прогалин и полян в лесу.

В Лианозовском лесопитомнике сомкнутость полога в центральной и северо-западной частях снизилась с 0,67 до 0,47 и с 0,59 до 0,57 соответственно, а в лесопарке Лианозово в северной части с 0,4-0,3 до 0,3-0,2 и в центральной части с 0,58 до 0,45. Площадь открытых пространств в лесу (поляны, прогалины) увеличились в лесопитомнике с 27,4 до 29,5 и в северной части лесопарка с 4,9 до 5,7 га. Это результат усилившейся рекреационной нагрузки, одним из показателей которой является площадь дорожно-тропиночной сети, которая увеличилась по всей территории ключевого участка и больше всего изменилась в лесопарке с 1,7 до 2,5 га и в сквере у лесопитомника с 0,8 до 1,6 га.

Наземные маршрутные исследования дополнили полученную информацию о том, что территория обследованных лесных массивов испытывает значительную антропогенную нагрузку, которая проявляется в снижении жизненности древостоя (поражение дубов мучнистой росой, мелколистность берез, суховершинность и дефолиация у вязов, ясеней), соотношении рудеральных и лесных трав, в пользу первых, ослаблении деревьев ювенильной возрастной группы и подроста.

Почвенный покров лесопарков и парков представлен зональными дерново-подзолистыми почвами и дерново-глеевыми, перегнойно-глеевыми почвами понижений. Помимо нативных почв в лесах находятся их трансформированные аналоги: постагропочвы бывших пашен, а в скверах и парках повсеместно распространены реплантоземы (классификация городских почв по М.Н. Строгоновой с соавторами). Изменение природного геохимического фона обусловлено как современной антропогенной нагрузкой (Лианозовский электромеханический завод, ТЭЦ, Алтуфьевское, Дмитровское шоссе, МКАД), так и прошлой антропогенной деятельностью (распашка). Почвы исследуемого участка характеризуются в основном слабокислой и кислой реакцией в лесу и нейтральной, слабощелочной в парках и скверах; повышенным содержанием органического углерода (4-6,2%), высокой обеспеченностью подвижным калием (28,5-66,5 мг K_2O на 100 г почвы), широким диапазоном варьирования подвижного фосфора (5-68 мг P_2O_5 на 100 г почвы), повышенным по сравнению с фоном содержанием валового цинка (90-180 мг/кг), и пониженным содержанием хрома (14-27 мг/кг). В почвах подчиненных ландшафтов происходит увеличение содержания подвижного цинка, временами превышающее ПДК (25,7 мг/кг).

Серьезной экологической проблемой является большое количество кострищ, в результате воздействия которых почва претерпевает значительные изменения. В ней происходит разрушение природного органического вещества, кардинально изменяется качественный состав. Химический анализ показал увеличение в грунте на месте бывших костров подвижного фосфора и калия и повышение концентраций, как валовых содержаний, так и подвижных форм цинка, свинца меди, кадмия, мышьяка. При этом валовые содержания этих элементов в ряде случаев, превышая ОДК, достигали для цинка 476 мг/кг, для мышьяка 32 мг/кг, для свинца 697 мг/кг, для кадмия более 4 мг/кг. В парке «Алтуфьево» в связи с реконструкцией и строительством, а также в результате воздействия близко расположенной МКАД, в почве отмечены превышающие ПДК (ОДК) валовые содержания элементов, достигающие для цинка 222 мг/кг, мышьяка 16 мг/кг, свинца 61 мг/кг.

Таким образом, экологическое состояние ключевого участка «Лианозова» в Москве, определяемое по комплексу проведенных работ свидетельствует о том, что на участке выросло количество строений, сократилась площадь древесно-кустарниковой растительности, увеличилась площадь открытых пространств в лесопарках, снизилась сомкнутость верхнего полога деревьев в отдельных частях лесопарков, усилилась рекреационная нагрузка в парках, скверах и лесопарках, снизилась жизненность древостоя лесных массивов, произошло загрязнение почв под кострищами.

Исследования показали необходимость использования аэро- и космической съемки высокого разрешения для экологического мониторинга и картирования почвенно-

растительного покрова городской территории, т.к. дистанционная информация позволяет точно определять границы, площади, соотношения площадей объектов; экологические параметры, отражающие состояние леса (наличие полей и прогалин, сомкнутость верхнего полога деревьев, площадь рекреационной нагрузки) и сократить объем полевых исследований. Недостатком аэрокосмической информации является невозможность определения местоположения кустарников из-за их малого размера и загрязнения почв под ними, вероятностный характер определения видового состава растительности и подтипов почв в лесных массивах.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект № 11-04-00356.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Жирин В. М., Лебедева Г. С.* Применение материалов аэрокосмических съемок для проведения мониторинга зеленых насаждений. М.: НИИ-Природа. 2006. 40 с.
2. *Кругляк А.М., Антипов А.В., Скорыхватов С.Н., Кузина Е.П., Зверев А.Т. и др.* Возможности применения космических методов в целях осуществления мониторинга земель крупнейших городов (на примере г. Москвы)//Известия высших учебных заведений. 2005. №2. С. 89-108.
3. *Лабутина И. А., Балдина Е. А.* Использование данных дистанционного зондирования для мониторинга экосистем ООПТ. WWF России. Москва. 2011 – 87 с.
4. *Полякова Г.А., Гутников В.А.* Парки Москвы: экология и флористическая характеристика. М.: ГЕОС. 2000. 406 с.
5. *Сухих В.И.* Аэрокосмические методы в лесном хозяйстве и ландшафтном строительстве: учебное пособие для вузов. Йошкар-Ола: МарГТУ. 2005. 392 с.
6. *Строганова М. Н., Мяжкова А. Д., Прокофьева Т. В.* Городские почвы: генезис, классификация, функции //Почвы, город, экология. Под общей ред. Г. В. Добровольского. М.: Фонд «За экономическую грамотность», 1997. С. 15-85.

ECOLOGICAL MONITORING OF URBAN ECOSYSTEM BY AEROSPACE PHOTOGRAPHY MATERIALS

I. N. GOROKHOVA¹, T. I. BORISOCHKINA², E. A. SHISHKONAKOVA²

¹**Institution Scientific Geoinformation Centre Russian Academy of Sciences**

²**V.V. Dokuchaev Soil Science Institute of Russian Academy of Agricultural Sciences**

The results of ecological monitoring of soil-vegetable cover of the key area in Lianosovo (Moscow) were produced. 10 years situation monitoring of key area (200-2010) showed that the tree-bush vegetation area in park was reduced because of house-making and increasing recreational load. The significant pollution was in bonfires places.

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ДЛЯ ИНВЕНТАРИЗАЦИИ ЗЕЛЕННЫХ НАСАЖДЕНИЙ ГОРОДОВ

О.В.ГРИГОРЬЕВА

Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского

Описываются результаты практического применения информационных технологий инвентаризации зеленых насаждений по данным аэрокосмического зондирования городских территорий в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах спектра. Особое внимание уделяется выбору параметров съемки, возможностям определения породного состава насаждений и выявления сухостойных явлений в парках. Сравниваются возможности гипер- и мультиспектральных данных для решения этих задач.

Быстрый рост городов и стремительное развитие городской инфраструктуры приводит к необходимости постоянного информационного обеспечения Правительства города о происходящих на их территориях изменениях. Для больших мегаполисов в качестве такого обеспечения могут быть рассмотрены данные дистанционного зондирования, полученные с космических или авиационных носителей.

Одной из важных задач оздоровления и поддержания в надлежащем санитарном состоянии городских территорий – это содержание зеленых насаждений города. Для решения этой задачи были сформированы особые требования к материалам дистанционного зондирования Земли, учитывая тот факт, что городская среда представляет собой сложный техногенный комплекс, включающий в себя различные элементы градостроительства и городского ландшафта. Одним из основных требований, предъявляемых к аэрокосмическим данным – это сверхвысокое пространственное разрешение не более 1 м и многоспектральный режим съемки в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах спектра.

В докладе демонстрируются примеры использования данных дистанционного зондирования на одном из районов города Санкт-Петербург. В качестве исходных данных использовались материалы космической съемки с КА WordView-2, дополнительно привлекались изображения цифровой цветной аэросъемки и гиперспектральные данные, полученные с помощью видеоспектрометра НПО «Лептон» (рис.1).

По итогам обработки была показана возможность использования материалов аэрокосмической съемки указанного качества для решения задачи инвентаризации зеленых насаждений.



Рис.1. Территория исследуемого городского сада. Изображение в шестом спектральном канале 0,7-0,74 мкм, WordView-2

Все результаты были представлены в ГИС в виде соответствующих тематических слоев ЦКМ с формированием перечня атрибутивной информации заданной формы. Для зеленых насаждений состав атрибутивной информации (сомкнутость, средняя высота, наличие повреждений в виде признаков усыхания, породный состав деревьев и др.) разработан в соответствии с «Паспортом объектов зеленых насаждений», содержание которого определяется с учетом требований «Методики инвентаризации городских зеленых насаждений» (рис.2).



Рис.2. Представление результатов обработки в ГИС ArcGIS

Часть задач решалась в автоматизированном режиме или с использованием инструментов ГИС-анализа. Для этого были разработаны методы дешифрирования и перечень информативных спектральных и пространственных признаков, характеризующих объект. При этом использование общераспространённых оценок вегетационных индексов в качестве признаков сухостойных явлений по многоспектральным данным не дало положительных результатов.

Перспективным по сравнению с многоспектральным режимом является использование ГС для инвентаризации лесопарковых территорий города за счет выявления особенностей поведения спектра в области инфракрасного склона 0,69-0,74 мкм, в пределах которой наблюдается смещение основной полосы поглощения хлорофилла на величину в несколько нанометров в сторону более коротких волн при возникновении стрессовой ситуации и появлении признаков увядания. В этом случае в качестве признаков изменения спектральных характеристик были апробированы следующие:

- характеристики «вектора смещения», полученного в результате разности исходного спектра и сдвинутого на несколько нанометров вдоль оси длин волн;
- показатели автокорреляционной функции спектра в интервале 0,69...0,78 мкм;
- компоненты собственных чисел матрицы, полученной в трех спектральных каналах со средними длинами волн 0,55, 0,72 и 0,80 мкм.

Показано, что многоспектральные данные позволяют достаточно хорошо проводить регистрацию лесопатологических изменений леса с достаточно хорошим проективным покрытием, однако в городских условиях лесопарков или скверов эта методика не привела к достоверным результатам. Это объясняется наличием большого количества разнородного фона, для эффективного сегментации которого необходимо репрезентативный набор спектральных каналов в широком диапазоне спектра, что предоставляют данные гиперспектральной съемки. Поэтому дополнительно в алгоритме классификации зеленых насаждений и идентификации нарушений привлекались пространственные признаки дешифрирования (например, форма тени), а также учитывались сомкнутость и ажурность крон, условия освещения Солнцем.

Для полноценной реализации алгоритма необходима БД спектральных сигнатур древесной растительности, которая учитывала бы не только измерения спектрально-энергетических характеристик разных пород деревьев в разные фенологические периоды, но и условия наблюдения, при которых они получены (высота Солнца, азимут наблюдения, угол визирования). Разработка такой БД уже начата, в ее состав входят спектры более десятка древесных пород, в том числе спектры древостоев, подверженных усыханию.

Оценка достоверности результатов диагностики состояния древесной растительности проводилась по материалам наземной заверки. В целом применение материалов космической съемки сверхвысокого разрешения оказалось эффективным для решения задач управления городским хозяйством. Для двух садов района была получена достаточная информация о состоянии лесопарковых территорий города, позволяющая не только разрабатывать соответствующие карты, но и приступать к заполнению паспортов зеленых насаждений (табл.1).

Таблица 1. Статистические оценки основные показатели зеленых насаждений города

	Общая площадь, тыс. м ²	Площадь проекции крон, тыс. м ²	Средняя высота древостоя, м	Сомкнутость крон, %	Преобладающие породы	Количество поврежденных древостоев
Сад 1	53	22	13	44	клен, вяз, ясень, береза, липа, ель	5
Сад 2	55	28	8	45	тополь, береза, ясень	-

PROSPECTS OF REMOTE SENSING FOR INVENTORY GREEN PLANTATIONS URBAN

O.V.GRIGOREVA

Military Space Academy named after AF Mozhaikogo

Describes the results of the practical application of information technology inventory green plantations according to aerospace sensing of urban areas in the visible and near-infrared spectrum. Special attention is paid to the choice of parameters aerospace sensing. Specifically addressed the possibility of determining species of wood, the identification of dead trees in parks. Compares features of hyper-and multi-spectral data for these tasks.

ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ЗОНИРОВАНИЕ ЛЕСОВ В РАЙОНЕ ВЫСОКОГО ТЕХНОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

О.В.ГРИГОРЬЕВА

Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского

Рассматриваются возможности использования данных космической съемки в оптическом диапазоне при зонировании лесных массивов в районах предполагаемого и действующего интенсивного хозяйственного освоения территории. Описываются основные идеи методики выявления участков, наиболее подверженных негативному воздействию и нуждающихся в максимальном сохранении. Приводятся примеры реализации в части регистрации отдельных типов нарушений лесов.

Показатели лесной растительности (разнообразие, степень деградации под воздействием негативных антропогенных факторов) являются важными оценочными характеристиками состояния экосистемы в целом и отражают ее адаптационные возможности к стрессовым нарушениям. Опираясь на эти показатели можно грамотно акцентировать внимание на зоны, наименее устойчивые к планируемому воздействию и нагрузке на ландшафт, максимально снизив их, создав условия устойчивого развития.

Высокое техногенное воздействие на лесные экосистемы связано с:

- с воздействием крупных промышленных комплексов;
- активным освоением территории под строительство объектов федерального назначения.

В исследованиях в качестве районов такого воздействия рассматривались:

- территория бывшего космодрома «Свободный», где в настоящее время ведется строительство нового космодрома «Восточный» с точки зрения адаптационных возможностей лесной растительности в районе строительства;
- район металлургического завода на Южном Урале для выделения зон с различной степенью нагрузки на ландшафт.

Задача экологического зонирования в указанных районах состояла в выделении малонарушенных лесных массивов и сильно трансформированных лесных массивов в указанных районах активного использования природных ресурсов, в том числе и уничтожения.



Рис.1. Территория исследования в районе строительства космодрома «Восточный»
(изображение Landsat TM 5)

Площадь анализируемой территории в районе космодрома «Восточный» составляла около 6 тыс. км², включая объекты инфраструктуры космодрома и границы их воздействия путем создания буферной зоны размером 3 км (рис.1).

В качестве источников информации использовались:

- находящиеся в свободном доступе снимки TM Landsat 5, ETM+ Landsat 7 за период 2001-2010 гг., а также ALIHyperionEO-1 за 2004 г.;
- материалы инженерных экологических

изысканий на район строительства, где отображена информация о преобладающих породах и их возрасте на ключевых участках по полевым исследованиям;

– топографические карты масштаба 1:50000, включая ситуационную схему сбора информации.

Получение снимков за разные даты в течении сезона позволило оценить породный состав лесов, а серия разновременных данных материалов съемки, полученным в течении нескольких лет, оценить изменения их состояния в течении нескольких лет.

Основными задачами исследований являлись оценка возможности использования данных дистанционного зондирования земли для выделения типов растительных сообществ и зон нарушенности лесов с помощью аналитических методов распознавания образов, а также определение критериев (признаков) для выделения нарушенных и малонарушенных лесных участков.

Методика экологического зонирования состояла из следующих этапов (рис. 2).

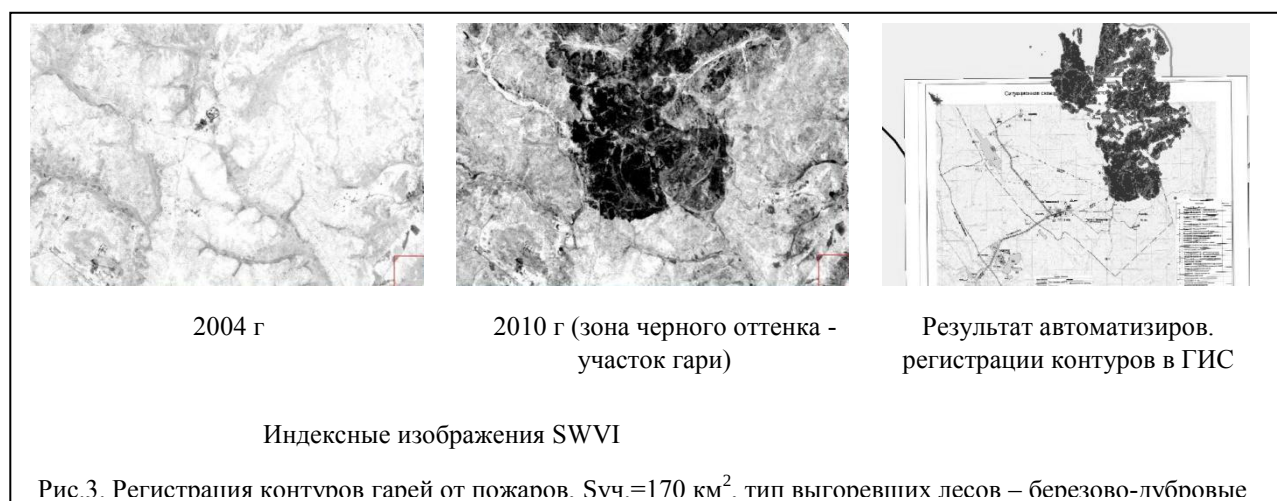
На первом этапе осуществлялось классификация ландшафта по породному составу с характерными типами подстилающей поверхности (лесотаксационным признакам) с использованием библиотеки спектральных характеристик лесов в разные фенологические периоды, учитывая наличие серии разновременных данных. Дополнительно для пополнения библиотеки спектральных характеристик и непосредственного дешифрирования данных космической съемки в камеральных условиях использовались эталонные описания растительности, полученные по материалам инженерно-экологических изысканий (флористическое разнообразие, коренной и производный характер растительных сообществ, распространение редких растительных сообществ, ландшафтная приуроченность некоторых сообществ).



Для исследуемого района характерны следующие виды древесной и кустарниковой растительности – на склонах лиственнично-дубовые, березово-сосново-лиственничные, березовые, дубовые (вторичные), реже сосново-дубовые леса. Содоминантами выступают болотные комплексы, в том числе заболоченные луга с единичными березами (и др.) и лиственницами.

На следующем этапе в процессе обработки аэрокосмических данных осуществляется выявление территорий природных и техногенных нарушений участков лесного массива, в том числе в автоматизированном режиме с использованием программных комплексов, основанных на процедурах распознавания образов, восстановления параметров природных объектов по интенсивности уходящего и регистрируемого дистанционной аппаратурой излучения, физико-математического описания состояний объектов. В ходе выявления анализируется влияние на разнообразие и структуру сообществ различных типов нарушений,

в первую очередь рубок и пожаров. На рисунке 3 приведен пример регистрации пройденного пожаром фрагмента лесного массива.



Один из этапов методики предполагает определение ориентировочного запаса фитомассы растительного покрова по разновременным данным, полученным в течении одного вегетационного периода.

Для решения данной задачи рассматривались различные подходы к формированию оценки зеленой биомассы (фитомассы), поскольку изучению особенностей характеристик лесного полога по данным ДЗЗ посвящены многочисленные работы. Одна из таких работ связана с восстановлением параметров растительности по интенсивности уходящего излучения и с разработкой моделей формирования уходящего излучения от растительного полога, параметризованного слоистой структурой – неоднородной средой, в которой реализуется многократное рассеивание электромагнитного излучения (Козодеров, 2006).

К традиционным методам относятся восстановление продукционных параметров растительности по вегетационным индексам (например, NDVI) или с помощью LAI, который отражает структурные свойства растительного полога и долю площади листового покрова на единице площади территории, занимаемой растительностью. Эти же характеристики широко используются для вычисления поверхностного фотосинтеза, эвапотранспирации и первичной продукции PP, используя корреляционные связи NDVI или LAI с характеристиками растительности:

$PP = PP_{\text{max}}(1 - e^{-c \cdot \text{LAI}})$, где c – удельный коэффициент фотосинтеза, который часто принимается равным 1 или $0,5/\cos\theta$, θ – зенитный угол Солнца.

Однако известные методы оценки LAI дают сильные расходящиеся результаты, поскольку он изменяется в течение всего года и является функцией многих параметров окружающей среды. Среднегодовой ход LAI для лиственных деревьев достигает максимума в максимальной фазе вегетации, в то время LAI для хвойных деревьев изменяется слабо от года в год (Бондур и др., 2010).

В свою очередь при правильном выборе рабочих спектральных диапазонов, а также привлечение дополнительной теоретической и экспериментальной априорной информации (данные о влажности почв, прямой и рассеянной радиации и др.), систематизированной в виде баз данных спектральных характеристик растительности (Григорьева, Чапурский, 2012), обратная задача дистанционных исследований растительного покрова для определения показателей продуктивности лесов по LAI решается достаточно уверенно.

При этом показатель перехвата энергии Солнца пологом леса LAI может быть восстановлен через параметр проективного покрытия $S_{\text{пр}}$ следующим образом (Чапурский Л.И., 1996):

$S_{nn}=1-\exp[-LAI \cdot G(h_{\odot})/\sin h_{\odot}]$, где $G(h_{\odot})$ – средняя проекция всего слоя фитоэлементов на направление высоты Солнца $h_{\odot}$; θ_{ϕ} – средний угол наклона фитоэлементов.

В итоге величина фитомассы может быть определена с использованием модели биопродуктивности EPIC (Erosion Productivity Impact Calculator), разработанной Dr. Williams, или установлена эмпирически по породному составу леса и виду растительности с учетом параметров структуры и биоразнообразия насаждений по рекогносцировочным исследованиям.

Последний этап заключался в выявлении участков территории наиболее подверженных негативному воздействию, а также участков лесов наибольшей ценности (учитывается видовой состав, проективное покрытие и степень участия каждого вида в сообществе) с целью их максимального сохранения. Он заключался в определении площади нарушенных лесных массивов и районировании территории по степени техногенной преобразованности ландшафта с использованием геоинформационных систем.

В качестве программного обеспечения использовалось общераспространенный программный комплекс обработки аэрокосмических изображений ENVI, средства геоинформационного представления и анализа пространственной информации ArcGIS, а также дополнительные модули, разработанные на их основе.

В итоге, разрабатывается карта нарушенных территорий, включающая полностью антропогенно-преобразованные районы и сильно трансформированные растительные покровы (вырубки, гари, вторичные луга, карьеры, техногенные объекты), а также карта малонарушенных лесов, которые еще можно сберечь, например, в процессе строительства. Показатели отображенных на карте объектов легли в основу реализации пространственной модели антропогенной нагрузки техногенного объекта в ГИС.

Аналогичная методика была использована при оценки воздействия на лесные массивы техногенных выбросов действующего промышленного предприятия, которая заключалась в получении мозаичной карты экологических зон на основе анализа энергии текстуры высокочастотных составляющих производных индексных изображений и изменений спектрально-отражательных характеристик лесов в зонах полос поглощения и отражения хлорофилла. Разграничение лесных территорий вокруг источников промышленного загрязнения на экологические зоны позволило получить численные площадные оценки экологического и экономического ущерба, нанесенных лесам выбросами промышленного предприятия.

Таким образом, рассмотренная методика экологического зонирования техногенно-нарушенных территорий позволяет прийти к принятию наиболее объективных управленческих решений по уменьшению последствий техногенных объектов на растительность путем: оптимального комплексирования аэрокосмических и наземных средств наблюдений; использования ГИС не только как инструментов представления результатов наблюдений за экологической обстановкой, но и средств ее анализа; выбора потенциально опасных участков для разработки превентивных мер повышения экологической безопасности эксплуатации, в том числе при обосновании строительства новых объектов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бондур В.Г., Крапивин В.Ф., Савиных В.П. Развитие технологии диагностики лесных экосистем // Региональная экология. 2010. №3(29). С.44-52.
2. Григорьева О.В., Чапурский Л.И. Проблемы создания и информационного наполнения базы данных по коэффициентам спектральной яркости объектов наземных экосистем // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов. Материалы Всероссийской научной конференции. 2012. Т.9. №3. С18-25.
3. Козодеров В.В. Особенности реализации моделей оценки фитомассы растительности по наблюдениям из космоса // Исследование Земли из космоса. 2006. № 2. С. 79-88.
4. Чапурский Л.И. Отражательные свойства природных объектов в диапазоне 400-2500 нм. Часть 1. Министерство обороны СССР, 1996.160 с.

ECOLOGICAL FOREST ZONING IN AREAS OF HIGH TECHNOLOGICAL IMPACTS

O.V.GRIGOREVA

Military Space Academy named after AF Mozhaiskogo

We consider the use of space imagery data in the optical range for zoning of forests in areas of current and expected intensive economic development of the territory. Describes the main ideas methodology identifying sites most contaminated and needing maximum preservation. The examples of the registration of certain types of violations of forest.

РЕТРОСПЕКТИВНЫЙ АНАЛИЗ ДИНАМИКИ ЛЕСНОГО ПОКРОВА ТЕРРИТОРИИ НОВОЙ МОСКВЫ ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ

Д.А. ГУДКОВА¹, Д.В. ЕРШОВ²

¹ **Московский государственный университет геодезии и картографии (МИИГАиК)**

² **Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН**

Проведен ретроспективный анализ динамики лесного покрова территорий, присоединенных в 2012 году к Москве с использованием серии спутниковых изображений LANDSAT. Анализ проводился с 1985 по 2011 годы с интервалом в пять лет. В качестве основы использовалась карта растительности Московской области 2010 года (Гаврилюк, Ершов 2012). Исследовался тренд спектральной яркости каждого пиксела спутникового изображения относительно эталонных лесных и других наземных экосистем с целью определения его тематической принадлежности в каждом интервале наблюдения.

Москва и Московская область являются самыми густонаселенными регионами Российской Федерации. Особенности ведения лесного хозяйства в Московской области за 20-30 лет наложило свой отпечаток на состояние и динамику лесов, их устойчивость и биологическое разнообразие. Две трети лесов региона перешли порог возраста рубки, что привело к падению их устойчивости к внешним воздействиям. В тоже время в последние годы в регионе интенсивно развивается промышленность, ведется жилищное строительство, а также объекты целевого назначения (автомагистрали, ЛЭП и др.). Постоянно идет приток населения из ближайших субъектов РФ и сопредельных государств.

В 2012 году произошло перераспределение территорий между этими субъектами РФ. В целом, в состав столицы включено 148 тысяч гектаров новых территорий с проживающим на них населением. Поэтому оценка состояния и динамики лесного покрова является одной из приоритетных задач региона. Это может достигаться методами экспресс анализа временных серий данных спутниковой съемки высокого пространственного разрешения LANDSAT.

Основная цель работы состояла в том, чтобы проследить динамику лесного покрова на присоединенных к Москве территориях, начиная с 1985 года по 2011 год.

Для достижения поставленной цели необходимо провести анализ временных рядов спутниковых изображений и создать карту динамики лесов для наглядного представления изменений лесных площадей на присоединенных территориях.

Для решения поставленной задачи использовались цветные синтезированные снимки (красного, ближнего и среднего ИК диапазонов) со спутника Landsat, полученные в летний период съемки.

Методика анализа предусматривает подбор эталонных участков лесных и других наземных экосистем на основе карты растительности Московской области 2010 года, которые претерпели минимальные изменения в течение всего периода наблюдения. Изучение спектральных сигнатур эталонных участков сводится к статистической оценке

трендов спектральных яркостей наземных экосистем в различных каналах спутниковых изображений. Это позволяет оценить их информативность и сформировать набор признаков, состоящих как из отдельных каналов, так и их комбинаций (вегетационных индексов), для классификации лесного покрова.

С помощью методов управляемой и неуправляемой классификации временных серий спутниковых изображений исследовался тренд спектральной яркости каждого пиксела спутникового изображения относительно эталонных лесных и других наземных экосистем с целью определения его тематической принадлежности в каждом интервале наблюдения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гаврилюк Е.А., Ершов Д.В. Методика совместной обработки разносезонных изображений Landsat-TM и создания на их основе карты наземных экосистем Московской области // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Т.9, №4, 2012, с. 15-23.
2. Постановление Московской городской Думы № 218 от 6 июля 2011 года «Об утверждении Соглашения об изменении границы между субъектами Российской Федерации городом Москвой и Московской областью», в состав Новой Москвы входят городские округа Московский, Троицк, Щербинка, а также Ленинский, Наро-Фоминский и Подольский муниципальные районы, которые включают в себя поселки городского типа Кокошкино и Киевский, поселки Ватулино, Знамя Октября, ЛМС, Завода Мосрентген, Подсобного хозяйства «Воскресенское».
3. Соглашение об изменении границы между субъектами Российской Федерации городом Москвой и Московской областью от 30 июня 2011 года.

RETROSPECTIVE ANALYSES OF THE FOREST COVER DYNAMICS OF THE NEW MOSCOW LANDS USING SATELLITE IMAGES

D.A.GUDKOVA¹, D.V.ERSHOV²

¹ Moscow State University of Geodesy and Cartography, MIIGAiK

² Center for Forest Ecology and Productivity of Forests Russian Academy of Sciences, CEPF RAS

A retrospective analysis of new forest cover areas handed on Moscow in 2012, using LANDSAT image series is carried out. The analysis was conducted from 1985 to 2011 with an interval of five years. The basis used vegetation map of the Moscow region in 2010 (Gavrilyuk, Ershov, 2012). The trend spectral brightness of each pixel of a satellite image relative to etalon forest and other terrestrial ecosystems with a view to determining its thematic accessories in each observation time interval was investigated.

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛАЗЕРНОЙ ЛОКАЦИИ И ЦИФРОВОЙ АЭРОСЪЕМКИ ДЛЯ ТАКСАЦИИ ЛЕСОВ

**А.И. ДАНИЛИН¹, И.М. ДАНИЛИН¹, М.А. КОРЕЦ¹, А.Е. НИСНЕВИЧ², А.А. ОНУЧИН¹,
Д.А. СВИЩЕВ², В.М. СКУДИН²**

¹ Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН

² Восточно-Сибирский филиал государственной инвентаризации лесов ФГУП "Рослесинфорг"
"Востсиблеспроект"

Обсуждаются результаты научно-исследовательской работы по лазерной локации и цифровой аэрофотосъемке леса, выполненной Восточно-Сибирским филиалом государственной инвентаризации лесов "Востсиблеспроект" совместно с Институтом леса СО РАН в Емельяновском лесничестве Красноярского края в 2012 году.

В 2012 году, по заданию ФГУП «Рослесинфорг», «Востсиблеспроект» совместно с ИЛ СО РАН выполнил опытную научно-исследовательскую работу по определению возможностей использования лазерно-локационной и цифровой аэрофотографической съемки для целей таксации и мониторинга лесов. Работы выполнялись на общей площади

11000 га, на опытном полигоне, расположенном в Емельяновском лесничестве Красноярского края.

В продолжение и развитие ранее выполненных исследований (Данилин И.М, Медведев Е.М., 2011; Данилин И.М., Фаворская М.Н., 2013; Медведев Е.М. и др., 2007; Сухих В.И., 2005; Straub C. et al., 2009; Suvanto A., Maltamo M., 2010; Wulder M. et al., 2007), основными задачами данной опытной работы, явилось определение возможностей получения таксационных показателей лесных выделов и составление тематических лесных карт (планов лесонасаждений, окрашенных по породам) в производственных масштабах, а также практическая отработка и совершенствование технологии выполнения работ и автоматизированного определения таксационных показателей насаждений на основе данных лазерной локации и цифровой аэросъемки, адаптации программного обеспечения, позволяющего обрабатывать аэросъемочные данные и получать таксационные характеристики насаждений.

Аэросъемочные работы выполнялись 13 сентября 2012 г. с борта самолета АН-2 воздушным лазерным сканером RIEGL Q560, совместно с цифровым аэросъемочным комплексом IGI DigiCAM, включающим цифровую камеру Hasselblad H39\mp и фазовый GPS-приемник Novatel OEM 4/5.

Аэросъемочные (дешифровочные) данные сопоставлялись с наземными инструментальными измерениями на 38 таксационно-дешифровочных пробных площадях, заложенных в Емельяновском лесничестве Красноярского края.

Дешифрирование цифровых аэрофотоснимков производилось в интерактивном режиме с использованием базовой программы ArcGis (ArcGis, 2013) и функции пространственного анализа «Spatial Analyst». На цифровых аэрофотоснимках и лазерных сканах выполнялось наложение и совмещение границ таксационно-дешифровочных пробных площадей, с опознаванием и контролем на местности (рис. 1, 2).

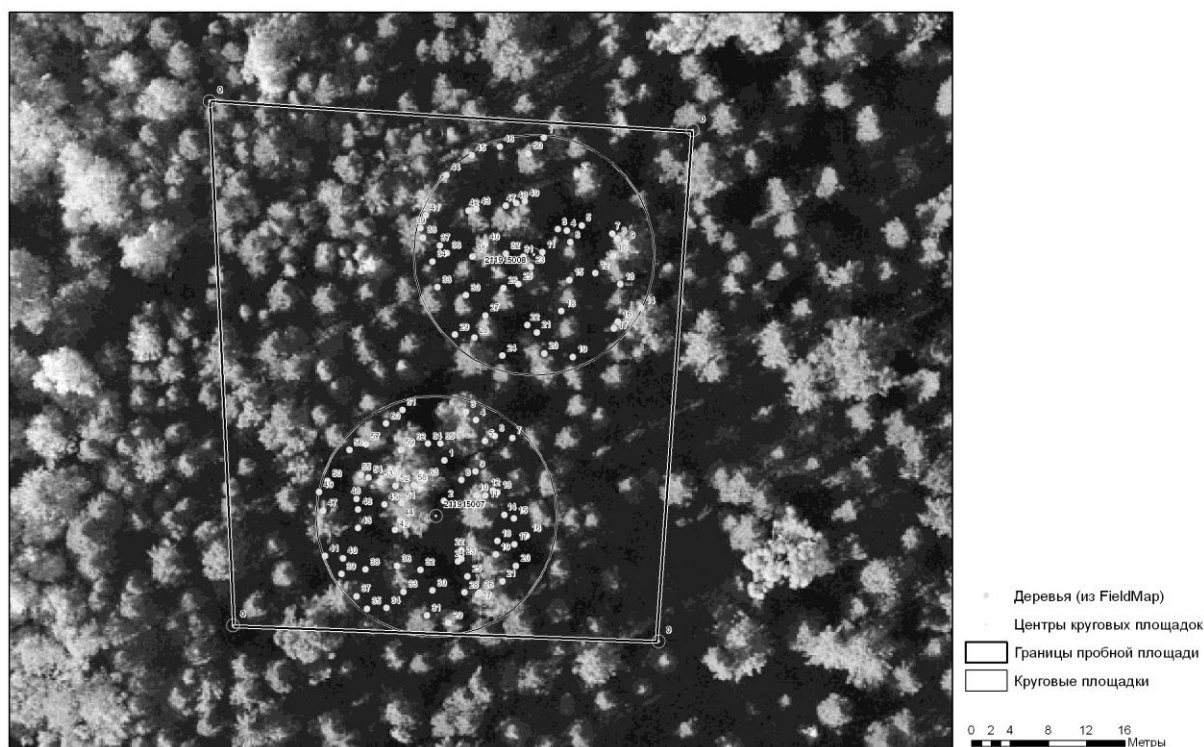


Рис. 1. Фрагмент цифрового аэрофотоснимка древостоя в видимом диапазоне спектра (RGB-синтез), с наложением границ пробной площади и инвентаризационных кругов постоянного радиуса, с маркированными деревьями по материалам наземной инвентаризации системой FieldMap.

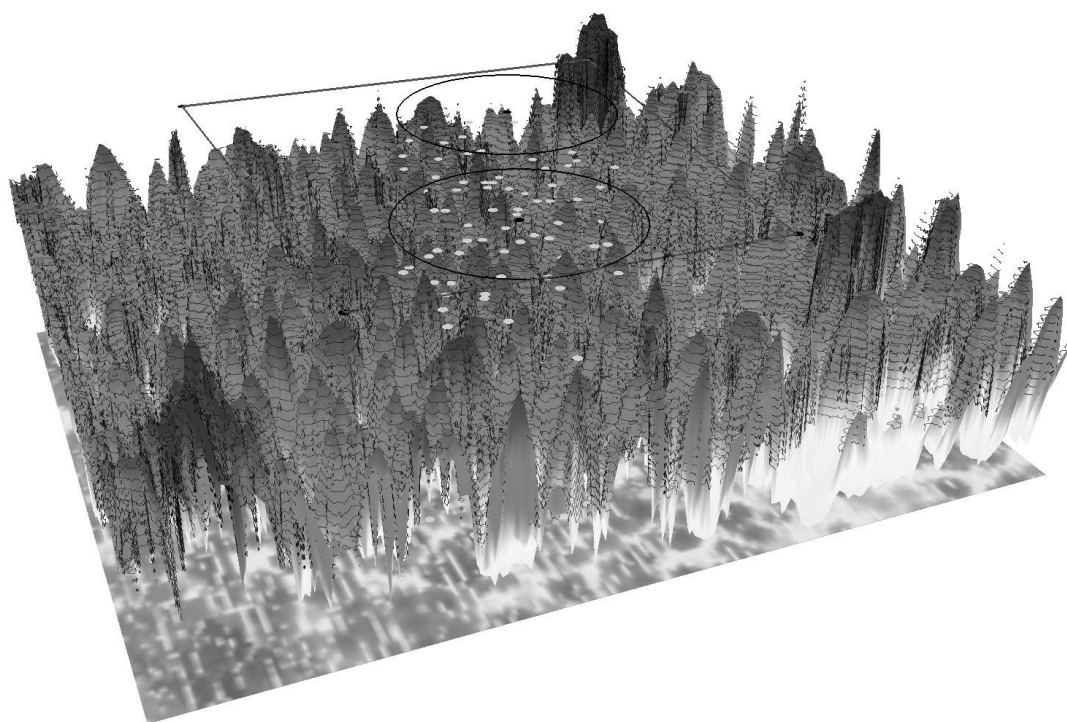


Рис. 2. Плановое отображение площади проекции древесного полога по лазерно-локационным данным, с наложением границ пробной площади и инвентаризационных кругов постоянного радиуса, с совмещением вершин деревьев и индикаций изолиний распределения деревьев по высоте с данными наземной инвентаризации системой FieldMap

Были выявлены взаимосвязи таксационно-дешифровочных признаков древостоев, по которым в автоматическом режиме актуализировались средние высоты, средние диаметры стволов, средние возрасты, полноты и запасы составляющих древесных пород. При выполнении статистических расчетов использовался программный продукт StatSoft [6] (рис. 3, 4).

Сопоставление результатов измерений характеризуется достаточно высокими индексами детерминации ($R^2 = 0.8999-0.9195$).

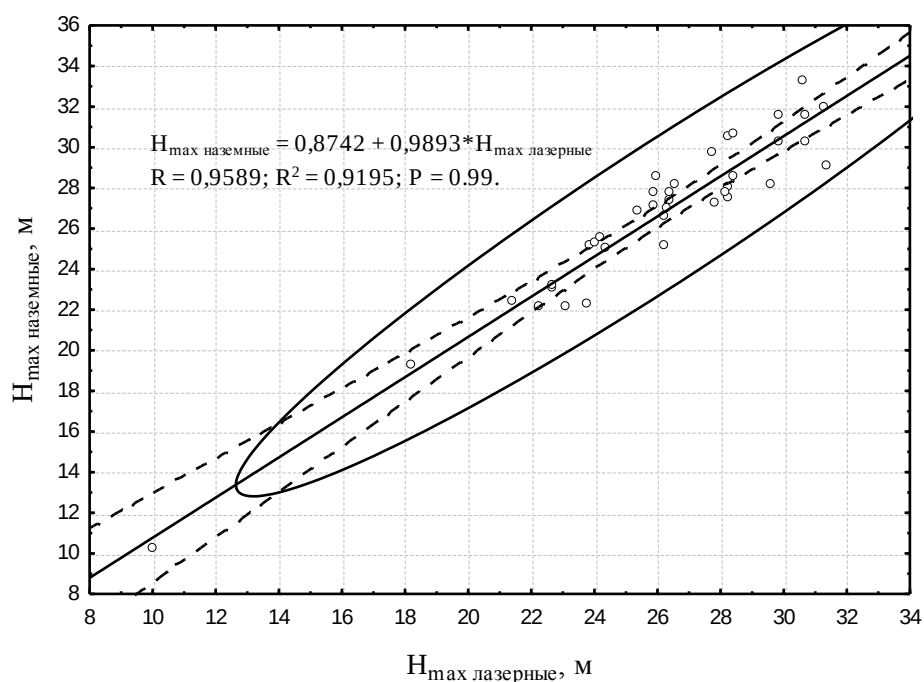


Рис. 3. Зависимость между максимальными высотами древостоев, определенными инструментальным методом на пробных площадях и по лазерно-локационным данным.

$$G = 7,1938 - 0,7096 \cdot H_{\max} - 0,012 \cdot S + 0,0082 \cdot H_{\max}^2 + 0,0013 \cdot H_{\max} \cdot S - 1,1936E-6 \cdot S^2$$

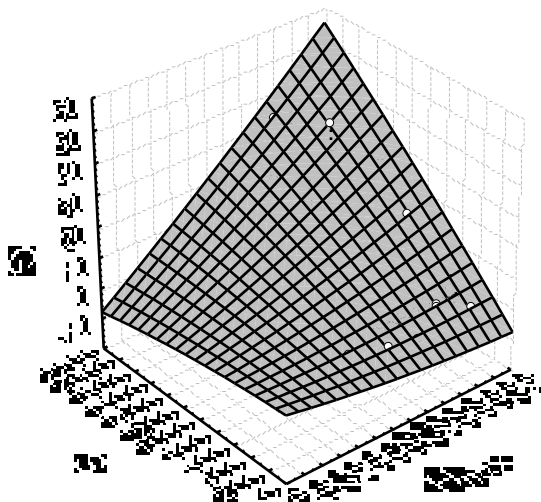


Рис. 4. Зависимость (квадрика) суммы площадей поперечных сечений стволов (G , m^2), определенной по данным измерений на пробных площадях, от максимальной высоты древостоя ($H_{\max}$, м) и площади проективного покрытия крон деревьев (S , m^2), определенных по лазерно-локационным данным.

Наибольшая случайная ошибка определения верхней высоты древостоя по данным лазерной аэросъемки не превысила $-7,8\%$.

Случайная ошибка для всех случаев находится в пределах $-59,4$ см или $-2,1\%$.

Составлены методические рекомендации по использованию воздушной лазерной локации и цифровой аэро- и космической фотосъемки для целей таксации и мониторинга лесов в лесном фонде РФ.

Рассчитаны примерные нормативы стоимости затрат на проведение работ по таксации леса с использованием метода лазерной локации и цифровой аэрофотосъемки (табл.).

Таблица. Примерные нормативы рекомендуемых затрат для таксации леса по укрупненным показателям (на 1 млн. га, I-III разряды таксации)*

Способ таксации	Стоимость за 1 га, руб.		
	Разряд таксации		
	1 разряд	2 разряд	3 разряд
1. Натурный (глазомерно-измерительный 1 класса точности)	285	194	121
2. Натурный (глазомерно-измерительный 2 класса точности)	227	142	84
3. Дистанционный (с использованием моделей хода роста)	128	88	64
4. Методом лазерной и цифровой аэро- и космической фотосъемки	120	80	60

*Нормативы затрат рассчитывались на основании технологических схем выполнения таксационных работ, приведенных в лесоустроительной инструкции на примере типичных (условных) объектов с использованием действующих в лесоустройстве норм выработки по элементам работ.

Нормативы не учитывают районные коэффициенты и северные надбавки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Данилин И.М., Медведев Е.М. Технология мониторинга и инвентаризации лесных ресурсов на основе лазерной локации, цифровой аэрофотосъемки и спутникового геопозиционирования // Журнал Сибирского федерального университета. Серия "Техника и технологии". 2011. Т. 4. № 3. С. 326-336.
2. Данилин И.М., Фаворская М.Н. Описание программных модулей использования данных лазерной локации и цифровой аэрофотосъемки лесных территорий // Исследование Земли из космоса. 2013. № 2. С. 1-12.
3. Медведев Е.М., Данилин И.М., Мельников С.Р. Лазерная локация земли и леса. Учеб. пособ., 2-е изд., перераб. и доп. М.: Геокосмос; Красноярск: ИЛ СО РАН. 2007. 229 с.

4. Сухих В.И. Аэрокосмические методы в лесном хозяйстве и ландшафтном строительстве: Учебн. для вузов. Йошкар-Ола: Изд-во МарГТУ, 2005. 392 с.
5. ArcGis. 2013. Электронный ресурс. Режим доступа: <http://www.esri.com/software/arcgis>
6. StatSoft. Statistica 8.0. 2013. Электронный ресурс. Режим доступа: <http://www.statsoft.com/#>
7. Straub C., Dees M., Weinacker H., Koch B. Using airborne laser scanner data and CIR orthophotos to estimate the stem volume of forest stands // Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation. 2009. № 3. P. 277-287.
8. Suvanto A., Maltamo M. Using mixed estimation for combining airborne laser scanning data in two different forest areas // Silva Fennica. 2010. V. 44. № 1. P. 91-107.
9. Wulder M., Han T., White C., Sweda T., Tsuzuki H. Integrating profiling LiDAR with Landsat data for regional boreal forest canopy attribute estimation and change characterization // Remote Sensing of Environment. 2007. V. 110. P. 123-137.

AN EXPERIENCE WITH THE USE OF LASER LOCATION AND DIGITAL AERIAL PHOTOGRAPHY IN FOREST INVENTORY

**A.I. DANILIN¹, I.M. DANILIN¹, M.A. KORETCS¹, A.E. NISNEVICH², A.A. ONUCHIN¹, D.A. SVISCHEV²,
V.M. SKUDIN²**

¹**V.N. Sukachev Institute of Forest, Russian Academy of Sciences, Siberian Branch**

²**The East-Siberian Branch of the State Forest Inventory Federal State Unitary Enterprise "Roslesinforg"
"Vostsiblesproekt"**

The results of scientific research on laser location and digital aerial photography of forests, completed by the East Siberian Branch of the State Forest Inventory "Vostsiblesproekt" together with the Institute of Forest SB RAS at Emel'yanovskoe forestry district of Krasnoyarsk territory in 2012 are discussed in the paper.

МЕТОДИКА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ДЕШИФРИРОВАНИЯ СТАДИЙ ВОССТАНОВИТЕЛЬНОЙ ДИНАМИКИ ЛЕСНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ

И.В. ДАНИЛОВА, В.А. РЫЖКОВА, М.А. КОРЕЦ

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН

Предложена методика автоматизированного дешифрирования стадий восстановительной динамики лесной растительности на основе сопряженного анализа космических снимков Landsat-5 ТМ и данных лесоинвентаризации. Для территории южной части Приенисейской Сибири получены растровые карты, отражающие возрастные стадии восстановления лесной растительности в разных лесорастительных условиях.

Составление и обновление карт растительности на основе данных дистанционного зондирования (ДДЗ), с использованием географических информационных систем (ГИС) в сочетании с традиционными картографическими методами — одна из важнейших задач оценки состояния и мониторинга растительного покрова.

В последние десятилетия в связи с увеличивающимися масштабами трансформации лесов, возрос интерес к классификациям, отражающим динамические тенденции в растительном покрове. Целью наших исследований является разработка автоматизированных подходов к картографированию и оценке восстановительной динамики лесной растительности на основе ГИС-технологий. Задача данной работы — разработка методики автоматизированного дешифрирования стадий лесовосстановительной динамики на основе сопряженного анализа данных дистанционного зондирования и лесоинвентаризации.

Качество классификации спутниковых изображений зависит в основном от спектральных характеристик поверхности и от применяемых алгоритмов классификации. Основная проблема состоит в том, что иногда разные объекты растительного покрова имеют

перекрывающиеся спектральные характеристики, что не дает возможности их разделить. Легко отделить друг от друга лиственные и темнохвойные группы пород, сложнее – лиственные и светлохвойные (Аксенов, Ярошенко, 2009). Поэтому для дешифрирования, например, породного состава древостоя целесообразно использовать разновременные (разносезонные) космические снимки, а также применять комбинацию различных данных для более детальной классификации снимка (Маслов, 2006).

В процессе автоматизированного дешифрирования спутниковых изображений для целей оценки лесовосстановительной динамики необходимо выделить элементарные единицы растительного покрова, представляющие собой участки леса, относительно однородные по породному составу и возрасту, которые определяются как тип насаждений и являются возрастными стадиями восстановительного ряда растительности в пределах определенного типа лесорастительных условий (Колесников, 1956).

В качестве района исследований была выбрана южная часть Приенисейской Сибири. Леса данной территории весьма разнообразны по составу и структуре сообществ, особенностям их восстановительной динамики. Они характеризуются сильной нарушенностью и антропогенной трансформацией. На больших площадях в разных лесорастительных условиях представлены возрастные стадии восстановления коренной растительности.

Территорию исследований покрывают несколько безоблачных спутниковых сцен, поэтому предварительно был выбран базовый снимок, обеспеченный наибольшим количеством достоверной информации и охватывающий наибольшую часть района исследований. В первую очередь, проводилась классификация базового снимка, затем, осуществлялась классификация перекрывающихся с ним изображений.

На первом этапе выполнялась предварительная обработка изображений, включающая их геопроецирование и топографическую нормализацию с применением метода Ламберта (Colby, 1991).

На втором этапе для последующей классификации снимков были сформированы эталонные выборки на основании совместного анализа спутниковых изображений и векторных карт лесоустроительных выделов по методу, разработанному М.А. Корецом (2007). Для каждого лесоустроительного выдела рассчитывались основные статистические показатели по множеству пикселей растровых слоев спутниковой сцены, попавших в площадь выдела. Предварительно с целью снижения влияния погрешности совмещения карт, из рассмотрения исключались граничные пиксели выделов, а также выделы с площадью меньше заданного порогового значения и вытянутой формы.

Оценка однородности выделов выполнялась на основании величины стандартного отклонения и значений дистанционных признаков. Выделы разбивались на три класса степени однородности по каждому из признаков. Итоговое ранжирование выделов по степени однородности выполнялось как операция пересечения множеств относительно однородных выделов по всем признакам. В результате в эталонную выборку были отобраны наиболее однородные по своей пространственной структуре выдела (Корец и др., 2007).

Отобранное множество относительно однородных выделов служило базой для формирования выборок информационных классов для дальнейшей классификации космических снимков. Формирование информационных классов осуществлялось путем создания запросов к атрибутивной базе лесотаксационных выделов.

Далее для каждого информационного класса рассчитывались параметрические сигнатуры на основе однородных выделов, принадлежащих этому классу, и спутниковых изображений.

Для оценки статистической разделимости классов в многомерном пространстве признаков рассчитывалась межклассовая трансформированная дивергенция. Сигнатуры, которые имели низкую разделимость в пространстве спектральных признаков, объединили с другими сигнатурами, принадлежащими к подобному классу.

На третьем этапе выполнялась управляемая классификация снимка на основе созданных параметрических сигнатур с использованием метода максимального правдоподобия. Для генерализации классифицированного изображения дополнительно рассчитывался файл расстояний Махаланобиса. Этот файл является одноканальным растровым слоем, в котором каждое значение является расстоянием пикселя до среднего значения его класса. Если в файле расстояний имелись пиксели с высокими значениями (расстояние Махаланобиса $D > 1000$), это означало, что они спектрально удалены от средних значений сигнатур классов и, соответственно, некорректно классифицированы. Тогда на этом шаге добавляли недостающие эталоны, размещая их в областях изображения с большим значением D , и снова повторяли процесс классификации.

На этапе генерализации полученных изображений с целью повышения их качества применялась классификация на основе нечеткой логики (Jensen, 1996). Используемая процедура нечеткой свертки (Fuzzy Convolution) оценивает контекстуальную информацию о взаимном расположении пикселей (ERDAS, 1999).

Классифицированный базовый снимок не покрывал всю территорию исследования, поэтому для анализа всей территории использовали перекрывающиеся снимки с соседнего прохода и ряда. Чтобы учесть различия в значениях спектральной яркости пикселей между снимками, связанных с атмосферными помехами и различиями в фенофазах растительности, классификацию проводили отдельно для каждого снимка. Обучающие выборки создавали автоматически с использованием классов, полученных в области перекрытия дополнительного снимка с базовым.

Монтаж всех классифицированных изображений в единую мозаику осуществлялся с помощью модуля Mosaic Images (ERDAS, 1999).

На последнем этапе оценивалось качество классификации с использованием Каппа-статистик (Monserud, Leemans, 1992).

В результате, используя выше описанную методику, была выполнена классификация спутниковых изображений с целью отражения стадий восстановительной динамики лесной растительности в разных лесорастительных условиях. Для этого было отобрано 8 разносезонных (летние: июнь-июль; осенние – сентябрь-октябрь) безоблачных спутниковых сцен серии Landsat-TM (1989-1990 гг.), года съемки которых наиболее близки к годам проведения лесоустроительных и полевых работ.

Геореференцирование спутниковых изображений выполнялось путем их совмещения с цифровой топографической основой с использованием универсальной поперечной проекции Меркатора (UTM, Zone 46, WGS84).

Топографическая нормализация снимков выполнялась на основе растровой цифровой модели рельефа SRTM-3-DEM, приведенной к 30-ти метровому пространственному разрешению.

Далее нормализованные спутниковые сцены были объединены в четыре 12-тиканальных мультитемпоральных снимка (по 6 каналов летнего и осеннего снимков). Тепловой канал для классификации растительности не использовался.

Формирование обучающих выборок осуществлялось на основе векторных карт лесоустроительных выделов Большемуртинского и Усольского лесничеств Красноярского края. Множество относительно однородных выделов служило базой для формирования выборок информационных классов, по которым проводилась классификация изображений по преобладающей породе и возрасту. Из множества относительно однородных выделов отбирались только те выделы, у которых коэффициент состава преобладающей породы составлял более 7 единиц, полнота насаждения более 0,7. При создании классов лиственных древостоев была определена их приуроченность к коренной растительности с использованием лесоустроительной информации и карты типов лесорастительных условий (Ryzhkova, Danilova, 2012).

Далее для каждого информационного класса были рассчитаны параметрические сигнатуры и оценена их разделимость в пространстве дистанционных признаков. В

результате количество информационных классов, характеризующих лесную растительность, составило 19. Для нелесных земель рассчитали параметрические сигнатуры, используя топографические карты крупного масштаба. Общее количество классов составило 49.

Управляемая классификация мультитемпоральных изображений была выполнена с использованием метода максимального правдоподобия и нечеткой свертки. При проведении классификации также был рассчитан файл расстояний Махаланобиса, в результате его анализа добавили несколько сигнатур, отвечающих за нелесные территории.

Для создания единого растрового слоя на территорию исследования был выполнен монтаж четырех классифицированных изображений.

Качество классификации оценивалось по значениям коэффициентов Каппа, общий коэффициент Каппа по всем лесным классам составил 0.74, что свидетельствует о хорошей точности классификации.

Классы, полученные в результате управляемой классификации мультитемпоральных изображений, были идентифицированы как возрастные стадии лесной растительности: начальные стадии восстановления; лиственные насаждения (молодняки и средневозрастные) (до 40 лет) производные от светлохвойных; лиственные насаждения (молодняки и средневозрастные) (до 40 лет) производные от темнохвойных; смешанные светлохвойно-лиственные насаждения (40-80 лет); смешанные темнохвойно-лиственные насаждения (40-80 лет); приспевающие и спелые светлохвойные насаждения (80-120 лет); приспевающие и спелые темнохвойные насаждения (80-120 лет); перестойные светлохвойные насаждения (более 120 лет); перестойные темнохвойные насаждения (более 120 лет).

Для классификации современной растительности и оценки ее восстановительной динамики необходимо учитывать лесорастительные условия, которые определяют потенциальную возможность формирования определенных типов растительных сообществ. На основе растровых слоев лесорастительных условий (Ryzhkova, Danilova, 2012) и возрастных стадий восстановления лесной растительности, полученных в данной работе, для тестового участка будут получены растровые карты, отражающие пространственное распределение восстановительных рядов и стадий восстановления лесной растительности в разных лесорастительных условиях.

Работа выполнена при поддержке международного проекта ZAPAS (Assessment and Monitoring of Forest Resources in the Framework of the EU-Russia Space Dialogue).

ЛИТЕРАТУРА

1. Аксенов Д.Е., Ярошенко А.Ю. Космические снимки для задач лесного хозяйства // Земля из космоса. Наиболее эффективные решения. 2009. № 1. С. 10-17.
2. Колесников Б.П. Кедровые леса Дальнего Востока. М.-Л: Наука Пресс. 1956. 262 с.
3. Корец М.А., Данилова И.В., Черкашин В.П. Дистанционная индикация структуры лесных территорий // Региональные проблемы экосистемного лесоводства. / Под ред. А.А. Онучина. Красноярск: Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН. 2007. С. 52-68.
4. Маслов А.А. Космический мониторинг лесов России: современное состояние, проблемы и перспективы // Лесной бюллетень. 2006. № 1 (31). С. 12-17.
5. Черкашин В.П., Корец М.А. Результаты развития ГИС «Леса Средней Сибири» // Структурно-функциональная организация и динамика лесов. Красноярск. 2004. С. 383-387.
6. ERDAS Field Guide. Fifth edition. USA: ERDAS Inc. 1999. 672 p.
7. Ryzhkova V., Danilova I. GIS-based classification and mapping of forest site condition and vegetation // BOSQUE. 2012. V. 33(3). P. 3-7.
8. Colby J.D. Topographic Normalization in Rugged Terrain // Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. 1991. V. 57(5). P. 531-537.
9. Monserud R.A., Leemans R. Comparing global vegetation maps with the Kappa statistic // Ecological Modelling. 1992. V. 62. P. 275-293.

TECHNIQUE OF RECOGNIZING FOREST VEGETATION STAGES

I.V. DANILOVA, V.A. RYZHKOVA, M.A. KORETS

Siberian Br., Russian Academy of Sciences, V.N. Sukachev Institute of Forest

This paper presents a GIS-aided method of automated classification and mapping of forest regeneration stages based on a combined analysis of multi-band optical satellite images and ground data. Using the method described, Landsat 5 TM, and forest inventory data, raster map was built to show the forest regeneration stages in a range of habitat types found in southern part of Yenisey Siberia.

МАТЕРИАЛЫ СПУТНИКОВЫХ СЪЕМОК В АНАЛИЗЕ ИЗМЕНЕНИЙ ЛЕСНЫХ ФИТОЦЕНОЗОВ ОСОБО ОХРАНЯЕМЫХ ЛАНДШАФТОВ УРАЛА

В.В. ЕЛСАКОВ

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

В работе представлены результаты, демонстрирующие основные направления изменений лесных фитоценозов особо охраняемых ландшафтов Урала (Северный и Приполярный Урал) за период 24 лет (1988-2011 гг) по материалам анализа спутниковых изображений Landsat и MODIS. Для Приполярного Урала установлены преимущественно положительные тренды изменений индекса NDVI, рост показателя сомкнутости крон ненарушенных фитоценозов в среднем до 1-2 % в год на участках, ранее сформированных лиственничников и редколесий экотонной зоны вблизи границы лес-тундра. В пределах равнинной части Северного Урала для старовозрастных лесов прослеживаются устойчивые тренды снижения индекса NDVI, связанные с возрастными изменениями и ветровой активностью.

Материалы спутниковых наблюдений все чаще выступают в качестве важных информационных источников при характеристике растительных сообществ, их ландшафтной приуроченности, выявлении изменений под влиянием естественных и антропогенных причин. Наиболее крупномасштабными причинами, изменяющими характеристики растительного покрова, являются климатические и погодные флуктуации. Даже недолговременные климатические вариации напрямую влияют на продуктивность экосистем и динамику растительного покрова. В качестве наиболее важного показателя, используемого для выявления временных изменений лесных фитоценозов, рассматривается характеристика сомкнутости древостоев. В многоярусных лесных фитоценозах формирование значений отражения для конкретных пикселей изображения определяется вкладом в суммарный спектр величин, полученных от растений различных жизненных форм, однако в спелых хвойных насаждениях определяется в основном автотрофной частью древостоя. Так для ельника черничного данная величина составила порядка 85.9% (Тужилкина и др., 1998). Данная величина может быть охарактеризована прямыми и косвенными методами, с привлечением материалов различных сенсоров. Предварительный анализ данных показал, что достоверность выявления показателей сомкнутости возрастает при использовании зимних изображений, что с одной стороны связано с маскированием многих форм микрорельефа земной поверхности снежным покровом, с другой – отсутствием листвы и погребением лишайниково-мохового, травяно-кустарничкового и частично кустарникового яруса, что приводит к большей контрастности исследуемых компонент.

Цель настоящей работы состояла в исследовании особенностей распределения и выявлении изменений показателя сомкнутости крон лесных фитоценозов предгорной и горной территории Приполярного и Северного Урала с использованием разногодовых материалов дистанционного зондирования высокого (*Landsat TM 4,5*) и среднего разрешения (MODIS). Горные леса Республики Коми занимают площадь около 2.4 млн. га – 6% всего лесного фонда (Лесное хозяйство, 2000), большинство из них сохранило свои природные

особенности и включено в 1995 г. в перечень объектов всемирного наследия природы ЮНЕСКО.

Материалы и методы. Основой для выявления долговременных устойчивых трендов изменений в пределах лесных фитоценозов территории стали материалы съемки спутника Terra-MODIS (MOD13Q1.005) пространственного разрешения 0.25 км, периода 2000-2011 гг. (источник данных: modis.gsfc.nasa.gov). Временные композиты изображений нормализованного разностного индекса растительного покрова (NDVI), широко используемого для оценки распределения наземной фитомассы, были составлены для 16 дневных периодов. Максимальные величины показателя отмечены для периода июль-август (12-15 композит). Для каждого года наблюдений выбирали наибольшее значение индекса ($NDVI_{MAX}$). В связи с тем, что предгорные и горные территории Урала характеризуются присутствием большого количества дней с полужасным и пасмурным состоянием атмосферы, а данный показатель способен оказать существенное влияние на величины NDVI, для учета изменений были использованы только величины индекса, входящие в предел доверительный интервал ($\sigma_0 \pm S_X$, $n_{2000-2011 \text{ гг.}}=12$, $p<0.05$). На основании полученных величин рассчитывали тренды изменений индекса NDVI за 12-летний период наблюдений.

Предобработку спутниковых изображений высокого разрешения *Landsat* для уточнения выделенных изменений провели общепринятыми методами, включая пространственную, радиометрическую и топо- коррекцию (Елсаков., Тетерюк, 2012). Выделение основных классов растительного покрова территории, для анализа особенностей их пространственной приуроченности, проводили по изображению *Landsat TM 5*, методами поэтапной управляемой классификации. Для калибровки данных, выделения эталонных участков и проверки результатов выполнены серии полевых выездов использовались материалы лесоустройства (1998 г.). Для учета сомкнутости крон древесного и кустарникового ярусов территории Приполярного Урала проведено сравнение результатов тематической обработки 4-х изображений высокого разрешения (30 м) *Landsat TM5*, второй половины зимнего периода наблюдений за период 1988 - 2006 гг (Таблица 1). Высота снежного покрова в данный период времени максимальна и варьирует в пределах 120-140 см.

При обработке изображений использовали принципы декомпозиции спектральных смесей (метод SMA, *Spectral Mixed Analysis*), исходя из положения, что доля компонент при этом принимается пропорционально их площади в проекции на земную поверхность (Барталев и др., 2009). Это позволяет количественно оценить вклад отдельных компонент в отражательную способность элементов изображения. В качестве «чистых компонент» использовали параметры, полученные для открытых пологих заснеженных участков (сомкнутость крон равна 0) и характеристики участков с максимально-сомкнутым древостоем (сомкнутостью крон 0.9-0.95). Расчет значений компоненты «сомкнутости древостоев» для пикселей изображения по крайним элементам значений (0-100%) выполнено с использованием возможностей программного пакета ENVI 4.6.1.

Калибровка построенной модели и проверка ее точности выполнена на основании анализа сходимости полученных величин и пространственно привязанных данных, зафиксированных с использованием GPS приемника, фотографической камеры Canon EOS-60D и объектива «Fish-eye» в ходе зимних полевых исследований модельного участка. Между полученными показателями отмечена значимая положительная коррелятивная связь ($r=0.94$) (рис.1).

Итогом обработки изображений 1988-2006 гг. стали тематические картосхемы, отражающие показатель сомкнутости древесного яруса (%) для отдельных лет наблюдений (Елсаков., Марушак, 2011). Результаты обработки легли в основу расчета интенсивности изменения показателя по 4 изображениям (1988-2006 гг.), представленного в виде линейной функции и приведенного для удобства к 10-ти летнему интервалу наблюдений.

Анализ трендов изменения NDVI территории по материалам съемки MODIS показал, что рост значений индекса отмечен для большинства участков Приполярного Урала. Для равнинных лесов Печоро-Илычского заповедника отмечено снижение индекса с

интенсивностью до 0.02-0.03 за 10 лет, что характерно для старовозрастных лесов, для которых по мере увеличения возраста степень просматриваемости «в глубину» на аэрофотоизображениях возрастает (Аковецкий, 1983).

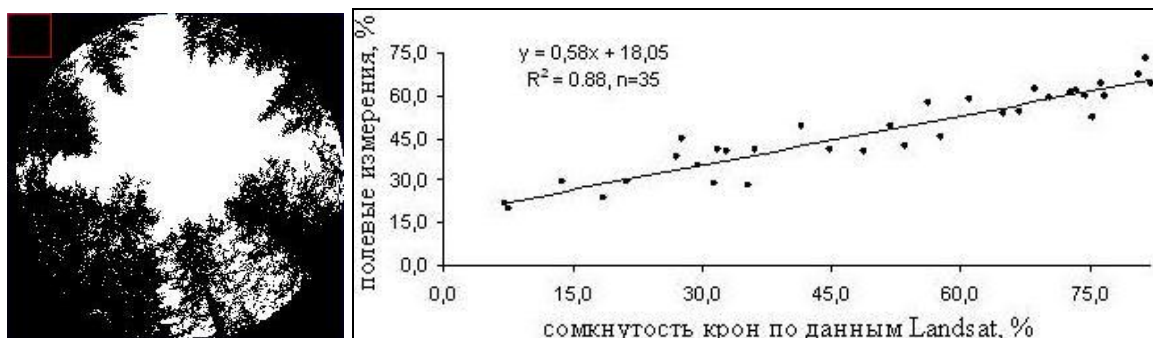


Рис.1. Изображение с объектива «Fish Eye» после дискретизации на два класса (А), Корреляция показателей сомкнутости по спутниковым материалам и полевыми измерениями (Б).

Существенный рост значений индекса на Северном Урале маркирует участки послепожарного восстановления. Так, максимальное увеличение показателя (более 0.04 за 10 лет) наблюдается на восстанавливаемом участке площадью порядка 829.5 га в сосняке лишайниковом, расположенном южнее устья р. Укью, произошедшего по данным обработки Spot-VGT, в 20-21 декаду (вторая половина июля) 2000 г. (Елсаков, Щанов, 2005). По материалам съемки Spot-VGT величины максимальных за год значений индекса для участка изменялись в пределах: 0.71-0.74 (ненарушенный), в последующий после пожара год – 0.62, и постепенный рост индекса в течение последующего года на 0.09.

Учет изменений сомкнутости древостоев по четырем изображениям Landsat (Рис. 2) позволил с одной стороны снизить уровень погрешности измерений, с другой наблюдать основные временные тренды изменений под влиянием естественных, катастрофических (пожары) причин и антропогенного влияния. Для большинства элементов изображений

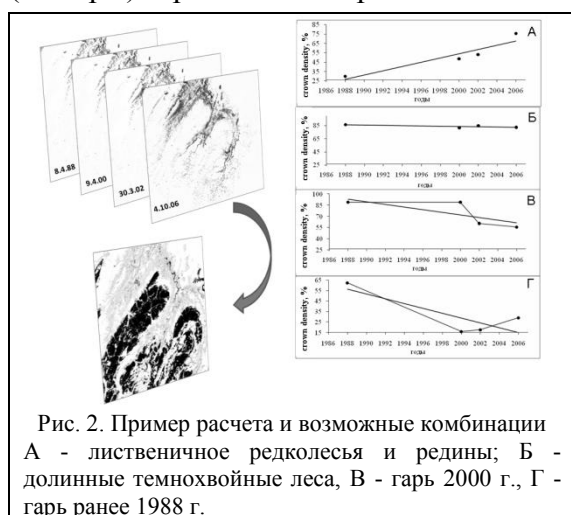


Рис. 2. Пример расчета и возможные комбинации А - лиственничное редколесье и редины; Б - долинные темнохвойные леса, В - гарь 2000 г., Г - гарь ранее 1988 г.

(пикселей) все многообразие изменений может быть сведено к 3 видам: 1 - постепенный рост показателя сомкнутости, отмечен для ненарушенных сообществ лиственничников или восстанавливающихся после пожара сообществ; 2 - стабильность или незначительное снижение показателя; 3 – резкий рост/падение значения показателя для одного из лет изображений, что связано преимущественно с пожарами.

Представление полученных результатов в виде функции, демонстрирующей изменение показателя сомкнутости за 10-летний временной период, показало, что для отдельных участков территории также наблюдается как рост, так и снижение величин показателя или его

стабильность. Наибольшие изменения связаны с участками редколесий экотонных зон на границе лес-тундра, с переходом групп менее сомкнутых лиственничников в группы более высоких классов сомкнутости (таблица 2; значения знаменателя). При этом, наблюдается уменьшение количества пикселей для классов меньшей сомкнутости. Для фитоценозов класса темнохвойных лесов изменения имели наименьшую представленность.

В месте с тем, можно отметить, что рост степени сомкнутости крон также выделяет участки, ранее подвергнувшиеся катастрофическим влияниям. Активное зарастание лиственными породами нарушенных участков отмечено на гарях Национального парка. В качестве интенсивности их изменений служит показатель сомкнутости, меняющийся за 10

лет до +/- 20%. Полученные результаты позволяют оценить масштабность и пространственную приуроченность эндогенных и экзогенных влияний, ведущих к росту степени гетерогенности растительного покрова, оценить их интенсивность.

Работа выполнена при поддержке программы фундаментальных исследований Президиума РАН «Живая природа» (проект № 12-П-4-1018).

ЛИТЕРАТУРА

1. Аковецкий В.И. Дешифрирование снимков М.: Недра, 1983. 374 с.
2. Барталев С.А. Использование спутниковых изображений для оценки потерь углерода лесными экосистемами в результате вырубок / С.А. Барталев, Т.С. Ховратович, В.В. Елсаков // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – М.: ООО «Азбука-2000», 2009. – Вып. 6. – Т.2. – С. 343-352.
3. Елсаков В.В., Марущак И.О. Спектрозональные спутниковые изображения в выявлении трендов климатических изменений лесных фитоценозов западных склонов Приполярного Урала // Компьютерная оптика. 2011. Т35. №2. С.281- 286.
4. Елсаков В.В., Тетерюк Л.В. Спутниковые изображения в изучении влияния рельефа на формирование флористического своеобразия фитоценозов карстовых ландшафтов европейского северо-востока России // Исследование Земли из космоса. 2012. №3. С.78-93.
5. Елсаков В.В., Щанов В.М. Оценка временных изменений растительного покрова Печоро-Илычского заповедника // Труды Печоро-Илычского заповедника. Вып. 14. Сыктывкар, 2005. С. 54-58.
6. Лесное хозяйство и лесные ресурсы Республики Коми / под ред. А.И. Таскаева. – М.: Дизайн. Информация картография, 2000. – 260 с.
7. Тужилкина В.В., Бобкова К.С., Мартынюк З.П. Оценка баланса углерода лесного фитоценоза // Физиология растений, 1998. Т. 45. С. 914-918.

THE SATELLITE DATA IN FOREST ECOSYSTEMS CHANGES MONITORING OF URAL RESERVES LANDSCAPES

V.V. ELSAKOV

Institute of Biology Komi Sc UrD RAS

The results of remote sensing monitoring of Ural forest reserve ecosystems (North and Subpolar) by Landsat and MODIS sensors are presented per period of 24 years (1988-2011). The main natural trends of forest density at Subpolar Ural were related with increasing of crown density in ecotone zone with rare *Larix* is near 1-2% per year on gently sloping mountains slopes. The Terra-MODIS data analysis demonstrate the stable trend of NDVI index decrease related with natural age-specific processes.

КОСМИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ В ОЦЕНКЕ ПОСЛЕДСТВИЙ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ (НА ПРИМЕРЕ ТВЕРСКОЙ ОБЛАСТИ)

С.Н. ЖАРИНОВ

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова

Статья посвящена рассмотрению возможности применения данных космического мониторинга в оценке качественного состояния лесов поврежденных пожарами. На примере территории Тверской области проведен анализ повреждения лесов и дана сравнительная характеристика сведений по данным космического мониторинга и отчетам наземного лесопатологического обследования за период с 2007 по 2011 год.

Мониторинг лесов представляет собой систематическое долгосрочное слежение за состоянием лесных насаждений для обеспечения рационального лесопользования, предотвращения и устранения негативных процессов и тенденций (Энциклопедия, Том II, 2006). С развитием космических технологий появилась возможность его осуществления дистанционными методами.

Космический мониторинг, осуществляемый дистанционным методом с целью выявления негативных изменений качественного состояния лесов, обеспечивает проведение космической съемки в видимом, инфракрасном и радиодиапазонах электромагнитного спектра специальными приборами искусственных спутников Земли. Передача полученной информации производится по радиоканалам в оперативном режиме на земные пункты приема информации, где проводится ее оперативная обработка и доставка по назначению (Энциклопедия, Том I, 2006).

Одной из важных задач космического мониторинга является оценка последствий действия лесных пожаров. Она является сегодня одной из самых важных для информационной системы дистанционного мониторинга Федерального агентства лесного хозяйства (ИСДМ-Рослесхоз). Обеспечение данной функции возможно при помощи блока оценки последствий лесных пожаров. Он обеспечивает автоматическую обработку спутниковых данных низкого и среднего пространственного разрешения (MODIS, SPOT-VGT) для оценки площадей, пройденных огнем, на основе анализа временных рядов спутниковых данных (Егоров В.А. и др., 2008). Блок позволяет осуществлять также оценку степени повреждений лесов и послепожарной динамики состояния гарей, выявлять и оценивать изменения в лесах, связанные с пожарами.

Цель исследования - рассмотрение возможности применения космического мониторинга по данным ИСДМ-Рослесхоз в оценке площадей, занятых лесами, которые погибли вследствие пожаров. Для этого проведен сравнительный анализ данных ИСДМ-Рослесхоз и данных наземных исследований о площадях погибших насаждений вследствие лесных пожаров за период с 2007 по 2012 год.

Детектирование поврежденных пожарами площадей осуществляется по данным наблюдений со спутника Тетра (прибор MODIS) с разрешением 250м. Технология детектирования гарей от технологии обнаружения пожаров и базируется на детектировании резкого уменьшения зеленой растительной массы на территориях, на которых были ранее зарегистрированы «горячие точки», по сравнению с данными, полученными за ряд предшествующих лет. Для этого используется «коротковолновый вегетационный индекс», рассчитываемый по данным прибора MODIS спутника Тетра (Учебное пособие, ФГУ «Авиалесохрана», 2009-2011).

Перед началом пожароопасного сезона производится предварительная обработка изображений ряда предшествующих лет с целью фильтрации снежного покрова, облачности и сбойных участков. Затем формируется ежедневный ряд изображений, основанный на данных измерений предшествующих лет, для создания опорных значений яркости неизменной растительности, характеризующих значения яркости и её возможные пределы изменения в каналах прибора MODIS, которые не могут быть вызваны пожаром.

Производится сравнение значений коротковолнового вегетационного индекса текущего года с опорными данными, основанными на ряде предыдущих лет, по всем точкам снимка. Если в каких-либо точках произошло резкое снижение вегетационного индекса (т.е. значительное уменьшение зеленой растительности), которое соответствует по времени наблюдениям пожара со спутника Тетра, то считается, что в этих точках снимка видна гарь.

Точки гарей, обнаруженные в результате такой обработки, поступают в базу данных ИСДМ-Рослесхоз. Последующая их обработка аналогична обработке пожаров (т.е. объединение соседних точек гарей, расчет контуров гарей, прослеживание динамики, определение площадей гарей).

Детектирование гарей происходит с задержкой по времени. Поскольку обработка спутниковых данных начинается только после их поступления в базу данных. Кроме того, надежность расчета динамики вегетационного индекса повышается с накоплением ежедневного временного ряда данных, поэтому обработка данных начинается через 10 дней после появления новых данных спутника Тетра. Данные о гарях поступают в базу данных ИСДМ-Рослесхоз в течение десяти дней с момента их появления. Таким образом, информация о гарях поступает в ИСДМ-Рослесхоз через 20-25 дней от текущей даты

(Учебное пособие, ФГУ «Авиалесохрана», 2009-2011). После этого срока считается, что информация о гари окончательна и может быть использована для оценки пройденной огнем площади. Следует также отметить, что ИСДМ-Рослесхоз позволяет уточнить площадь пожара после его окончания по данным снимков высокого пространственного разрешения.

Алгоритм выявления пройденных огнем площадей на основе сравнительного анализа текущих данных MODIS с данными предыдущих лет призван улучшить качество информационных продуктов, предоставляющих пройденные огнем площади. Существующая технология выявления участков поврежденной пожарами растительности по временным сериям данных спутниковых наблюдений Terra (прибор MODIS) основана на использовании комбинации спектрально-отражательных и температурных признаков поверхности и использует стандартные ежедневные продукты MOD09, а также ежедневные данные тепловых аномалий MOD14 (Justice C.O., et al., 2002).

Ошибка метода существенно выше при оценке площадей участков повреждений весенними пожарами по сравнению с пожарами летнего периода. Это связано с тем, что, восстановление поврежденной весенними пожарами растительности часто происходит за относительно короткий промежуток времени, в то время как имеющие место значительные межгодовые вариации фенологического развития растительности в данное время года существенно затрудняют автоматическое выделение поврежденных участков (Учебное пособие, ФГУ «Авиалесохрана», 2009-2011). Последствия от пожаров летнего периода имеют, как правило, существенно более устойчивый характер и остаются видимыми на спутниковых изображениях продолжительное время, часто измеряемое годами.

Исследования показали, что по данным ИСДМ-Рослесхоз на территории Тверской области в 70 % лесных пожаров гарь не регистрируется, то есть качественные характеристики лесных насаждений остаются неизменными. За период с 2007 по 2011 год по данным прибора MODIS лесные гари зарегистрированы на площади 19254 га, причем средняя ежегодная площадь составляет 76 га. По данным наземного лесопатологического обследования (Обзор состояния лесов, 2012) за аналогичный период зарегистрирована гибель лесных насаждений на площади 1218 га, средняя площадь составила 7 га. Различия между приведенными показателями достигают 10 и более раз. Поэтому можно сделать вывод, что выявление пройденных огнем площадей по данным MODIS не позволяет достоверно оценивать масштабы повреждений растительности пожарами на территории Тверской области в течение пожароопасного сезона.

Это объясняется тем, что точность детектирования поврежденных огнем участков по данным спутникового мониторинга, зависит от площади гари, времени года, когда произошел пожар, типа и интенсивности пожара. Существует зависимость средней относительной ошибки оценки площадей повреждений по данным MODIS от размеров участков, которая составляет менее 100% для участков более 200 га (Учебное пособие, ФГУ «Авиалесохрана», 2009-2011), а площадь погибшего леса от одного пожара в Тверской области в среднем составляет около 7 га.

Для более точного автоматического детектирования лесных гарей в системе космического мониторинга для территорий, где участки гарей не превышают 200 га, должны использоваться данные высокого пространственного разрешения. Это обеспечит контроль за предоставляемыми данными наземного лесопатологического обследования, увеличит оперативность предоставляемых данных для своевременного проведения в лесах санитарно-оздоровительных мероприятий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Егоров В.А., Барталев С.А., Лупян Е.А., Стыценко Ф.В. Сравнительный анализ результатов детектирования пройденных огнем площадей территории Северной Евразии по данным SPOT-Vegetation и Terra-MODIS // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2008. Выпуск 5. Т. II. С.292-296.
2. Обзор санитарного и лесопатологического состояния лесов Тверской области в 2011 году и прогноз лесопатологической ситуации на 2012 год. М.: Филиал ФГУ «Рослесозащита» «Центр защиты леса Тверской области», 2012.

3. Применение информационной системы дистанционного мониторинга "ИСДМ-Рослесхоз" для определения пожарной опасности в лесах Российской Федерации: Учебное пособие - г. Пушкино (МО), ФГУ "Авиалесоохрана", 2009-2011 год. – 273 с.
4. Энциклопедия лесного хозяйства: в 2-х томах. Том I. М.: ВНИИЛМ, 2006.
5. Энциклопедия лесного хозяйства: в 2-х томах. Том II. М.: ВНИИЛМ, 2006.
6. Justice C.O., Giglio L., Korontzi S., Owens J., Morisette J.T., Roy D., Descloitres J., Alleaume S., Petitcolin F., and Kaufman Y. The MODIS Fire Products. Remote Sensing of Environment, 2002. C.244-262.

INFORMATION OF SPACE MONITORING IN ASSESSING THE EFFECTS OF FOREST FIRES (BY AN EXAMPLE OF TVER REGION)

S.N. ZHARINOV

Moscow State University

The paper considers the possibility of applying satellite monitoring to assess the of quality of forest condition affected by fires. By an example of Tver region analyzes forest damage and the comparative characteristic of the information According to satellite monitoring and ground survey data from 2007 to 2011.

КАРТОГРАФИРОВАНИЕ ПОРОДНОЙ СТРУКТУРЫ ЛЕСНОГО ПОКРОВА РОССИИ ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ MODIS

В.О. ЖАРКО, С.А. БАРТАЛЕВ, В.А. ЕГОРОВ

Институт космических исследований РАН

Представлены результаты картографирования породной структуры лесного покрова России методом локально-адаптивной классификации данных, характеризующих сезонную динамику спектрально-отражательных характеристик земной поверхности на основе многолетних спутниковых измерений спектрорадиометром MODIS. Приведены результаты сравнительного анализа площади лесов различных пород по данным спутникового картографирования и официальной статистики.

При решении задач мониторинга и исследования окружающей среды важно наличие данных о видовом составе растительного покрова. Наличие объективных и регулярно обновляемых пространственных данных о породном составе лесов является, в частности, важнейшей составляющей информационного обеспечения лесного хозяйства и фундаментальных биосферных исследований. Получение такого рода данных на больших территориях в настоящее время наиболее целесообразно выполнять на основе методов дистанционного зондирования со спутников.

Прибор MODIS проводит ежедневные измерения спектральных характеристик земной поверхности для всей территории России. В ИКИ РАН разработаны алгоритмы обработки данных MODIS, позволяющие получать изображения, очищенные от мешающих факторов и шумов. Таким образом, наличие многолетнего архива данных спутниковых наблюдений позволяет формировать однородные временные ряды спутниковых изображений для последующей обработки и анализа.

На основе предварительно очищенных многолетних данных MODIS формируются разновременные изображения коэффициента спектральной яркости (КСЯ), отражающие типичную сезонную динамику спектральных характеристик поверхности Земли для всей территории России.

Построение карты преобладающих пород леса основано на анализе изменений спектрально-отражательных характеристик лесного покрова в течение вегетационного сезона, отражающих различную динамику биофизических характеристик у лесов различных

пород. Отнесение лесного покрова к одному из тематических классов, соответствующих различным преобладающим породам, реализовано на основе классификации методом максимального правдоподобия с обучением с использованием локально-адаптивного подхода, разработанного в ИКИ РАН, позволяющего учитывать локальную изменчивость спектральных характеристик земной поверхности при классификации больших территорий (Барталев и др., 2011). Сформированные разновременные изображения КСЯ использовались в качестве признаков при классификации.

Подготовка обучающей выборки для классификации происходит на основе совместного анализа разновременных карт типов земного покрова, сформированных в ИКИ РАН по данным MODIS, и карты лесов СССР (ред. А.С. Исаев, 1990). Дополнительное уточнение и фильтрация выборки осуществляется на основе итеративного процесса ее сравнения с результатами классификации.

Полученный к настоящему времени прототип карты лесного покрова России по состоянию на 2010 год содержит 13 тематических классов, соответствующих основным преобладающим древесным породам. Результаты сравнения оценок распределения покрытой лесом площади по основным породам с данными официальной статистики представлены в таблице.

Таблица. Сравнение оценок распределения площадей основных пород леса с данными статистики.

	официальная статистика	спутниковая карта
Ель	11,3%	10,3%
Пихта	2,1%	1,3%
Сибирский кедр	5,7%	6,5%
Сосна	17,4%	17,1%
Лиственница	39,0%	40,0%
Дуб	1,1%	1,4%
Бук	0,12%	0,15%
Береза каменная	1,3%	1,6%
Береза	16,8%	17,5%
Осина	3,5%	3,6%
Липа	0,51%	0,45%
Клен	0,05%	0,08%

Представленные в работе результаты получены при поддержке Министерства образования и науки РФ (Государственный контракт № 14.515.11.0007 на выполнение НИР по теме «Разработка методов дистанционного мониторинга природных пожаров для оценки их воздействия на окружающую среду и прогнозирования техногенных рисков» - Шифр: 2013-1.5-14-515-0039-021)

ЛИТЕРАТУРА

1. Барталев С.А., Егоров В.А., Ершов Д.В., Исаев А.С., Лупян Е.А., Плотников Д.Е., Уваров И.А. Спутниковое картографирование растительного покрова России по данным спектрорадиометра MODIS // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2011. Т.8. № 4. С.285-302.

RUSSIAN FOREST SPECIES MAPPING BASED ON MODIS SATELLITE DATA

V.O. ZHARKO, S.A. BARTALEV, V.A. EGOROV

Space Research Institute RAS

A method to map predominant forest species based on locally-adaptive classification algorithm and MODIS multi-annual data derived seasonal profiles of surface reflectance is developed. A comparison of forest species area estimates based on satellite data derived map and the official state statistics is presented.

ЭКОЛОГО-ДИНАМИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ ЛЕСОВ НА ОСНОВЕ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ И ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ РЕЛЬЕФА

В.М. ЖИРИН, С.В. КНЯЗЕВА, С.П.ЭЙДЛИНА

Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН

В докладе представлены результаты эколого-динамического исследования лесов на примере участка темнохвойной тайги Красноярского края. Выявлены зависимости между возрастом, долей хвойных пород в насаждении и спектральными характеристиками космического снимка *Landsat TM*.

Эколого-динамический подход позволяет классифицировать насаждения, как по группам типов леса, так и по типам условий местопроизрастания, и затем, рассматривать выделенные однородные участки в качестве одной экосистемы, находящейся на разных стадиях развития. В один тип условий местопроизрастания (группу типов леса) объединяются лесные и безлесные участки, коренные и производные типы леса, однородные по климатическим, орографическим и эдафическим факторам, с одинаковой тенденцией лесообразовательного процесса (Жирин и др., 2012). Таким образом, формируются репрезентативные для статистического анализа эколого-динамические ряды (ЭДР). Системы показателей ЭДР могут включать таксационные данные лесоустройства, характеристики спектральной яркости изображения, различные показатели рельефа, режим увлажнения и др.

В качестве модельной территории для исследования биоразнообразия лесов выбран участок, площадью примерно 100 000 га, расположенный в Приангарском лесном таежном районе, на северо-западе Приангарского плато (Красноярский край). Рельеф местности слабо возвышенный, расчлененный, диапазон высот составляет от 140 до 460 м. Леса входят в подзону южной тайги Западно-Сибирской провинции с преобладанием темнохвойных лесов. В пределах исследуемого участка представлены зеленомошная, крупнотравная, разнотравная и сфагновая группы типов леса темнохвойной, светлохвойной и мелколиственной формации лесов. Древесная растительность отличается большим разнообразием, основными лесообразующими породами являются пихта, сосна, ель, кедр, лиственница, береза, осина. Большинство насаждений имеют смешанный породный состав.

Основным источником при формировании базы данных для модельной территории служила таксационная база лесоустройства 1992 г. В состав картографических данных вошла также топографическая карта масштаба 1:100000 (гидрография, рельеф). В качестве съемочных материалов для эколого-динамического исследования выбраны мультиспектральные космические снимки высокого пространственного разрешения *Landsat TM*, полученные в летний (16.06.1989) и ранневесенний (03.04.1991) периоды. Космический снимок *Landsat TM*, полученный в начале апреля 1991 года, ввиду близости по дате съемки к дате проведения лесоустройства, использовался для актуализации данных съемки, полученных за три года до лесоустройства.

На основе векторных слоев топографической карты масштаба 1:100000 создана цифровая модель рельефа (ЦМР). Размер ячейки растра ЦМР выбран равным размеру пиксела снимка *Landsat TM* - 30 м. При помощи ЦМР автоматически рассчитаны морфометрические поверхности углов наклона (крутизны) и экспозиции склонов в градусах и интерактивно выделены пять типов морфографических показателей рельефа местности: водораздел (плато), верхняя часть склона, средняя часть склона, нижняя часть склона и пойменные участки.

В границах таксационных выделов базы данных по космическому снимку *Landsat TM* (16.06.1989) и растровым изображениям характеристик рельефа рассчитан набор спектральных, морфометрических и морфографических показателей. Спектральные показатели для каждого выдела включают в себя количество пикселей снимка, попавших в границы выдела, минимальное, максимальное и среднее значения яркости и стандартное

отклонение в каждой зоне. Показатели рельефа (морфометрические и морфографические) – минимальное, максимальное, среднее значение и стандартные отклонения для высоты над уровнем моря (метры) и крутизны склонов (градусы), среднее значение для экспозиции склонов (градусы) и форм рельефа (числовой код). Все полученные показатели присоединены к таксационной базе по уникальному идентификатору выдела.

На основе статистических выборок из базы данных сформировано несколько эколого-динамических рядов по группе типов леса и преобладающей породе, по форме рельефа, по условиям увлажнения. В таблице 1 приведены основные параметры древостоев, рассчитанные по таксационным данным.

Таблица 1. Распределение основных таксационных показателей по преобладающим породам

Преобладающая порода	Количество выделов	Доля земель, покрытых лесной растительностью, %	Средняя площадь выдела, га	Средне взвешенный возраст, лет	Средне взвешенная полнота	Преобладающая группа типов леса	Преобладающий класс влажности почв
сосна	470	9,5	15,9	125	0,63	разнотравная	свежий
ель	444	9,4	13,7	146	0,62	зеленомошная	влажный
пихта	1281	34,4	21,3	116	0,69	разнотравная	свежий
лиственница	110	2,5	16,4	175	0,56	разнотравная	свежий и влажный
кедр	252	5,3	13,5	178	0,62	зеленомошная	влажный
береза	787	26,3	23,9	84	0,64	разнотравная	свежий
осина	441	12,6	24,1	84	0,61	разнотравная	свежий

Совместный статистический анализ таксационных, морфографических и морфометрических характеристик позволил выявить ряд взаимосвязей. Большая часть исследуемой территории представлена склонами – 92 %. Из них верхняя часть склонов составляет 12,7%, средняя часть склонов – 53,8% и нижняя – 25,9%. Пойменные участки занимают только 5% территории, а водораздельные – 3%. Выделенные формы рельефа достаточно хорошо согласуются с данными лесоустройства: свежие, влажные и сырые почвы, соответствующие мезоморфным условиям произрастания, представлены в 95% выделов. На рисунке 1 показана приуроченность основных лесообразующих преобладающих пород деревьев в составе насаждений к определенным формам рельефа.

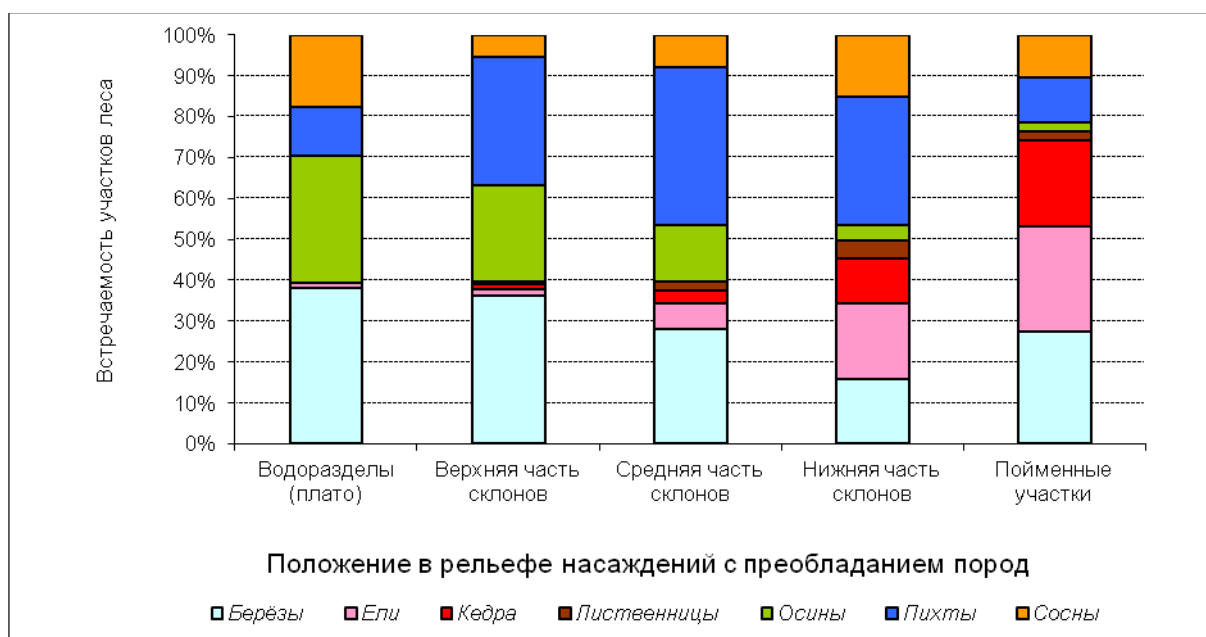


Рис. 1. Приуроченность насаждений лесообразующих пород к формам рельефа

На склонах с влажными мезоморфными условиями произрастают в основном пихтовые разнотравные и зеленомошные леса, в сырых условиях нижних частей склонов и пойменных участков – еловые и кедровые зеленомошные и сфагновые леса. Для осиновых крупнотравных и разнотравных лесов характерны, в основном, участки водоразделов, верхние и средние части склонов. Сосновые разнотравные и зеленомошные насаждения приурочены к водоразделам или пойменным участкам. Березняки представлены всеми группами типов леса, а экологический диапазон насаждений включает все типы местообитания. Большинство древостоев произрастает на пологих склонах (до 5°). На склонах южной экспозиции преобладают сосняки и осинники. Большая часть пихтовых, кедровых и лиственничных насаждений произрастают на западных и северных склонах, а еловые насаждения – на западных и восточных. Березняки представлены на склонах всех экспозиций примерно поровну.

В результате статистической обработки ЭДР выявлена динамика возрастных изменений спектральной яркости изображения насаждений - во всех спектральных каналах с увеличением возраста сохраняется тенденция к снижению уровня яркости изображения. В качестве примера на рисунке 2 приведен график зависимости яркости тёмнохвойных зеленомошных лесов в среднем инфракрасном канале от возраста насаждений.

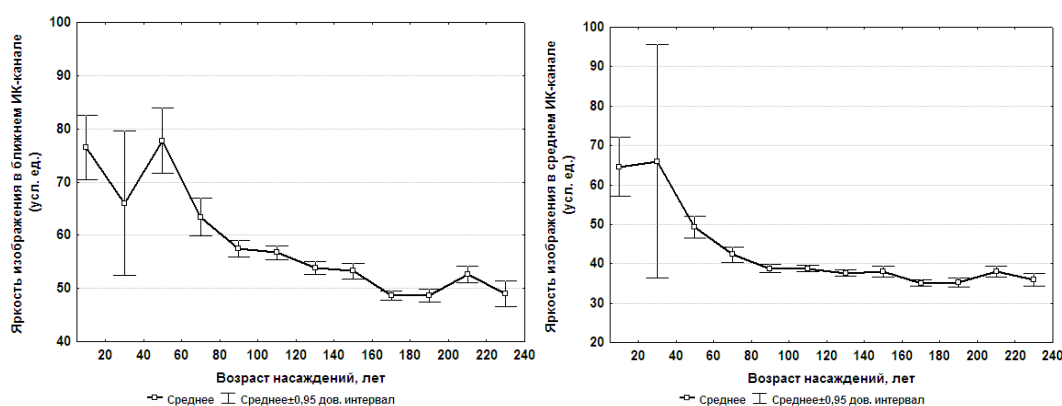


Рис. 2. Изменение яркости изображения в ближнем и среднем ИК-каналах тёмнохвойных зеленомошных лесов в зависимости от возраста насаждений

Можно достаточно уверенно предположить, что наибольшие значения яркости изображения в возрастном диапазоне до 60-80 лет, сопровождаемые высоким уровнем дисперсии, связаны, прежде всего, с динамикой полноты и морфологии полога, а также с конкурентной борьбой между лиственными и хвойными породами. Скорость снижения яркости в разных спектральных каналах различается: в видимом диапазоне она минимальная (5-7%), а в инфракрасных каналах достигает до 40% на протяжении первых 80 лет.

При исследовании связи спектральных характеристик с долей участия хвойных пород в составе насаждений наибольший диапазон изменений спектральной яркости также отмечается в ближнем и среднем инфракрасных (ИК) каналах. Анализ данных ЭДР позволил отметить некоторые характерные особенности связи спектральной яркости в ближнем и среднем ИК-каналах с возрастом и долей участия хвойных пород в составе насаждений различных групп типов леса. В большинстве групп типов леса с увеличением возраста насаждений нарастает участие хвойных пород, и, соответственно, снижается яркость, при этом наблюдается разная скорость изменения доли хвойных пород в разные возрастные периоды. Максимальная скорость увеличения с возрастом доли хвойных пород наблюдается в светлохвойных зеленомошных и разнотравных лесах, им же соответствуют и наибольшие значения доли хвойных пород (45- 65%) на начальном этапе развития насаждений (рис. 3). Наибольшая яркость в ближнем ИК-канале наблюдается в крупнотравной группе светлохвойных и мелколиственных лесов, наименьшая – в сфагновой группе тёмнохвойных лесов.

Полученные зависимости наглядно демонстрируют динамику спектральных характеристик насаждений в разных группах типах леса, от начального этапа развития леса до возраста 200-250 лет. Знание тенденций поведения спектральных кривых (градиентов, максимумов и минимумов) может быть полезно в процессе дешифрирования лесов по космическим снимкам и будет способствовать повышению достоверности распознавания



Рис. 3 Динамика доли участия хвойных пород и яркости изображения в инфракрасных каналах светлохвойных зеленомошных лесов

различных параметров древостоев. Таким образом, статистический анализ больших массивов данных ЭДР позволяет дать детальную характеристику лесных экосистем и количественно оценить взаимосвязи таксационных, морфометрических и спектральных показателей для различных стадий лесообразовательного процесса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Жирин В. М., Князева С.В., Эйлина С.П. Раздел 7. Особенности восстановления нарушенного лесного покрова в таёжных лесах Русской равнины // Разнообразие и мониторинг лесных экосистем России. Под редакцией А.С. Исаева. Т.1,. М: Товарищество научных изданий КМК, 2012, с.352-381.

ECO-DYNAMIC STUDY OF FORESTS ON THE BASIS OF SATELLITE IMAGES AND DIGITAL ELEVATION MODEL

V.M. ZHIRIN, S.V. KNYAZEVA, S.P. EYDLINA

Center for forest ecology and productivity RAS

The report presents the results of ecological and dynamic studies of forests on the example of dark-coniferous taiga site in Krasnoyarsk region. It was defined dependences between age, proportion of conifers in forest stand and spectral characteristics of space images *Landasat TM*.

ОБ ОПЫТЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МНОГОЧАСТОТНОГО РСА РАДИОЛОКАЦИОННОГО КОМПЛЕКСА В ИССЛЕДОВАНИЯХ ОТРАЖАТЕЛЬНЫХ СВОЙСТВ СОСНОВЫХ ЛЕСОВ

А.А.КАЛИНКЕВИЧ¹, Б.Г.КУТУЗА¹, М.С.КРЫЛОВА¹, В.И.СЛЮСАРЕВ²

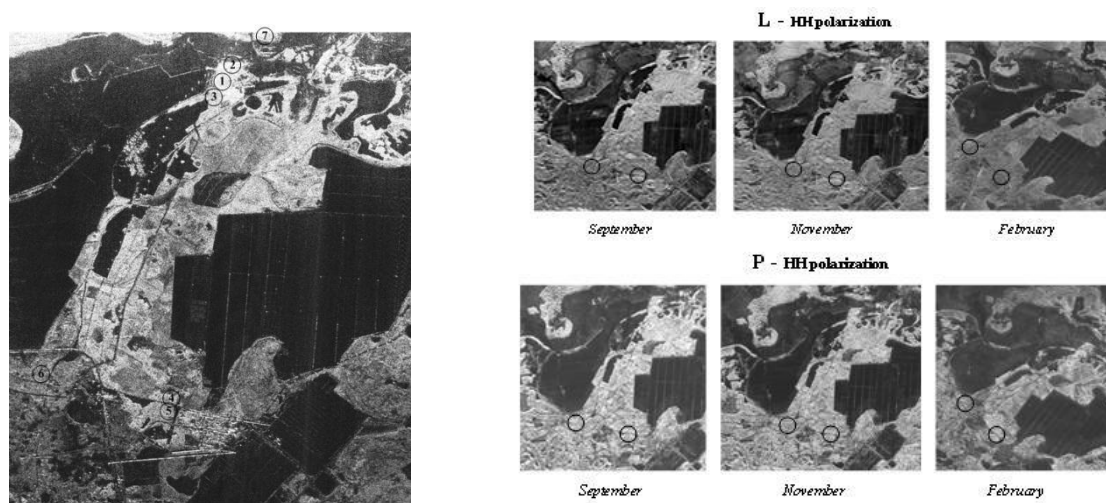
1.Институт Радиотехники и Электроники им. В.А.Котельникова РАН

2.Российский Государственный Аграрный Университет им. К.А.Тимирязева

Для объяснения сезонных особенностей радиолокационных изображений (РЛИ) соснового леса в L и P диапазонах длин волн проведены наземные исследования, включающие в себя сезонные измерения влажности стволов, веток и хвои деревьев, структуры верхнего слоя почвы, измерения диэлектрической проницаемости древесины на корню. Выполнены измерения характеристик верхнего слоя почвы под лесным покровом. Представлен метод измерения диэлектрической проницаемости живой древесины.

В работе (Арманд и др., 2008) были представлены результаты самолетного эксперимента по радиолокационной съемке хвойных сосновых лесов с помощью РСА комплекса ИМАРК, работающего в диапазонах длин волн X ($\lambda=4\text{см}$, $F=7,8\text{ГГц}$), L ($\lambda=23\text{см}$,

$F=1.3\text{ГГц}$), $P(\lambda=68\text{см}, F=0,44\text{ГГц})$, $VHF(\lambda=254\text{см}, F=0,117\text{ГГц})$ на тестовом полигоне в Рязанской области. При анализе сезонных результатов радиолокационных съемок сосновых лесов отмечалось, что в диапазонах L ($f=1.3\text{ ГГц}$), P($f=0.44\text{ ГГц}$), VHF наблюдаются anomalous поведение обратного рассеяния. В частности, особенности хорошо прослеживаются при анализе сезонных результатов радиолокационной съемки в L и P диапазонах на HH поляризации. Сопоставление отражения в L диапазоне двух участков соснового леса с различными таксометрическими параметрами в сентябре ноябре месяцах показывают, что отражения от леса увеличивается с ростом биомассы растительности (рис.1).



Ноябрь VHF-HH polarization

Рис. 1. Сезонные радиолокационные изображения. Кружками обозначены участки наземных измерений

Однако в феврале разница в отражательных свойствах выбранных участков исчезает. Одновременно с этим в P диапазоне длин волн наблюдается противоположная тенденция в отражательных свойствах: в феврале месяце разница в отражательных свойствах выбранных участков увеличивается. В осенний период различие в отражении этих участков в P диапазоне проявляется слабо. Следует отметить, что радиолокационная съемка в феврале месяце выполнялась в период, когда стояла холодная погода – в отдельные дни температура в месте проведения эксперимента доходила почти до -25C^0 . Можно заключить, что таксометрические параметры выбранных сосновых участков за период сентябрь – февраль не изменились, сезонные свойства древесины для обоих сосновых участков должны меняться одинаково. В соответствии с этим возникла задача, связанная с объяснением наблюдаемого характера в поведении отражающих свойств сосновых участков. Следует отметить, что анализ радиолокационных изображений, полученных с японского спутника PALSAR в L диапазоне, в основном, подтверждает данный эффект.

При радиолокационном исследовании лесов отраженный сигнал формируется не только за счет прямого отражения от элементов дерева, но также за счет переотражения от земной поверхности (двугранный механизм обратного отражения) и переотражений от разных элементов дерева (рис.2).

Поэтому первоначально было предложено, что это связано с изменением переотражений от поверхности земли. Однако результатами летних и осенних измерений состава грунта и уровнем залегания грунтовых вод путем бурения и изучения неоднородностей с помощью георадара (Калинкевич и др., 2009) показали, что характеристики верхнего слоя земли одинаковы (рис.3). Таким образом, объяснить наблюдаемый эффект за счет переотражения от земли не удалось. В связи с вышеизложенным было сделано предположение, что особенности поведения радиолокационной отражаемости леса в L и P диапазонах можно попытаться объяснить

сезонной изменчивостью водного режима отдельных элементов деревьев (стволы, ветки, хвоя). Для выяснения сезонной изменчивости водного режима элементов сосновых лесов в районе проведения радиолокационного эксперимента с сентября 2008 г. по июль 2009 г. на семи опытных участках были выполнены измерения влажности древесины, тонких веток и хвои. Известно, что влажность древесины ствола меняется по высоте и глубине, зависит от места его произрастания и т.д. В результате значение ее может сильно флюктуировать от дерева к дереву. Поэтому было решено выполнить сезонные измерения влажности, используя для этого несколько одних и тех же деревьев в каждом районе и сопоставить полученные зависимости. В качестве меры влажности ствола использовались пробы древесины, взятых с высоты 130 см от поверхности земли и с глубин 0-6 см (без учета коры). Недостатком является необходимость многочисленного взятия проб из стволов одних и тех же деревьев. Выбирались деревья, у которых было доступно взять пробы хвои и веток (как правило, крона деревьев на выбранных участках располагалась на высотах 15 и более метров от поверхности земли). Взятие проб осуществлялось в одно и тоже время суток с 11 до 13 часов местного времени.

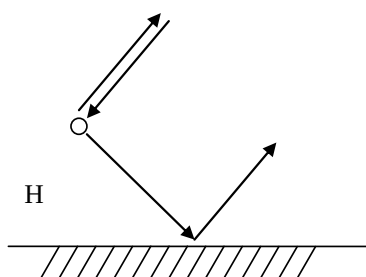


Рис.2.Переотражения излучения почвы от поверхности земли



Рис. 3. Проведение исследований верхнего слоя

На рисунке 4 представлены зависимости динамики изменения влажности древесины (а), веток (б) (с диаметром не более 15 мм), хвои (в). Линиями (аппроксимация) представлены результаты измерений для отдельно взятых деревьев, которые располагаются в сосновых участках с различными отражающими способностями (рис.4). Можно видеть, что для отдельных деревьев четко прослеживается идентичное изменение влажности по сезону. Точками представлены результаты измерений для других деревьев. Аналогичным образом представлены зависимости изменения влажности для веток и хвои (рис. 4.б, в).

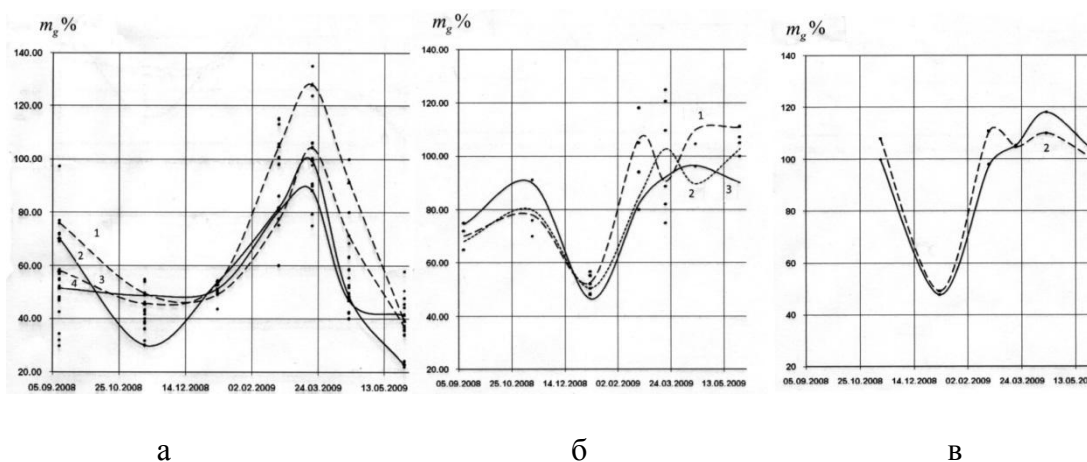


Рис. 4. Зависимости изменения (а) влажности древесины, (б) тонких веток и (в) хвои по месяцам.

Весовая влажность веток и хвои также сильно изменяется, но их зависимости совершенно идентичны. Сезонный характер изменения влажности древесины отличается от изменения тонких веток и хвои. Именно этот факт позволил качественно объяснить наблюдаемые сезонные особенности в период сентябрь-февраль в отражательных свойствах сосновых лесов в L и P диапазонах длин волн. Однако для моделирования обратного отражения требуется знание не самой влажности, а комплексной диэлектрической проницаемости древесины. При моделировании обратного отражения в P и VHF диапазонах длин волн наиболее часто используется следующая модель дерева: деревья представляют в виде диэлектрических вертикальных (стволы) и наклоненных (крупные ветки) однородных цилиндров полагая, что диэлектрические свойства элементов дерева постоянны по всему сечению цилиндра (Israelsson et al., 2000). При этом берутся ориентировочные значения диэлектрической проницаемости. Измерение значений диэлектрической проницаемости осуществляется, как правило, путем взятия образца и измерения его влажности (El-Rayes et al., 1987). Сложность вопроса заключается в том, что при дистанционном зондировании леса, мы имеем дело с биологически живым объектом. Вода в растении находится в стволовых сосудах (капиллярах), входит в состав клеток – молекулы воды в таких системах испытывают сильное воздействие со стороны стенок капилляров, белковых образований, между собой (Gorshko., Makarieva, 2007). Это взаимодействие в значительной мере должно влиять на переориентацию молекул воды под воздействием электромагнитного излучения, т.е. на ее диэлектрические свойства.

При взятии проб из древесины для определения ее влажности качественно нарушается структура биологического объекта, происходит механическое повреждение клеток, что может повлиять на диэлектрические свойства ϵ_c^* “живой” древесины. В соответствии с этим была предпринята попытка разработать методику измерения диэлектрических свойств “живой” древесины без взятия пробы и сопоставить полученных результатов с результатами измерений значений комплексной диэлектрической проницаемости по методике измерения влажности образца, предложенной в работе (Gorshkov, Makarieva, 2007). Метод основан на измерении КСВ антенны, располагаемой внутри ствола. Измерения показали, что диэлектрические свойства живой древесины отличаются от диэлектрических свойств образцов, измеряемых в лабораторных условиях.

Выполненные наземные исследования показывают, что реальные физические модели основных элементов механизмов обратного рассеяния РЛ сигнала от лесных покровов (модели стволов, крупных веток, поверхности почвы и т.д.) в СВЧ диапазоне мало соответствуют тем, которые используются в теоретических моделях по отражению электромагнитного излучения. “Пестрота” почвенного покрова, многообразие структуры элементов дерева, временная изменчивость естественных ситуаций может приводить к тому, что результаты количественного моделирования рассеивающих свойств лесных покровов могут существенно отличаться от экспериментальных результатов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Н.А.Арманд, А.А.Калинкевич, В.Ю.Манаков, М.С.Крылова О механизме обратного рассеяния электромагнитных волн сосновым лесом в метровом диапазоне длин волн.// Радиотехника и электроника, 2008. Т.53, №10.С. 1223-1235.
2. А.А. Калинкевич, М.С. Крылова, В.М. Масюк, В.Н. Марчук Использование георадара для исследования неоднородностей верхнего слоя почвы хвойного леса.// Радиотехника, 2009 март . №3. С. 98-103.
3. Israelsson H., Ulander L., Martin T., Askne J.H. A Coherent scattering model to determine forest backscattering in the VHF-band // IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing January 2000. V. 38, № 1. P. 238–248.
4. El-Rayes M.A., Ulaby F.T. Microwave Dielectric Spectrum of Vegetation // IEEE Trans. On Geoscience and remote sensing, vol.GE-25, NO.5, 1987, pp.541-557.
5. Gorshkov V.G., Makarieva A.M. Biotic pump of atmospheric moisture as driver of the hydrological cycle on land. Hydrology and Earth System Sciences, 2007, 11, 1013-1033.

ON EXPERIENCE OF MULTI-FREQUENCY SAR COMPLEX UTILIZATION IN THE INVESTIGATIONS OF PINE FOREST BACKSCATTERING

A.A.KALINKEVICH¹, B.G.KUTUZA¹, M.S.KRULOVA¹, V.I.SLYUSAREV²

¹Kotel'nikov Institute of Radio Engineering and Electronics of RAS

²Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy

For explanation of seasonal peculiarities of pine forest backscattering in L and P bands were carried out in situ experiments which comprised seasonal (from September to July) measurements of moisture content in trunks, branches and needles, studies of the structure upper layer ground, measurements the dielectric permittivity of living wood. A seasonal relation between the reflecting properties of pine tree and the water regime of the elements of the trees is used as a basic for explaining the radar image specific feature of pine forest in L and P bands. The method of measuring the dielectric permittivity of living wood is presented. It is based on measuring the SWR of an antenna which is placed inside the trunk.

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ПРИГОДНОСТЬ СНИМКОВ LANDSAT ТМ И LANDSAT ETM+ ПРИ ЛАНДШАФТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ СЕВЕРО-ЗАПАДА РОССИИ

Д.М. КИРЕЕВ

Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова

Сообщение посвящено проблеме пригодности использования в лесных исследованиях снимков, полученных в различных диапазонах спектра. Изучение проводилось на различных ландшафтах Северо-Запада России.

Дистанционные ландшафтные исследования ведутся строго и последовательно на четырёх уровнях: континентальном, региональном, локальном и детальном. На каждом из уровней в логической последовательности, начиная с крупных ПТК, выявляются и картографируются ландшафтные страны, области, районы, ландшафты, местности, урочища и фации. Повторяющиеся ПТК объединяются в типологические категории. Нарушение иерархического порядка всегда приводит к ошибкам интерпретации, снижает точность и производительность дистанционных исследований. Дистанционные изображения как источники ландшафтной информации обладают шестью особенностями: 1) обширной площадью наблюдения; 2) возможностью обзора большой территории одновременно, а не по частям; 3) возможностью менять масштаб, детальность и подробность наблюдения; 4) возможностью изучения лесов на стереоскопической трёхмерной модели местности; 5) возможностью видеть объективное изображение подлинного лесного ландшафта без искажений и ошибок, вносимых картами; 6) возможностью повторных без ограничения во времени наблюдения лесов в камеральных условиях.

На кафедре лесной таксации, лесоустройства и ГИС Санкт-Петербургского лесотехнического университета ландшафтной группой исследователей с помощью студентов, магистрантов и аспирантов кафедры создаются Лисинский, Охтинский и Стрельцовский научно-исследовательские и учебные полигоны, которые находятся в различных ландшафтах Северо-Запада. Проводятся разнонаправленные и разномасштабные ландшафтные исследования этих территорий. Наряду и совместно с дистанционными изображениями интерпретируются общегеографические (в том числе гипсометрические и топографические) и тематические (компонентов и элементов ландшафта) карты. Рассматривая картину, фотографию или дистанционный снимок, наблюдатель различает объекты благодаря признакам изображения. Неверно называть их прямыми дешифровочными признаками. Таких признаков изображения шесть: 1- тон или цвет, 2 – размер, 3 – форма, 4 – рисунок, 5 – размещение, 6 – тень.

В зависимости от выраженности признаков изображения все сфотографированные предметы можно подразделить на физиономичные, слабофизиономичные и нефизиономичные при данных условиях дистанционной съёмки. У физиономичных объектов для опознавания достаточно выражено большинство признаков изображения. У слабофизиономичных – признаки изображения выражены слабо или достаточно выражены только некоторые из них. Нефизиономичные предметы и объекты не имеют отдельных признаков и не опознаются на дистанционном изображении. На мелкомасштабных и космических снимках нет отдельного изображения деревьев, а тон или цвет изображения интегрируется из тона или цвета освещенных частей крон + затенённых частей крон + освещенных частей поверхности земли + затенённых частей поверхности земли.

Поэтому тон участка леса зависит от соотношения площадей этих фрагментов. По этой причине в северных редкостойных лесах с увеличением густоты изображение становится более плотным и тёмным, так как увеличивается доля участков земли, закрытых тенями, а редины изображаются более светлым тоном. На зимних телевизионных снимках сверхмелкого масштаба тон зависит от соотношения лесопокрытых участков, болот и безлесных пустошей.

Однако при выявлении ПТК по аэроснимкам необходимо иметь в виду, что тон изображения лесных объектов может резко варьироваться в пределах совершенно однородных в природном отношении условий по самым различным причинам. Различный тон, например, имеют травостой и скошенные участки, древостой и вырубка, коренное и производное насаждение. Высота деревьев и древостоев разных пород в насаждении, величина промежутков между кронами, размер крон деревьев, разновысотность и разница в высоте древостоев различных пород указывают на экологические режимы лесных земель. Для ландшафтной оценки важно иметь сведения о высоте речной террасы, ширине ложбины стока, крутизне склона, высотной отметке поверхности. Последние два показателя легко считываются с топографических карт. На протяжении ряда лет мы были свидетелями значительного усовершенствования технических средств аэрофотосъёмки, а также введения в практику новых приборов для дешифрирования аэро- и космоснимков. Тем не менее, свойство неполного отражения лесов на дистанционных изображениях осталось до настоящего времени.

Наряду с указанными ограничениями изучения лесов по признакам изображения пологая и крона отдельных деревьев, высотная съёмка открывает совершенно новые возможности, которые не обеспечивает ни один из наземных методов исследования и которыми не обладали лесоводы прошлого. Лесовод-дешифровщик имеет практически необъятную широту обзора, может одновременно наблюдать трехмерную модель значительной по площади лесной территории, непосредственно видеть закономерности ее пространственной дифференциации. Рассматривая аэроснимки, дешифровщик наблюдает фрагмент природного или окультуренного (освоенного) ландшафта со свойственной ему морфологической структурой. Дешифровщик видит как ПТК в целом, так и их отдельные компоненты: растительность, поверхность земной коры с характерным для нее рельефом, отложениями и коренными горными породами, почвы, воды, атмосферу. Различные компоненты ландшафта видны в различной степени, некоторые из них не видны совсем. Компоненты ландшафта представлены элементами, которые также обладают различной физиономичностью: деревья, древостой, кустарники, сельскохозяйственные и лесные культуры, возделанные пашни, очаги энтомофитов, сооружения, здания, пашни, вырубки, обнажения, карьеры, облака, дымка, разливы рек, лужи после дождя и т.д. Ландшафтное дешифрирование дистанционных снимков подразделяется на три этапа: обнаружение, опознавание и интерпретация. На первом этапе обнаруживаются и оконтуриваются хорошо физиономичные ПТК. На втором этапе идентифицируются физиономичные, хорошо известные и знакомые ПТК. На третьем этапе опознаются слабо физиономичные и нефизиономичные ПТК, раскрывается их содержание, свойства и характеристики. Физиономичные компоненты, элементы ландшафта и ПТК играют при

этом роль ландшафтных индикаторов. На этапе ландшафтной интерпретации дистанционных снимков приобретается основной объём сведений о лесах, повышается точность качественных и количественных оценок лесов. При дешифрировании АКС соблюдаются четыре общих руководящих правила: правило множественности признаков, правило сходимости, правило исключения и правило ландшафтных индикаторов. Для того чтобы узнать, чем является изобразившийся объект, часто выясняют, чем он быть не может. Дешифровщик последовательно на основании противопоставления по различным признакам объектов отбрасывает целые их группы. В результате такого исключения остается лишь искомая группа. В качестве ландшафтных индикаторов возможно использование элементов ландшафта, компонентов ландшафта и ПТК с характерной для них структурой.

На трёх различных ландшафтах Русской равнины и Фенно-Скандии проведен сравнительный анализ архивных космических снимков различных спектральных диапазонов по их информативности. Использованы архивные снимки, полученные с помощью систем Landsat TM и Landsat ETM+ среднего разрешения 30 м на местности. Фотографии получены совмещением нескольких снимков, сделанных в разные временные интервалы. Масштаб рассмотренных нами космических снимков 1:100 000. В этом масштабе мы видим только топографические объекты, ландшафтные комплексы ранга урочищ и местностей и не можем произвести лесную характеристику. Фотографирование проводилось весной (29.05.1992, 07.05.1993) и в середине лета (15.07.1995). Рассматривались снимки четырех различных зон электромагнитных колебаний и шести их сочетаний: 1. синий (0,45—0,48 мкм) + голубой (0,48—0,50 мкм); 2. зеленый (0,50—0,56 мкм) + желтый (0,56—0,59 мкм); 3. ИК-ближний (0,75 – 0,9 мкм); 4. ИК-ближний (0,9 – 1,3 мкм); 5. ИК-средний (1,3 – 2,09 мкм); 6. ИК-средний (2,09 – 3,00 мкм); 7. зеленый (0,50—0,56 мкм) + желтый (0,56—0,59 мкм), синий (0,45—0,48 мкм) + голубой (0,48—0,50 мкм), красный (0,62—0,75 мкм); 8. зеленый (0,50—0,56 мкм); красный (0,62—0,75 мкм); ИК-ближний (0,75 – 1,3 мкм); ИК-ближний (0,75 – 1,3 мкм); 9. красный (0,62—0,75 мкм); ИК-ближний (0,75 – 1,3 мкм); ИК-средний (1,3 – 3,00 мкм); 10. зеленый ($\lambda = 0,50—0,56$ мкм) + желтый ($\lambda = 0,56—0,59$ мкм). Дешифрирование проводилось методом сопоставления снимков между собой и сравнением с топографической картой. По результатам работы была создана сравнительная таблица, где всем замеченным объектам была дана оценка: 0 - не различим, 1 – плохо различим, 2 - хорошо различим. По результатам работы построен график пригодности космических снимков для изучения ландшафтной структуры каждого участка. Можно сказать, что наилучший результат дали снимки диапазонов 6, 9, 10 (в этих диапазонах помимо антропогенных объектов четко видны и природные объекты: границы болота - его топяной части, части заросшей лесом и места залегания наибольшего слоя торфа – места ведения торфоразработок, так же можно увидеть с/х земли – возделанные и придолинные участки рек); наименее эффективными для изучения территории оказались снимки диапазонов 1, 2, 3, 4, 7, 8 (на этих снимках более размыты русла и долины рек, границы дорог, мелиоративной сети; плохо различаются земли сельскохозяйственного назначения, пашни, садовые участки); непригодным – диапазон 5 (можно точно определить только границы озер и болот).

На видимость объектов так же повлияло и различное время съемки. На весенних снимках мы можем наблюдать период облиствления древостоя. Он благоприятен для распознавания лиственных пород в связи с одновременным прохождением ими фаз, характерен благоприятными условиями освещения. В весенний период со слабым развитием листвы через поверхность полога на крупномасштабных аэроснимках можно рассмотреть поверхность земли. На летних снимках наблюдается период полного облиствления – зеленая растительность достигает своего наивысшего развития, древостои лиственных и смешанных насаждений образуют плотный полог с устойчивой зеленой окраской. В этот период наилучшим образом просматривается структура крон и полога насаждений. Недостатком летних аэроснимков является плохая просматриваемость плотно затененной поверхности земли. В видимой зоне спектра контрасты между древесными породами не значительны. По результатам изучения космических снимков можно сделать выводы: Лучшее всего объекты

топографической карты видны на снимке диапазона 4 (черно-белый снимок). На этом снимке достаточно четко видны дороги как автомобильные, так и железнодорожные. Хорошо видны границы заболоченных участков, выделяются и непроходимые участки болот. Хорошо видны мелиоративные каналы, границы населенных пунктов, дачные поселки. На снимках четко видны большие реки и ручьи. Хорошо видны границы озёр. Хуже всего объекты топографической карты видны на снимке диапазона 5 (черно-белый снимок). Границы болот, населенных пунктов не четкие. Дороги, поселки дачного типа почти не выделяются, очень размыто. На цветных снимках объекты топографической карты лучше всего просматриваются на снимке диапазона 9. На снимке четко выделяются границы озер, болот (видны и непроходимые участки болот). Хорошо видны и гидромелиоративные каналы. Четко выделяются большие реки и ручьи. По сумме баллов оценки распознавания снимки смешанного цветного диапазона оказались самыми распознаваемыми. На них можно различить отдельные строения, дороги, береговые линии озер и рек, обрывы, болота, ЛЭП, можно заметить неявно выраженные железнодорожные станции, местами лесные дороги, реки и каналы. На остальных цветных снимках, в зависимости от диапазона, более четко просматриваются разные объекты топокарты. Например, на снимках диапазонов 7 и 10 более четко видны границы болот, озер, населенных пунктов, сельскохозяйственных земель, а на Ландсатовском снимке более четко видны такие топографические объекты как: дороги, озера, населенные пункты, гидромелиоративные каналы. На снимках всех вышеперечисленных диапазонов невозможно рассмотреть просеки. Произведена оценка сравнительной пригодности аэрокосмических снимков среднего разрешения 30 м на местности и аэрофотоснимков с разрешением 0,5 м на местности, выявлены наиболее оптимальные зоны электромагнитных колебаний, в которых регистрировались ландшафты. Проанализированы четыре зоны и шесть их сочетаний.

ЛИТЕРАТУРА

1. Антипов В.С., В.И. Астахов, Н.А. Брусничкина, И.А. Бычкова и др. «Аэрокосмические методы геологических исследований». Под ред. А.В. Перцова. СПб.: Издательство Санкт-Петербургской картографической фабрики ВСЕГЕИ, 2000.- 316 с.
2. Киреев Д. М. Ландшафтоведение. Лесное ландшафтоведение. Учебно-научное издание. СПб: изд-во СПб ГЛТА, 2007. 604 с.
3. Киреев Д. М. Развитие ландшафтных идей в лесоведении и дистанционных методах. Сборник научных трудов СПб ГЛТА / Юбилейный выпуск СПб, ред. коллегия: отв. Ред . СПбГЛТА, 2005, с.34-52.
4. Киреев Д.М. Метод экоиндикаторов / Методы изучения лесов по аэроснимкам. Новосибирск: Наука СО, 1977, с. 53-84.
5. Киреев Д.М., Лебедев П.А., Сергеева В.Л. Индикаторы лесов. Под ред. Д.М. Киреева. Научное издание.-СПб: изд-во СПб ГЛТА, 2011. 400с.

THE COMPARATIVE ANALYSIS OF THE AIR-SPACE LANDSAT TM AND LANDSAT ETM+ FOR THE LANDSCAPE ESTIMATION OF THE RUSSIA'S NORTH-WEST

D.M. KIREYEV

Saint-Petersburg state forest technical university

This research contents the analyses of the air-space data in different ranges spectrum for forest resources inventory, exploitation, monitoring and thematic mapping. The investigation was realised in different landscape of the natural area complexes of the Russia's north-west.

АНАЛИЗ ДИНАМИКИ ЛЕСНОГО ПОКРОВА НИЖНЕГО ПРИАНГАРЬЯ КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ ЗА ПОСЛЕДНИЕ 20 ЛЕТ ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ LANDSAT

Н.В. КОРОЛЕВА, Д.В. ЕРШОВ

Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН

В работе представлены результаты локального анализа динамики лесного покрова за период с 1989 по 2011 годы по спутниковым изображениям Landsat на тестовом участке Нижнего Приангарья размером 100 на 100 км. Определены площади нарушенных территорий и восстановленных лесной растительностью после повреждений пожарами, насекомыми-вредителями и рубкой леса. Представлены общие тенденции произошедших изменений.

Тестовый участок располагается в районе Нижнего Приангарья (Рис.1). Основные лесообразующие породы региона представлены сосной обыкновенной и лиственницей сибирской. Древостоями с преобладанием сосны занято 42% площади, с преобладанием лиственницы – 24%. Другие хвойные распространены незначительно: древостоями с преобладанием ели занято 8% площади, с преобладанием пихты сибирской - 4% площади, кедра - 3%. Сравнительно широко распространена береза, занимающая 16% площади, местами встречаются осиновые древостои, покрывающие 3% площади (Гусилашвили и др., 1969).

Рельеф территории выражен сложным сочетанием плоских водоразделов, с увеличением абсолютных высот местности к северу и западу. Климат региона – континентальный. Характерна длительная холодная зима, короткое и относительно теплое лето. Переходные сезоны года – весна и осень – короткие, свойственно частое похолодание весной и раннее наступление заморозков осенью. Почвенный покров достаточно разнообразный, он представлен дерново-подзолистыми, дерново-карбонатными и серыми лесными оглеенными длительно-сезонномерзлотными почвами.

Территория Нижнего Приангарья отличается высокой горимостью и большим количеством лесозаготовок.

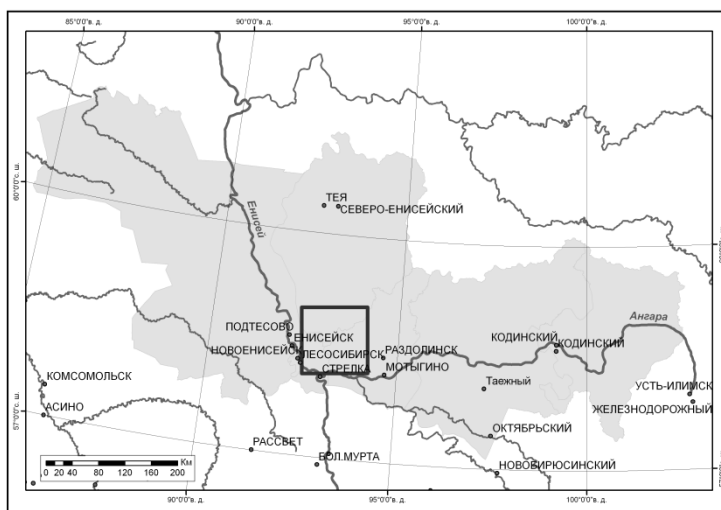


Рис.1. Тестовый участок в районе Нижнего Приангарья

После определения территории для исследования динамики лесного покрова были выбраны подходящие космические снимки из архива данных Landsat за период с 1989 по 2011 годы. На снимках провели фильтрацию облачности и теней и сформировали безоблачные композитные изображения земной поверхности за летний вегетационный период (Белова, Ершов, 2011). В качестве дополнительной информации использовался

производный продукт – маска лесной растительности. Данный продукт получен по карте наземных экосистем в результате обработки разносезонных изображений Landsat (Гаврилюк, Ершов, 2012).

Для выявления изменений применяется статистический метод оценки разностных изображений. В качестве признака используется коротковолновый вегетационный индекс SWVI, рассчитанный по изображениям Landsat до и после изменения. Производится расчет среднего значения и среднего квадратического отклонения (СКО) для разностного изображения вегетационного индекса в пределах маски леса. Факт нарушения устанавливается в случае, если значения в пикселе выходят за пределы 2-х СКО относительно среднего значения в отрицательную зону. Факт положительного изменения, или прироста растительности, вводится в случае, если значения в пикселе выходят за пределы 2-х СКО относительно среднего значения в положительную зону.

На рисунке 2 представлена общая картина нарушений за период с 1989 по 2011 годы, преимущественно определенная проведенными вырубками в данном районе.

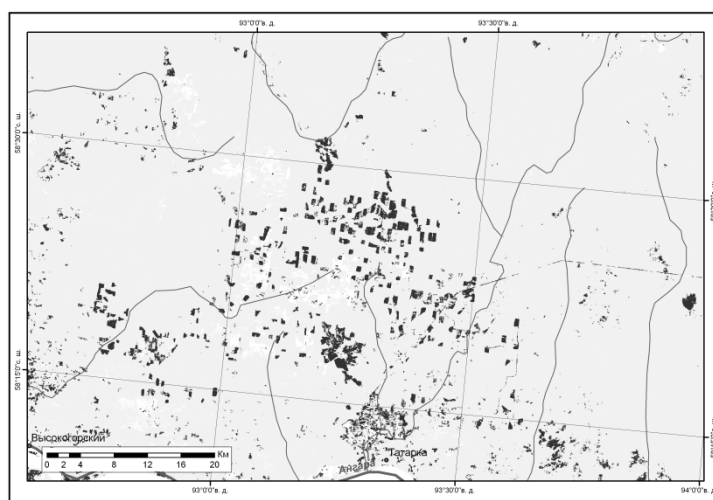


Рис.2. Нарушения лесного покрова за период с 1989 по 2011 год.

На рисунке 3 представлена картина восстановления растительности после нарушения для выбранного региона за период с 1989 по 2011 годы.

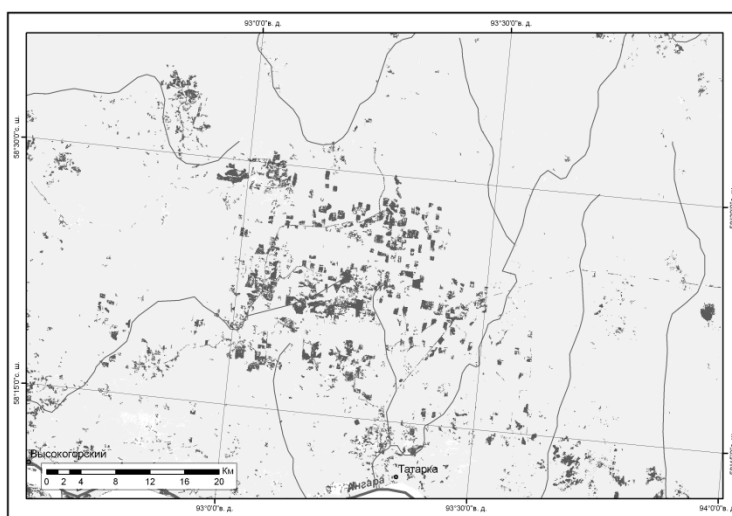


Рис.3. Восстановление растительного покрова за период с 1989 по 2011 год.

Общая площадь участков нарушенных территорий и восстановленной растительности представлена в таблице. Графически эти данные показаны на рисунках 4 и 5.

Таблица. Площадь нарушения лесов и прироста растительного покрова

Временной период	Площадь территорий (га)		Относительная площадь (%)	
	Нарушенных лесов	Возобновившейся растительности	Нарушенных лесов	Возобновившейся растительности
1989-2002	12412	10036	1,17	0,95
2002-2006	17126	2826	1,62	0,27
2006-2007	7433	7569	0,70	0,71
2007-2009	2390	14246	0,23	1,34
2009-2010	9738	3085	0,92	0,29
2010-2011	5894	6359	0,56	0,60

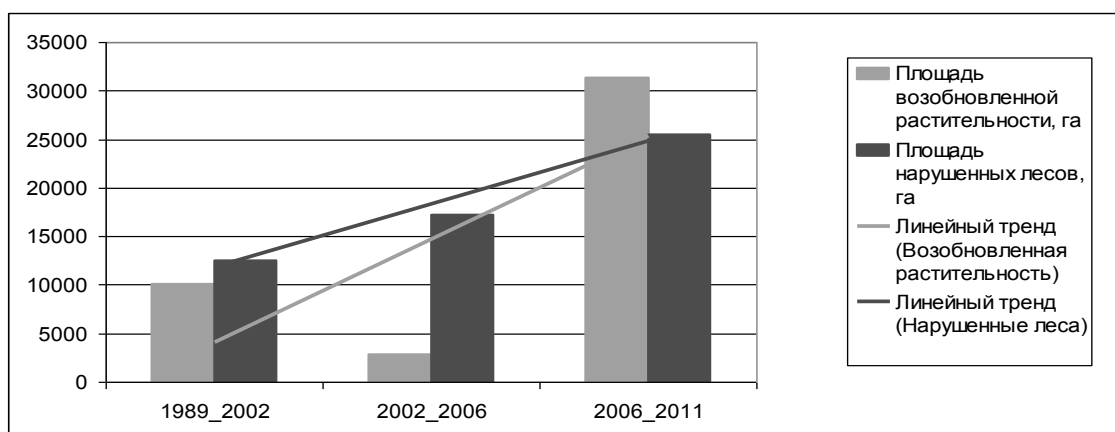


Рис. 4. Площадь нарушенных и возобновленных растительностью территорий за период с 1989 по 2011 год.

На рисунке 4 заметна тенденция к росту количества нарушений за последний десятилетний период по сравнению с предыдущим десятилетним периодом.

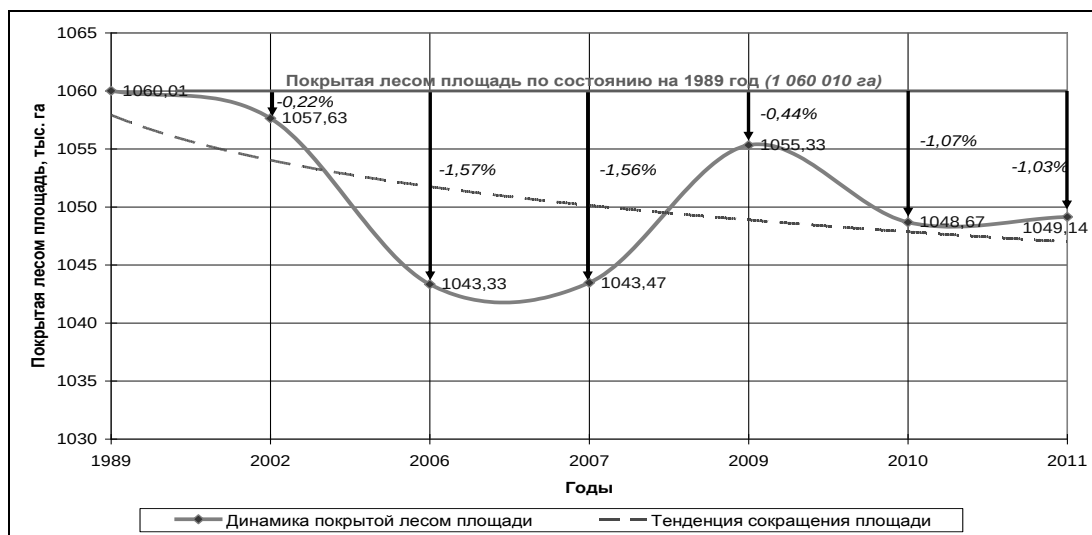


Рис. 5. Динамика покрытой лесом площади.

На рисунке 5 приводится динамика изменения покрытой лесом площади относительно площади лесов 1989 года. Покрытая лесом площадь по состоянию на 1989 год составила 1 060 010 га (или 94,3 % площади выбранного участка). Наблюдается тенденция к сокращению площади лесов в среднем на 1 % за 25 лет.

ЛИТЕРАТУРА

1. Белова Е.И., Ершов Д.В. Предварительная обработка временных серий изображений Landsat-TM/ETM+ при создании безоблачных композитных изображений местности // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2011, Т.8, №1, С. 73-82.
2. Гаврилюк Е.А., Д.В. Ершов. Методика совместной обработки разносезонных изображений Landsat-TM и создания на их основе карты наземных экосистем Московской области // Доклады по компьютерным наукам и информационным технологиям. № 1, 2012 г. Доклады всероссийской научно-практической конференции «Анализ Изображений, Сетей и Текстов» (АИСТ 2012). Екатеринбург, 16 – 18 марта 2012 года. М.: Национальный Открытый Университет «ИНТУИТ» 2012. – С. 143-158.
3. Леса СССР, Том 4, М., 1969 г. 767 с.

ANALYSIS OF FOREST COVER DYNAMICS OF KRASNOYARSKI KRAI (NIZHNY ANGARSKI KRAI) FOR LAST 20 YEARS BASED ON LANDSAT SATELLITE IMAGES

N.V. KOROLEVA, D.V. ERSHOV

Center for forest ecology and productivity RAS

The analysis of dynamics of a vegetation cover of Angarski Krai from 1989 to 2011 based on satellite images of Landsat is presented. The deforested areas and territories with the vegetation cover restored after damage are determined. The general tendencies of the occurred changes are presented.

ОЦЕНКА СТАДИИ РЕКРЕАЦИОННОЙ ДИГРЕССИИ ЛЕСНОЙ СРЕДЫ ПО ДАННЫМ КОСМИЧЕСКОЙ РАДИОЛОКАЦИИ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ

Д.С.КОСТЯШКИН¹, А.Н.ГОРОБЕЦ², Н.Н.ГОРОБЕЦ²

¹УкрНИИЛХА имени В.Г.Высоцкого

²ХНУ имени В.Н.Каразина

Приведены данные собственного и вторичного излучения в радиодиапазоне дубовых древостоев, находящихся на разных стадиях дигрессии рекреационной этиологии. Получены предпосылки для оценки стадий дигрессии лесной среды по данным космической радиолокации высокого разрешения.

Лесные насаждения, произрастающие в границах крупных городов и в пригородных зонах, играют роль стабилизатора экологической ситуации. Выполняя многочисленные экологические и биосферные функции, лесные экосистемы способствуют поддержанию стабильности допустимого баланса кислорода и углерода, сохранению грунтов, улучшению гидроклиматического режима, уменьшению влияния техногенного загрязнения территории.

Однако, под влиянием антропогенных факторов снижается активность таких лесонасаждений, их продуктивность, нарушается природный состав и структура.

Среди антропогенных факторов, имеющих наиболее существенное негативное влияние на состояние древостоев парковых и пригородных зон, следует отметить рекреационные нагрузки. Рекреационная дигрессия в лесных биоценозах проявляется под влиянием их интенсивного использования для отдыха населения. Регулярное пребывание даже ограниченного количества рекреантов (людей) в лесу вызывает постепенные прогрессирующие изменения в сложных взаимосвязанных биологических системах, которые могут привести к разрушению природной среды. К основным видам рекреационного воздействия на лесной биоценоз относятся: механический (вытаптывание, нанесение зарубок на стволах, обламывание ветвей, заготовка дров, ожог почвы от костров, распугивание животных); вынос, отчуждение посетителями вещества и энергии (грибов, ягод, цветов и т. д.) и др. Самым ощутимым и постоянно действующим фактором рекреационной дигрессии

является механическое воздействие — вытаптывание растительного покрова и уплотнение почвы. Традиционные методы изучения степени влияния рекреационных нагрузок на состояние древостоев трудоемки и требуют значительного времени — как правило, несколько лет. В то же время, территория городов в Украине составляет порядка 10% общей ее территории, а пригородные рекреационные лесные зоны составляют порядка 20-25%. Все это делает актуальной разработку дистанционных методов оценки степени влияния рекреационных нагрузок на состояние и продуктивность лесонасаждений. В данной работе развит поход к разработке методов изучения влияния рекреационных нагрузок на состояние и продуктивность дубрав методами космической радиолокации высокого разрешения.

Для изучения влияния рекреационных нагрузок на состояние дубовых древостоев зеленой зоны города Харькова было заложено девять пробных площадей размером 0,1 га в разных стадиях дигрессии - со второй по четвертую. Пробные площади были заложены в 66 -летних дубовых древостоях. В настоящей работе в целях разработки методики оценки степени дигрессии древостоев по радиолокационным космическим снимкам высокого разрешения использованы три из них (Харьковская область, Змиевской район, Скрипаевское учебно – опытное лесное хозяйство (УОЛХ) Харьковского аграрного университета имени В.В.Докучаева) – кленовые дубравы (свежая кленово-липовая дубрава - D₂клД). Их основные характеристики приведены в таблице 1, где *S* – стадия дигрессии, *h*-высота в м; *d*- диаметр стволов см; *P* – полнота; *M* – запас в м³/га, *D*- дефолиация. Доверительные интервалы генерального среднего приведены на уровне $p>0,97$. При определении процента дефолиации использовалась методика мониторинга первого уровня UN-ECE ICP Forests (международная программа по оценке и мониторингу воздействия загрязнения воздуха на леса, действующая в рамках Конвенции ЕЭК ООН о трансграничном загрязнении воздуха).

Как видно из данных таблицы, с возрастанием стадии дигрессии увеличивается процент дефолиации, уменьшается полнота древостоя и его запас.

В рамках настоящей работы, касающейся аспекта радиолокационного мониторинга состояния лесов из космоса, был разработан показатель

$$L=P(1-0,01D),$$

пропорциональный количеству единичных отражающих элементов лиственного древостоя – листовых пластин, количество которых в основном обеспечивает тот или иной уровень вторичного излучения лиственного древостоя (Atroshenko L.M. et al., 2009). Как видно из таблицы, этот показатель имеет обратную корреляцию со стадиями дигрессии.

Таблица 1. Средние показатели исследуемых древостоев

№ ПП	<i>S</i>	<i>d</i> , см	<i>P</i>	<i>D</i> , %	<i>L</i>	<i>M</i> , м ³ /га
3	II	24,5±0,1	0,93	41,9	0,540	232,0
1	III	24,0±0,2	0,92	52,4	0,438	246,4
2	IV	23,5±0,3	0,86	54,5	0,391	209,3

При изучении регрессионных зависимостей

$$S = kL + b$$

установлено, что коэффициенты *k* и *b* имеют ярко выраженную видоспецифичность и в гораздо меньшей степени выраженную топоспецифичность (на исследуемых выборках отличия в различных лесорастительных условиях не достоверны). В данном случае $k = -12,84$; $b = 8,86$, (коэффициент корреляции $K = -0,98$). Однако следует заметить, что данный вопрос требует дополнительного, более объемного исследования.

Эксперимент по изучению уровня собственного излучения дубрав в радиодиапазоне проводился со смотровой вышки, вблизи которой расположены площадки 2 и 3. Площадка 2 расположена непосредственно близ села Мохнач, площадка 3 – на расстоянии 3 км от села, в редко посещаемом местными жителями районе - в силу особенностей рельефа местности.

При том, что лесорастительные, климатические и др. условия произрастания древостоев на этих площадках одинаковы, различия в их состоянии следует практически полностью отнести за счет различий в механических рекреационных нагрузках, которые изучались прямым наблюдением и равнялись в теплое время года $n = 19,78 \pm 3,2$ (рекреанта/сутки $\times$ гектар) на площадке 2 и $n = 0,03 \pm 0,1$ на площадке 3.

Проводилось исследование собственного излучения описываемых древостоев в радиодиапазоне ($\lambda=3\text{см}$). Измерения проводились двумя сериями с интервалом в 2 часа. В обоих случаях температура воздуха в древостое на высоте 2м составляла 290,4 К для площадки 2 и 288,3 К для площадки 3, относительная влажность воздуха равнялась 93%. Колебания температуры по всему объему древостоя не превышали $0,2^\circ$. Эффективная температура воздуха (средневзвешенная по вертикальному профилю древостоя) составляла соответственно 290,36 К и 288,27К. Коэффициенты излучения ϵ , рассчитанные по сопоставлению полученной радиояркостной температуры с температурой воздуха и с эффективной температурой древостоя фактически, идентичны и составляют 0,9996.

Радиояркостная температура древостоев существенно отличалась от данных, полученных для других видов земных покровов, причем радиотепловые контрасты обеспечивались как различиями в термодинамической температуре объектов, так и их структурой. Данные приведены в таблице 2, где T , К – термодинамическая температура воздуха, измеренная на высоте 2м, $T_{\text{я}}$, К – радиояркостная температура, измеренная с вышки, ϵ – коэффициента излучения.

Таблица 2. Характеристики собственного излучения земных покровов

Тип покрова	T , К	$T_{\text{я}}$, К	ϵ
Дубрава-2	290,4	290,3	0,9996
Дубрава-3	288,3	288,2	0,9996
Пашня	293,2	276,3	0,9424
Пашня со всходами	293,2	278,4	0,9495
Пашня со злаками	293,2	288,9	0,9853

Как видно, значения коэффициента излучения ϵ всех наблюдаемых видов земных покровов существенно ниже, чем его значения для исследуемых древостоев. Стадии же дигрессии не оказывают сколько – ни будь заметного влияния на коэффициент собственного излучения дубовых насаждений.

С той же смотровой вышки измерялся коэффициент обратного рассеяния исследуемых площадок на длине волны 9,6см (поляризации НН). При выполнении измерений УЭПР (σ) в панорамном режиме отдельно измерялись σ_x объекта и эталонной сферы $\sigma_{\text{эт}}$. Затем результаты измерений обрабатывались в соответствии с соотношением $\sigma_x = \sigma_{\text{эт}} A_x / A_{\text{эт}}$. Здесь A_x – измеренный уровень сигнала, отраженного от испытуемого объекта, $A_{\text{эт}}$ – измеренный уровень сигнала, отраженного от эталонного объекта. При измерении диаграммы обратного рассеяния древостоев строились графики зависимости относительного значения σ_x от угла визирования объекта. В зависимости от угла наблюдения коэффициент обратного рассеяния объектов колебался от -10дБ до 0 дБ для площадки 2 (IV степень дигрессии) и от -2 до 7,5дБ для площадки 3 (II степень дигрессии). Иными словами, первые эксперименты, требующие, естественно, дополнительной проверки и набора статистики, дают основание полагать, что, как и предполагалось из общефизических соображений, коэффициент обратного рассеяния древостоев коррелирует с показателем L и существенно разнится при разных его значениях.

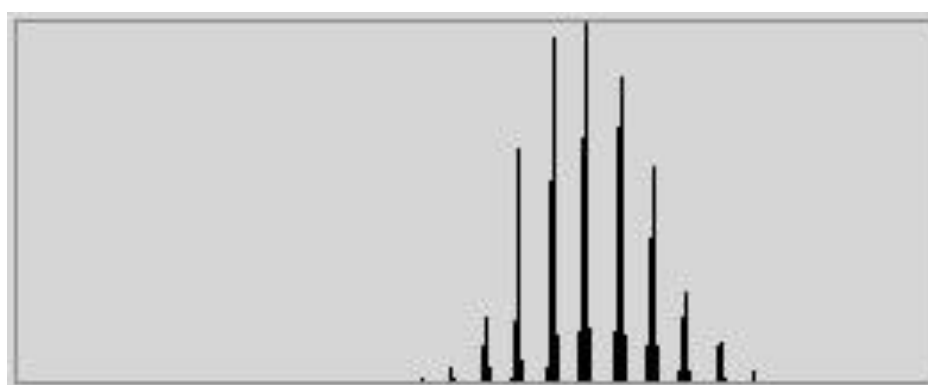
Анализировалась текстура [2] фрагментов радиолокационного изображения (РЛИ) мохначанской дубравы (РСА, $\lambda=9,6\text{см}$, $\rho \cong 1,5\text{м}$), содержащих площадки 2 и 3. Для анализа были выбраны соответствующие фреймы; привязка РЛИ к местности осуществлялась с помощью GPS - приемника «Leica» и двух (по диагонали фрейма), вынесенных над пологом леса маркеров – трехгранных уголкового отражателей с треугольными гранями с эффективной площадью рассеяния 27дБ.

Гистограммы оптической плотности фреймов приведены на рисунке 1.

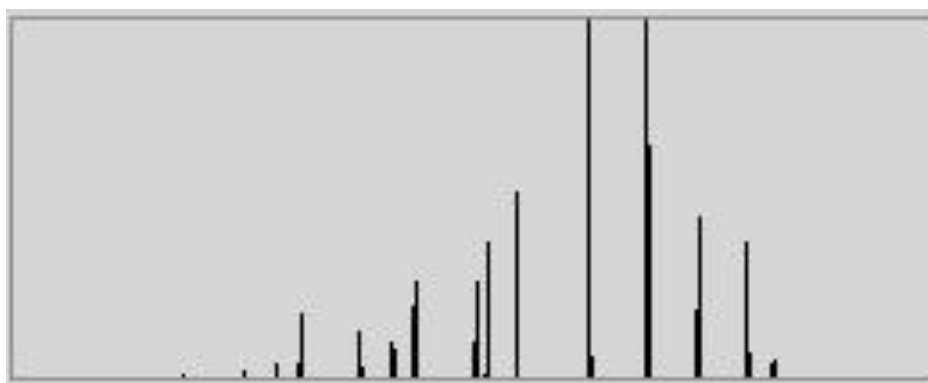
Сравнительные характеристики гистограмм приведены в таблице 3. Под Эффективными модами здесь понимаются моды, которые ниже основной моды не более чем в 2 раза. Под коэффициентом перекрытия эффективных мод понимается доля пикселей из всей выборки ($33 \times 13 = 429$), вошедших в эффективные моды.

Таблица 3. Сравнительный анализ гистограмм фрагментов РЛИ.

	площадка3	площадки 2
Среднее	161	155,59
Дисперсия	15,66	33,43
Медиана	159	160
Кол-во эффективных мод	5	2
Коэффициент перекрытия эффективных мод (%)	87,04%	45,28%



а)



б)

Рис. 1. Гистограммы РЛИ дубрав

а) - гистограмма РЛИ площадки 3 (II степень дигрессии); б) Гистограмма РЛИ площадки 2 (IV степень дигрессии).

Видно, что гистограммы оптической плотности РЛИ изучаемых участков дубрав существенно разнятся в зависимости от стадии рекреационной дигрессии.

Таким образом, получены предварительные данные, свидетельствующие о наличии зависимости между уровнем рекреационной дигрессии древостоев и радиолокационным откликом от них и являющиеся, на наш взгляд, серьезной предпосылкой для разработки методики оценки стадий рекреационной дигрессии по данным радиолокационного космического землеобзора.

ЛИТЕРАТУРА

1. Atroshenko L.M., Gorobetz N.N., Kostyashkin S.I., and Safronova. L.P. Network of complete ground support of space-borne synthetic aperture radars// Telecommunications and Radio Engineering. 2009. №68(4). P. 361-369.
2. R.M. Haralick and R. Bosley. Texture features for image classification// Third ERTS Symp., NASA SP-351, NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt, MD. 1973, Dec. 10-15, P.1921-1969.

EVALUATION RECREATIONAL DIGRESSION STAGE OF THE FOREST ENVIRONMENT ACCORDING SPACE RADAR HIGH RESOLUTION

D.S.KOSTJASHKIN¹, A.N.GOROBETS², N.N.GOROBETS²

¹ **G.N.Vysotskiy Ukrainian Research Institute of Forestry**

² **V.N.Karazin Kharkov national university**

Shows data of its own and the secondary radiation in the radio oak tree stands in various stages of digression of recreational etiology. obtained conditions for estimates of the stages of digression of forest environment according to Space Radar high resolution.

ДИСТАНЦИОННАЯ ОЦЕНКА СОХРАННОСТИ ПРИГОРОДНЫХ ЗЕЛЕННЫХ НАСАЖДЕНИЙ ВОЛГОГРАДА

А. В. КОШЕЛЕВ, О. Ю. КОШЕЛЕВА

Всероссийский НИИ агролесомелиорации РАСХН

В статье представлены методика и результаты оценки сохранности пригородных зеленых насаждений урбанизированной территории (на примере одного из лесничеств Волгограда) по горизонтальной проекции полого. Методика предполагает комбинирование методов наземной таксации, дешифрирования космоснимков высокого разрешения и геоинформационного картографирования.

Последние несколько десятилетий во всем мире характеризуются резким увеличением скорости роста городов. Соответственно ускоряется и темп антропогенного «вторжения» в окружающую город природную среду. Основной «удар» принимает на себя пригородная зона, которая становится местом возникновения различных экологических проблем, обусловленных столкновением городского и аграрного типов хозяйствования с сохранившимися природными экосистемами. В первую очередь от антропогенного воздействия страдают зеленые насаждения, образующие зеленую зону города и подвергающиеся уничтожению, повреждению, загрязнению и иным негативным воздействиям. Ярким примером может служить пригородная зеленая зона города Волгограда, в которой в настоящее время созрела острая необходимость проведения комплексных мероприятий по лесовосстановлению, лесозащите и пожарной охране. Весь комплекс работ должен базироваться, прежде всего, на оперативных данных мониторинга пригородных зеленых насаждений, который до недавнего времени проводился по большей части наземными методами. Однако в настоящее время наиболее перспективно широкое внедрение дистанционной (космической и авиационной) информации. Современные дистанционные средства и методы во многих случаях не обеспечивают получение всего комплекса требуемых данных и должны дополняться данными наземных наблюдений. В связи с этим встает важная задача объединения дистанционных и наземных методов исследований таким образом, чтобы при минимальных затратах труда и средств получать максимальный объем информации (Сухих, 2001).

Целью данной работы является апробация методики определения сохранности защитных лесных насаждений по горизонтальной проекции полого при комбинировании наземных и дистанционных методов (Кулик и др., 2010). Объектом исследования послужили пригородные зеленые насаждения Волгограда в пределах Городищенского участкового лесничества, общей площадью 722,1 га.

При работе с космоснимками высокого разрешения различается не все насаждение, а только верхняя его часть – полог, который становится основным показателем состояния насаждения. Для пригородных защитных лесных насаждений Волгограда, в которых преобладают лесные культуры, создаваемые рядовым способом, характерно наличие, как

правило, одного яруса. Кроме того, при дешифрировании задача облегчается тем, что практически все деревья, образующие горизонтальную проекцию полога насаждения имеют свободно расположенную в пологе крону, а не закрытую, как это бывает в многоярусных насаждениях. Исключения составляют густые и захламленные насаждения.

Комбинирование наземных и дистанционных методов позволило определить сохранность насаждения по его пологу. Суть метода состоит в следующем: на космоснимке обводится контур насаждения, затем оконтуриваются все просветы в пологе (выпады древостоя) и участки сухостоя, и определяется их общая площадь, которая затем вычитается из общей площади контура. Тем самым в итоге получается площадь сохранившегося жизнеспособного древостоя. Площадь участков погибших деревьев в насаждении может складываться из нескольких частей: насаждений, погибших в результате пожара, насаждений, усохших в результате повреждения болезнями, вредителями, либо вследствие других причин. Как правило, на космоснимках QuickBird, из причин повреждения неплохо

определяется пожар (рис. 1А), однако только в том случае, когда на снимке отразился пожар того же года, что и год съемки. На снимках последующих после пожара лет свежий травостой и поросль лиственных пород «маскируют» эффект гари. В этих случаях погибшие в результате пожара деревья различаются как сухостой, а причина гибели устанавливается в полевых условиях, либо по данным лесоустройства. На космоснимках однозначно дешифрируются вырубки древостоя, например под прокладку линии электропередач (ЛЭП) (рис. 1Б).

В нашем исследовании в качестве показателя сохранности насаждения выступает доля сохранившегося древостоя от

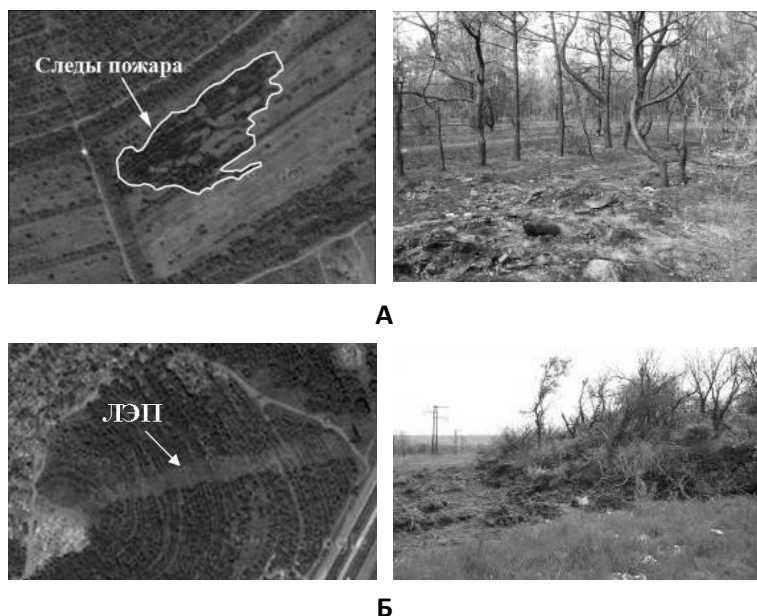


Рис. 1. Дешифрирование пожара и линии электропередач на космоснимках высокого разрешения QuickBird

общей площади контура, выраженная в процентах. Основой для разделения сохранности насаждений на диапазоны послужила шкала оценки лесных культур (Грошев Б. И. и др., 1973), в которой состояние определяется по сохранности насаждения (по проценту опада). На основании поконтурных подсчетов сохранности нами предложена шкала оценки сохранности насаждения, определяемой по космоснимку, включающая очень низкую (менее 25 %), низкую (25,1-50,0 %), среднюю (50,1-75,0 %) и высокую (более 75,1%) степень сохранности. Для описания каждой степени сохранности насаждения оперируют показателями сохранности полога и доли сухостоя. Из полученных данных можно четко определить условия отнесения насаждения к высокой степени сохранности: доля сухостоя в насаждении должна быть не более 10% при сохранности не менее 84-85%. Однако, однозначное установление аналогичных комбинаций для остальных категорий сохранности насаждений вызывает затруднения в силу многовариантности данных комбинаций. К оставшимся трем категориям могут быть отнесены насаждения с высокой сохранностью полога, при этом имеющие и высокие показатели доли сухостоя. Насаждения с небольшим процентом сухостоя, но с изначально небольшой сохранностью полога также никогда не будут отнесены к высокой степени сохранности. Таким образом, степень сохранности насаждения однозначно определяется только по итоговому показателю сохранности.

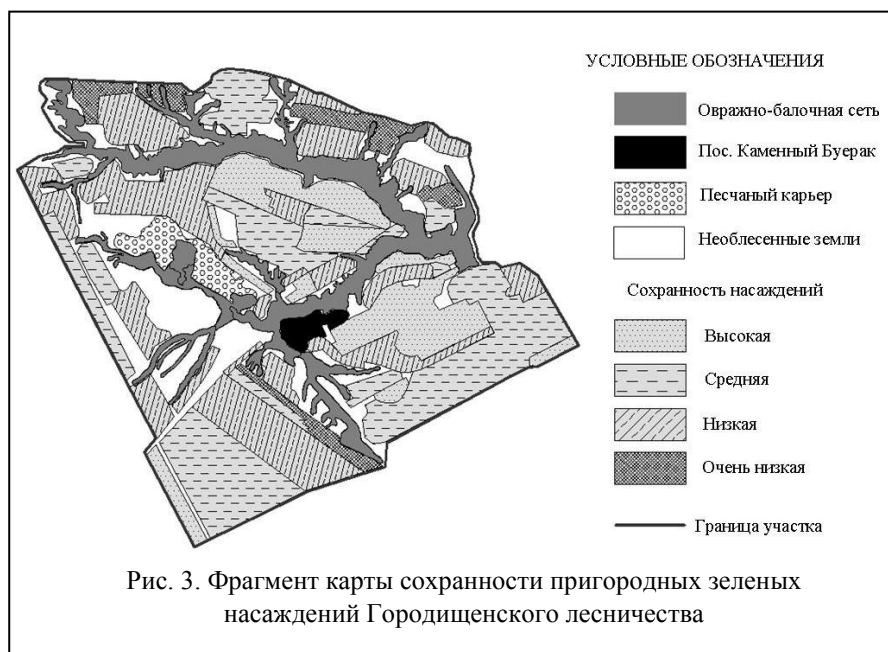
Подсчет площадей защитных лесных насаждений в каждом таксационном выделе Городищенского лесничества позволил установить, что суммарная площадь насаждений с низкой и очень низкой степенью сохранности составляет 38,3%, преобладают здесь насаждения с высокой и средней степенью сохранности - 61,7% (рис. 2).



Разница между общей площадью насаждений на участке и площадью погибшего древостоя дает площадь жизнеспособного древостоя. На исследуемой территории доля жизнеспособного древостоя составляет 56,8% от общей площади защитных лесных насаждений. Это свидетельствует о том, что чуть менее половины защитных насаждений Городищенского лесничества Волгограда распалась по различным причинам: из-за засушливости климата и солонцеватости почв, неправильного проведения лесоводственных мероприятий или их отсутствия, пожаров, повреждения болезнями и вредителями, вырубки под застройку или несанкционированные рубки. Как уже было отмечено, частично причины

гибели насаждений могут быть определены по космическим снимкам высокого разрешения, определение других – задача наземных исследований. По мнению ряда авторов (Маттис и др. 2001), определяющей причиной гибели искусственных зеленых насаждений в зоне неустойчивого увлажнения, к которой относится Волгоград, является неправильное проведение лесоводственных мероприятий или их отсутствие. Особенно сильно сказались на состоянии насаждений упущения 90-х годов прошлого века, когда в связи с недостаточным или полным отсутствием уходов возникли благоприятные условия для массового размножения вредителей, увеличения числа лесных пожаров и массовой несанкционированной вырубки деревьев.

Полученные результаты были отражены на карте сохранности защитных лесных насаждений Городищенского лесничества (рис. 3), составленной с применением современных ГИС-технологий, которые позволяют в объективной, достоверной и наглядной форме представить результаты оценки изучаемой территории. Основным программным пакетом на данном этапе является ГИС MapInfo. Главное преимущество программного комплекса MapInfo – возможность привязки растровых изображений к различным географическим системам



координат, в результате чего осуществляется точное совмещение растровых изображений, например космоснимка и топографической карты. Карта сохранности защитных лесных насаждений позволяет, в частности, определять первоочередность проведения лесохозяйственных мероприятий, выявлять территории, потенциально пригодные для облесения, и объекты, оказывающие негативное воздействие на территорию. Кроме того, в базе данных ГИС хранятся данные по каждому таксационному выделу лесничества, которыми можно оперировать при проведении мониторинга пригородных насаждений в последующие годы.

Таким образом, проведенные исследования позволили установить эффективность применения предложенного методического подхода для дистанционного определения сохранности пригородных защитных лесных насаждений и установления фактической лесистости зеленой зоны. Применение космоснимков высокого разрешения QuickBird показало высокую эффективность в оценке лесных насаждений урбанизированных территорий, поэтому дистанционная оценка современного состояния насаждений в пригородной зоне Волгограда должна стать неотъемлемой частью мероприятий по их восстановлению и улучшению. Считаю вышеизложенную методику оценки сохранности насаждений с завершающим этапом геоинформационного картографирования перспективной, повышающей эффективность исследовательских работ и имеющей практическое значение в мониторинге пригородных зеленых насаждений.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Грошев Б. И., Мороз П. И., Сеперович И. П. и др.* Лесотаксационный справочник. М.: «Лесная промышленность». 1973. 208 с.
2. *Кулик К.Н., Березовикова О.Ю., Кошелев А.В.* Методический подход к дистанционной оценке сохранности защитных лесных насаждений в пригородных агролесоландшафтах // Лесное хозяйство. 2010. № 4. С. 34-35.
3. *Маттис Г.Я., Крючков С.Н.* Лесоразведение в засушливых условиях. Волгоград: ВНИАЛМИ. 2003. 292 с.
4. *Сухих В. И.* Структура и техническая основа системы мониторинга лесов // Лесное хозяйство. 2001. № 6. С.9.
5. *Шульга В.Д., Белицкая М.Н., Елфимова В.А.* Причины усыхания сосняков на Юго-Востоке // Лесное хозяйство. 2001. № 6. С. 22-24.

REMOTE SENSING ESTIMATION OF PRESERVATION OF VOLGOGRAD SUBURBAN GREEN PLANTINGS

A.V. KOSHELEV, O. Yu. KOSHELEVA

All-Russian scientific-research institute of agroforest reclamation RAAS

In article presents the methodology and results of estimation of suburban green plantings preservation of urban area (on example of one of the Volgograd forest districts) on the horizontal projection of the canopy are considered. Technique involves a combination of methods of ground taxation, interpretation of high-resolution satellite images and GIS mapping.

ДИСТАНЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИКИ ЭКОТОНА ТАЙГА– ТУНДРА НА КОЛЬСКОМ ПОЛУОСТРОВЕ

В.И. КРАВЦОВА, А.Р. ЛОШКАРЕВА

Географический факультет Московского государственного университета им. М.В.Ломоносова

Сложная структура растительности экотона тайга-тундра и плохое отображение ее на космических снимках обуславливают поиск оптимальных методов их обработки. Использовалось получение разности значений NDVI на разновременных снимках. Обнаружено сгущение кустарничков в лесотундровой зоне Кольского полуострова за период потепления с 1980-х гг.

Динамика северной границы леса и структуры экотона тундра–тайга в связи с климатическими изменениями исследуется в лаборатории аэрокосмических методов кафедры картографии и геоинформатики географического факультета МГУ в рамках международного проекта PPS Arctic-BENEFITS, в котором участвуют ученые Канады, Норвегии, Великобритании и России. В российской части проекта предусматривается изучение динамики северной границы леса по наземным и дистанционным материалам в северо-западной части Кольского полуострова. Полевые и дистанционные исследования выполнены в ключевом районе Канентъявр в 40 км восточнее г. Мурманска. При сравнительно небольших размерах этот участок относится к разным природным зонам: у западной границы в непосредственной близости к нему подходит лесная зона, большую часть территории занимает лесотундра, а с востока и севера вклиниваются участки тундровой зоны.

Климатические тренды на Кольском полуострове в целом соответствуют как общемировым, так и трендам по России. За период инструментальных наблюдений отмечалось потепление с начала прошлого века до 1930-х годов, похолодание 1950–1970-х годов и новое потепление, начавшееся со второй половины 1980-х годов. Вариации осадков за последние 50 лет незначительны, что подтверждается также отсутствием существенного тренда в годовом стоке рек Кольского п-ова.

Поиск оптимального метода. Постепенность перехода от леса к тундре на местности влечет за собой нечеткость отображения северной границы леса на аэро- и космических снимках. Предпринятая нами попытка привлечения топографических карт для исследования динамики границы лесов оказалась несостоятельной. Выявленные по разновременным топографическим картам изменения контуров лесов при проверке по аэроснимкам, использованным при создании карт, оказались ложными и пришлось отказаться от топографического мониторинга динамики северной границы леса.

Изменения состояния экотона тундра–тайга в период потепления 1986–2006 гг. на локальных участках ключевого района, расположенных в разных природных зонах, были изучены нами при сопоставлении аэрофотоснимков 1986 г. с космическими снимками ASTER (разрешение 15 м). В результате были получены карты изменений растительности для эталонных участков в лесной, лесотундровой и тундровой зонах. Выявлено сгущение древостоев в лесной зоне без изменения границ лесов и сгущение кустарничковой растительности в лесотундровой зоне, в результате чего граница лишайниково-кустарничковой тундры надвинулась на кустарничково-лишайниковую.

При использовании материалов аэрокосмических съёмок более широкого охвата для выявления динамики экотона необходимо иметь снимки с интервалом в несколько последних десятилетий (период потепления), сделанные однотипными съёмочными системами. Из имеющегося фонда космических снимков к таковым относятся снимки со спутников Landsat. Однако их разрешение (30 м) недостаточно для фиксации границ северных лесов. Тщательный анализ с привлечением снимков со спутника QuickBird сверхвысокого разрешения (0.6 м) показал, что на снимках Landsat отображаются границы между лесами разных типов (березовые криволесья с травянистым и кустарничковым нижним ярусами), но не воспроизводятся границы между кустарничковыми криволесьями и кустарничковой тундрой. Причину плохого отображения границ криволесий выявил покомпонентный анализ детального изображения снимка QuickBird в пределах площадок 30×30 м, соответствующих пикселу снимка Landsat. Она заключается во взаимопоглощающем влиянии крон деревьев и их теней: большая яркость изображения крон и низкий уровень яркости теней в сумме дает яркость, соответствующую нижнему кустарничковому ярусу.

Поскольку оказалось, что на снимке Landsat компоненты экотона (древесная растительность, кустарнички, лишайники) не разделяются, решено для выявления динамики растительности по разновременным снимкам обратиться к косвенному показателю состояния растительности – вегетационному индексу NDVI. Использование нормализованной разности Вик и Вк позволяет уменьшить влияние различий в освещенности, дымке и пр. Сравнение

двух разновременных индексных изображений NDVI выявляет картину изменений в растительном покрове.

Изучение динамики растительности по разности NDVI. Специфика методики применения разностных изображений NDVI в наших исследованиях заключается в тщательном подборе и подготовке снимков для сопоставления и методике их анализа, направленной на исключение изменений растительности, не связанных с климатическими колебаниями. В этой методике ограничения ставились на этапе подбора снимков (идентичность по дате съемки в разные годы, анализ погодных условий, предшествовавших съемке), на этапе их обработки (обязательное выполнение радиометрической коррекции, создание масок не-растительных объектов – озер, снежников, облаков и их теней – для исключения их из анализа). На этапе интерпретации исключались из анализа изменения растительности из-за различия погодных условий в годы съемки, в частности, площади вблизи нестаявших снежников; тщательно анализировались и исключались антропогенные изменения растительности. В результате выявлено довольно много участков изменений NDVI за период 1986–2005 гг., возможно, обусловленных потеплением.

Изменение растительности экотона «тундра–тайга» за период потепления 1986–2005 гг. Пространственное распределение участков изменения NDVI подчиняется определенным географическим закономерностям. Чтобы выявить, для каких растительных ассоциаций наиболее характерны изменения, и как они распределяются по территории, выполнено сопоставление участков изменения NDVI с картой растительности масштаба 1:50 000, созданной на основе космического снимка Landsat/TM, полученного 5 июля 2005 г., т. е. одного из тех, по которым определяли разность NDVI. Основной метод ее составления – визуальное дешифрование снимков на экране компьютера, поскольку автоматизированная классификация в связи с особенностями спектральных характеристик редколесной и кустарничковой растительности не обеспечивает разделения компонентов лесотундры. В результате такого анализа составлена схема районирования территории по степени и характеру изменений состояния растительности (рис. 1).

Северо-западная часть территории, где отмечены сильные изменения, обусловленные поздним залеживанием снежников в 1986 г., при этом анализе не рассматривалась. На остальной территории, где изменения состояния растительности могли быть связаны с потеплением в этот период, характер изменений на пониженных участках, занятых преимущественно криволесьем и болотами, и на повышениях рельефа и сопках с кустарничковыми и лишайниковыми тундрами различается.

Районы без изменений занимают около 40% площади. Это наиболее выровненные пространства на обоих типах территорий.

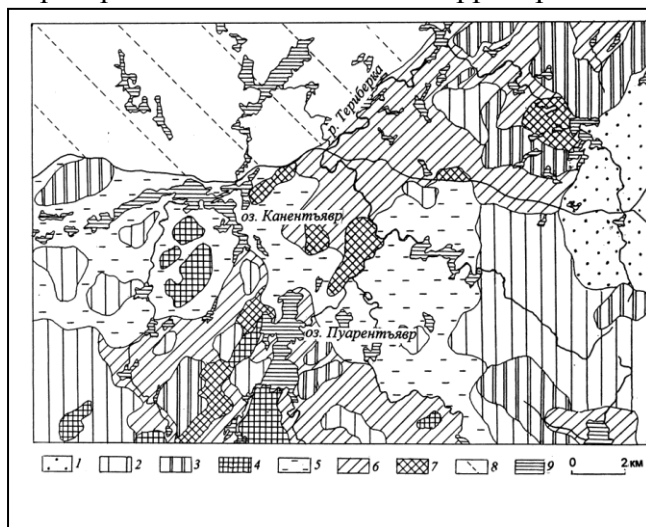


Рис. 1. Схема районирования территории по степени и характеру распределения изменений растительности (увеличения NDVI) за период потепления 1986–2005 гг.

1–4 – территории преимущественно с кустарничково-лишайниковой тундрой: 1 – изменения не зафиксированы, 2 – слабые рассредоточенные изменения, 3 – значительные экспозиционные изменения, 4 – сильные изменения. 5–7 – территории преимущественно с березовыми криволесьями и болотами: 5 – изменения не зафиксированы, 6 – слабые рассредоточенные изменения, 7 – сильные изменения; 8 – участки, исключенные из анализа в связи с влиянием залеживания снежников в 1986 г.; 9 – озера

Районы с небольшими рассредоточенными изменениями – повышением NDVI на небольших площадках (в отдельных пикселах 30х30 м), разбросанных по территории на

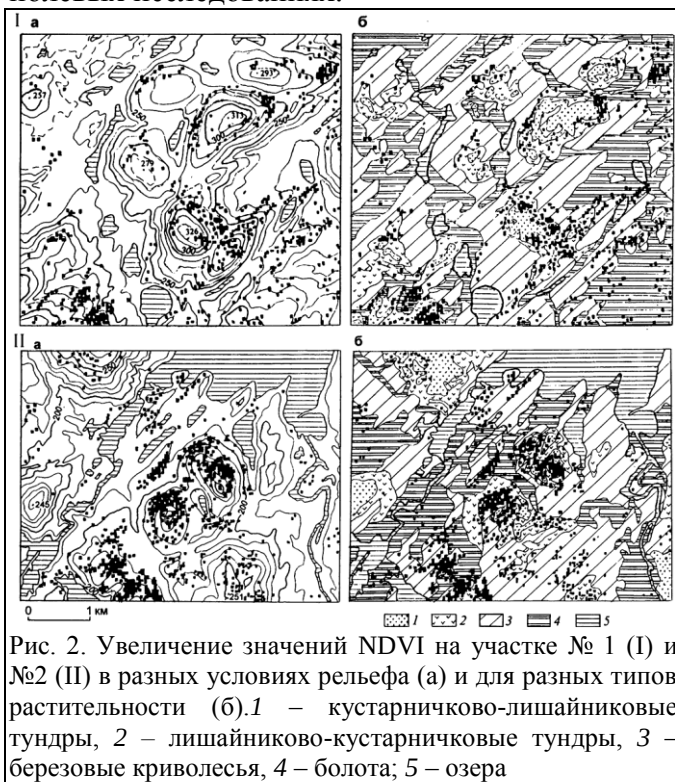
расстоянии от 200 м до 2 км одна от другой, занимают как повышенные тундровые участки плато, так и обширное понижение вдоль долины р. Териберки и ее притоков.

Районы со значительными изменениями экспозиционного распределения. Здесь участки увеличения NDVI сосредоточены полосами вдоль склонов определенных экспозиций, на подветренных привершинных частях склонов, под бровками плато. Ширина полос 1–3 пиксела, т.е. 30–100 м, протяженность порядка 500 м, а протяженность серий полос 1–2 км. На сопках севернее оз. Канентъявр такие полосы характерны для склонов юго-восточной экспозиции. На водоразделе с бассейном Серебрянского водохранилища полосы занимают склоны восточной экспозиции, а на изолированных сопочных поднятиях к востоку и западу от оз. Пуарентъявр они сформировались на склонах разной экспозиции, как наветренных, северо-западных, так и подветренных, северо-восточных.

Районы с участками сильных изменений, сконцентрированных пятнами размером от 200х200 м до 500х500 м (группы в десятки пикселов). Такие пятна сгущения растительности характерны для выровненных пониженных территорий с криволесьями и болотами, в частности вдоль долины р. Териберки, а также для отдельных участков возвышенных территорий с сопками, покрытыми тундрами.

Примеры изменения NDVI на отдельных участках. На примере отдельных участков покажем более детально распределение улучшения состояния растительности (повышения значений NDVI) для разных типов растительности и различных условий рельефа.

Участок № 1 – высокие изолированные сопки восточнее оз. Пуарентъявр (Рис. 2-I). Над урезом озер (232 м) сопки поднимаются до 320 м и на них достаточно хорошо выражена вертикальная поясность. Берзовое криволесье поднимается до 260–270 м. Выше 290–300 м вершины заняты лишайниковой тундрой, а довольно узкий переходный пояс 270–290 м – кустарничковой тундрой, в полосе которой и сосредоточены изменения. Увеличение плотности участков изменений наблюдается на склонах разных экспозиций: северо-восточных, обращенных к оз. Пуарентъявр, и северо-западных, на которые доносятся ветровые потоки от оз. Конентъявр. Увеличение NDVI на этих участках вызвано не только сгущением кустарничков в тундре, но и появлением поросли берез, что было отмечено при полевых исследованиях.



Участок № 2 – невысокие сопки южнее оз. Пуарентъявр (Рис.2-II). Здесь возвышающиеся до 250 м отдельные сопки, возможно, подвержены увлажняющему воздействию озера, в котловине которого основной воздушный поток направлен с севера на юг. Участки увеличения NDVI окружают эти сопки со всех сторон при наибольшем сгущении со стороны озера. Они концентрируются в высотном поясе 200–250 м, в кустарничковой тундре. В криволесье, которое в прошлом окружало сопку не сплошным поясом, а разрозненными фрагментами, произошло сгущение растительности между ними, древесная растительность распространилась на склоны тех экспозиций, которые она прежде не занимала.

Однако четкой приуроченности пятен сгущения к границам между криволесьем и кустарничковой тундрой (что могло бы свидетельствовать о подъеме верхней границы криволесья) не наблюдается.

Таким образом, в целом по исследованному району отмечается локальное сгущение древесной растительности криволесий и кустарничковой растительности тундр, и как результат – продвижение лесотундры вверх по склонам сопок и увалов, наступание ее на лишайниковую тундру. В тундре происходит частичная смена видового состава растительности – от преимущественно кустарничково-лишайниковой к лишайниково-кустарничковой или кустарничковой растительности.

Климатические изменения за 1986–2005 гг. – повышение температуры воздуха и увеличение количества осадков – способствовали улучшению состояния растительности экотона тундра–тайга в северо-западной части Кольского п-ова. Произошло увеличение сомкнутости березовых криволесий и сгущение кустарничковой растительности в тундрах. Наибольшее продвижение кустарничковой растительности вверх по склонам произошло на границе природных зон лесотундры и тундры, что свидетельствует об улучшении условий окружающей среды для северной растительности в исследуемом регионе.

REMOTE SENSING INVESTIGATIONS OF ECOTONE TAIGA–TUNDRA DYNAMICS ON KOLA PENINSULA

V.I.KRAVTSOVA, A.R.LOSHKAREVA

Faculty of Geography Moscow State University, Moscow, Russia

Complex structure and insufficiently impressiveness of taiga-tundra ecotone at space images caused search of optimal methods for investigation of its dynamics. Difference of multitemporal NDVI with some limitations was used for study of vegetation changes at climate warming conditions on Kola Peninsula. Thickening of dwarf-shrub vegetation in taiga-tundra zone was found and geographical peculiarities of its distribution was investigated.

ПРИМЕНЕНИЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ И МНОГОМЕРНОГО АНАЛИЗА В ЛЕСОТАКСАЦИИ И ИНФОРМАЦИОННОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА

А.Н. КРЕНКЕ², Ю.Г. ПУЗАЧЕНКО¹, М. Ю. ПУЗАЧЕНКО², Р.Б. САНДЛЕРСКИЙ¹

¹Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН

²Институт географии РАН

В сообщении рассматривается методика комплексного использования полевых и дистанционных наблюдений для целей лесотаксации и управления лесным хозяйством. Рассматривается технология размещения точек полевых наблюдений на основе дихотомической классификации состояний растительного покрова. Показывается возможность проведения лесотаксационных работ с существенно меньшими трудозатратами через использование дистанционной информации.

Исследования экосистем из космоса, а так же планирование хозяйственной деятельности по защите и освоению биологических ресурсов на основе данных космического зондирования, являются необходимыми инструментами, обеспечивающими устойчивое развитие современного общества. В настоящее время применения мультиспектральных, радарных и иных данных дистанционного зондирования носит массовый характер. Особенно развиты направления мониторинга состояний экосистем, мониторинга природных и антропогенных катастроф, однако, бурно развивается и отрасль информационного обеспечения управления хозяйством. В данном сообщении предлагается методика информационного обеспечения управления лесным фондом.

В случае управления лесом, основным источником информации являются данные лесотаксации. Лесотаксация - это комплекс технических приемов и действий по выявлению, учету и оценке качественных и количественных характеристик лесных ресурсов на данный момент и с течением времени.

Качество существующей методики лесотаксации определяется, прежде всего, двумя группами факторов: *методическими* и *производственными*. Основными *методическими* факторами, потенциально снижающими качество таксации лесов, являются использование представлений о существовании однородного таксационного лесного выдела с однородными лесорастительными условиями (и, соответственно, свойствами леса, идентифицируемыми границами и т.п.). Эти представления прямо связаны с организменной концепцией организации растительного покрова Ф.Э. Клементса и близкими к ним представлениями о биогеоценозе В.Н. Сукачева. Вместе с тем доказано, что реальная организация растительного покрова более отвечает индивидуалистической концепции Раменского-Глизна, подразумевающей континуальное изменение в пространстве его состояний. Также показано, что рельеф, определяющий во многом состояние растительного покрова, фрактален. Это означает, что рельеф и все компоненты ландшафта (которые неизбежно с ним связаны) одновременно непрерывны и вместе с тем дискретны. Это вызывает неопределенность сегментации выделов растительного покрова и множественность уровней однородности. Таким образом, невозможно провести четких границ, отделяющих один тип леса от другого, и каждый наблюдатель или таксатор будет оценивать его в рамках своего экспертного мнения, что вносит дополнительную неопределенность. Проблемные *производственные* факторы традиционной лесотаксации можно обобщить, как необходимость в большом количестве человеко-часов для выполнения детальной лесотаксации. Например, лесотаксация первого класса с соблюдением инструкции требует месячной работы около 60-70 групп таксаторов по 2-3 человека для описания сравнительно небольшого участка в 40 000 га. При этом в рамках существующих традиционных методик их труд не автоматизируем. Надо отметить, что при выполнении такого объема работ, неточности, проистекающие из методических факторов, нивелируются объемом натурных наблюдений, однако, такие трудозатраты не приемлемы в современной лесной промышленности.

До появления мультиспектральной спутниковой информации, трехмерных моделей рельефа, ГИС и разнообразных методов анализа изображений, организменная концепция, указанная выше, была единственно возможной основой лесной таксации, а крупные объемы трудозатрат - неизбежными при необходимости детальной таксации леса. Новые технологические возможности позволяют привести информационное обеспечение лесной промышленности в соответствие с теоретически более реалистичными моделями организации ландшафтного и растительного покровов. Этому направлению посвящено большое количество общих и частных исследований.

Теоретические основания предлагаемого подхода заключаются в следующем: состояния переменных, включаемых в лесотаксацию и измеряемых на пробных площадях, рассматриваются как функции солнечной радиации отраженной в различных спектральных каналах спутникового снимка, а так же соотношений этих каналов выраженных через различные индексы и общие энергетические показатели. Информация, содержащаяся в этих внешних переменных, прямо или косвенно отражает состояние лесной растительности и является естественной основой для интерполяции выборочных измерений на район исследования. Для решения этой задачи наиболее подходящими являются данные дистанционного зондирования с разрешением 15-40 м по пяти - десяти спектральным каналам в диапазоне 0,45-90 мкм, а так же цифровые модели рельефа, разделенные на иерархические уровни, и радарные снимки того же разрешения. Такое решение позволяет воспринимать характеристики небольших групп деревьев «в целом», без зашумления, вызванного освещением отдельных крон, и т.п.

Алгоритмически можно разбить задачу на три этапа:

1) Выбор количества и конкретных мест размещения точек наблюдения лесотаксационных характеристик (высота древостоя, запас, породный состав и т.п.), и последующие проведение полевых измерений.

2) Интерполяция полевых данных через их связь с данными дистанционного зондирования

3) Составление информационной основы лесного хозяйства

Важнейшей составляющей разработанной методики является решение первой задачи – поиска точек полевых измерений. В существующих методах использующих обучающую выборку предполагается либо регулярное размещение точек, либо их экспертное размещение. Первый подход, с одной стороны, не гарантирует полного охвата всего разнообразия важных состояний экосистем (в данном случае лесной растительности), а с другой, порождает избыточные точки которые увеличивают общие затраты на информационное обеспечение. Второй подход подразумевает некоторый волюнтаризм в размещении точек и приводит к появлению ошибок при моделировании. Более того, два разных исследователя разместят такие точки по-разному, что исключает повторяемость. В настоящей методике предложен алгоритм поиска точек на основе процедуры дихотомической классификации методом К-средних в пространстве ортогональных осей. Процедура работает в пространстве данных дистанционного зондирования, однако, учитывая разноразмерность данных, предварительно производится поиск ортогональных нормированных осей методом главных компонент. Сама процедура заключается в следующем: на первом этапе выделяются два наиболее различающихся объекта. Эти две точки формируют ядра двух начальных классов. Далее все точки относятся к одному из двух ядер, после чего рассчитываются центры тяжести двух полученных множеств. После этого все точки снова относятся к рассчитанным центрам тяжести множеств и снова рассчитываются новые центры тяжести и т.д. Итерации проводятся до момента, когда центры тяжести множеств (классов) относительно предыдущей итерации меняются на величину менее задаваемого предела. Та же операция проводится в рамках полученных классов на следующем уровне классификации и т.д. Данная процедура позволяет без привлечения посторонних соображений выделить всё разнообразие состояний растительности на заданном уровне детальности. Практика применения этой процедуры показывает, что полученные классы соответствуют типологическим категориям состояния леса на соответствующем иерархическом уровне. Полученные классы можно сравнить по спектральным характеристикам с заранее заданными устойчивыми спектральными образами типов ландшафтного покрова, выделить основные соответствия полученных классов заданным типам ландшафтного покрова, определить классы, имеющие особую ценность (в данном случае лесохозяйственную). Таким образом точки полевых наблюдений необходимо размещать только внутри выделенных классов и в ограниченном количестве – более конкретно, в количестве необходимом для описания внутренней дисперсии класса в заданной точности – обычно это 4-10 точек для крупного лесорастительного класса.

Для заданного порога точности число контрольных точек определяется по соотношению $Li = w \log_2 mi$ где mi – частота класса i во всей выборке, w – коэффициент точности в зависимости от распространенности типа ландшафтного покрова, а Li – количество контрольных точек внутри класса i .

Размещение контрольных точек проводится с учетом внутреннего разнообразия каждого из классов. Размещение происходит по следующему алгоритму: каждый класс характеризуется различными состояниями образующих его элементарных единиц (в случае ДДЗ, элементарная единица - пиксель) в пространстве переменных (предпочтительно ортогональных компонент). Соответственно чтобы полностью описать класс необходимо покрыть точками его типичные состояния, таким образом, точки размещаются с учетом функции плотности данного класса относительно внешних переменных. Функция плотности отражает частоту встречаемости того или иного значения внешней переменной внутри

конкретного класса. Таким образом, размечается план полевых наблюдений, охватывающий все разнообразие состояний леса. На практике, на 10 000 га, для достижения точности соответствующей первой категории лесотаксации, приходится 150-200 описаний, что значительно меньше, чем при использовании традиционных методов. Каждая точка полевых наблюдений имеет точную географическую привязку, таким образом можно связать измеренные в поле лесотаксационные переменные и значения мультиспектральных характеристик, радарных данных и характеристик рельефа.

Интерполяция полевых данных полученных на основе размеченных точек осуществляется при помощи дискриминантного анализа и повторной дихотомической классификации. Дискриминантный анализ позволяет измерить, в какой степени различаются дискретные состояния дискриминируемого свойства измеренного в поле в пространстве дискриминирующих (определяющих) внешних непрерывных свойств (например, мультиспектральной дистанционной информации и рельефа) и определить, какие именно непрерывные свойства, насколько и каким образом обеспечивают различимость состояний дискриминируемого свойства. В результате дискриминантного анализа мы получаем линейные параметры порядка (дискриминантные функции), описывающие свойства геосистемы (в данном случае лесной) и вероятностную интерполяцию полевых измерений в пространстве этих параметров порядка. Таким образом, каждому пикселю соответствует набор значений лесотаксационных характеристик и точность распознавания каждой из них.

Последним этапом работы является обобщение поля лесотаксационных характеристик в условно гомогенные зоны (выделы) в рамках заданной детальности описания. Для этих целей по полученной интерполяции лесотаксационных характеристик проводится еще одна дихотомическая классификация, которая на каждом уровне разделяет территорию на все более и более гомогенные классы в смысле их лесотаксационных характеристик. При достижении заданного уровня гомогенности классификация останавливается. Результатом является непрерывное пространственное отображение лесотаксационных характеристик обобщенных в условно гомогенные участки – т.е. материалы соответствующие лесотаксационному планшету.

Резюмируя, методика позволяет распознавать лесотаксационные характеристики (представленные через точки полевых измерений и картографические образы существующих планшетов), и дополняет их линейными функциями от внешних переменных (дистанционной информации), которые позволяют выделить процессы, определяющие пространственное распределение распознанных образов (полевых данных). Показано, что эта информация достаточна для того чтобы через процедуру дихотомической классификации перейти на более дробное разделение спектральных образов с выделением их физического смысла от исходных образов и процессов, т.е. расширить исходную легенду. Таким образом, могут быть выделены переходные зоны, или различные состояния одного образа (например, разные возрастные группы лесов одного породного состава). Спектральные образы распознанных дискретных состояний позволяют оценивать через дистанционную информацию характеристики лесных экосистем, с точностью удовлетворяющей лесотаксации вплоть до первого разряда.

Хотя приведенная выше методика была апробированная на тестовых площадях, и ее эффективность была доказана получаемыми результатами, для расширения сферы применения методики необходимо провести обширные работы по составлению каталогов спектральных образов различных состояний растительного покрова в различных регионах мира. В настоящий момент можно считать обработанными лишь южно-таежные леса центральной части России.

ЛИТЕРАТУРА

1. Желтухин А.С., Котлов И.П., Кренке А.С., Пузаченко Ю.Г., Сандлерский Р.Б. Информационное обеспечение устойчивого регионального развития на основе заповедников (опыт центрально-лесного государственного природного биосферного заповедника) // Известия Самарского научного центра РАН. 2011. Т. 13. № 1(6). С. 1508-1516.

2. Кренке А.Н., Пузаченко Ю.Г., Пузаченко М.Ю. Уточнение содержания тематических карт на основе данных дистанционного зондирования // Известия РАН. Серия географич. 2011. №4. С. 86-96.
3. Пузаченко М.Ю. Оценка состояния лесов на основе полевой и дистанционной информации на примере юго-запада Валдайской возвышенности // Лесные ресурсы таежной зоны России: проблемы лесопользования и лесовосстановления: Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2009. С. 79 – 82.

APPLICATION OF REMOTE SENSING DATA AND MULTIVARIATE ANALYSIS IN FOREST INVENTORY AND FOREST MANAGEMENT INFORMATIONAL SUPPORT

A.N. KRENKE², Y.G. PUZACHENKO¹, M.Y. PUZACHENKO², R.B. SANDLERSKY¹

¹Institute of ecology and evolution named after Severtsev A.N.

²Institute of Geography RAS

In this report the technique of integrated use of field and remote sensing data for forest inventory and forest management is discussed. The technology of placing the field observations on the basis of the dichotomous classification of vegetation is presented. The possibility of forest taxation with significantly less effort through remote sensing information is shown.

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ДЕШИФРИРОВАНИЯ КОСМИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ LANDSAT TM/ETM+ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОВРЕЖДЕНИЯ ЕЛОВЫХ ЛЕСОВ КОРОЕДОМ-ТИПОГРАФОМ И ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОСТИ НАСАЖДЕНИЙ

А.М. КРЫЛОВ¹, Е.Г. МАЛАХОВА²

¹Московский государственный университет леса

²ФБУ РОСЛЕСОЗАЩИТА, ФБУ ВНИИЛМ

В данной статье рассмотрены вопросы приуроченности очагов массового размножения короеда-типографа к характеристикам среды и насаждений, применительно к задачам лесопатологического прогнозирования.

В 2000-2012 гг. короедом-типографом в Московской области было повреждено более 100 тыс. га еловых насаждений. Наряду с ураганными ветрами, недостаточным увлажнением, повышенными температурами воздуха, особенности ведения лесного хозяйства являются основными факторами, способствующими массовому усыханию ели. Благодаря проведению лесовосстановительных мероприятий в виде посадки монокультур ели, заниженному возрасту рубки и отсутствию рубок главного пользования, доля спелых и перестойных еловых насаждений с 1960 по 2010 гг. возросла с 3 до 80 тыс. га (Жуков, 1966; Лесной план МО, 2010). В эти годы при лесном планировании вопросы устойчивости лесов к неблагоприятным факторам практически не учитывались. В связи с этим приобретают большую важность исследования устойчивости еловых насаждений к негативным факторам и, прежде всего, к короеду-типографу.

Наличие ежегодного безоблачного покрытия Landsat TM/ETM+ на территорию Московской области и использование автоматизированного дешифрирования снимков позволили ФБУ «Рослесозащита» производить ежегодное картирование границ поврежденных участков (Крылов и др., 2011). Информация о выявленных повреждениях была использована при планировании лесопатологических обследований и назначении лесозащитных мероприятий. Накопленная за 3 года наблюдений информация позволила проанализировать динамику повреждения насаждений короедом-типографом и выявить закономерности пространственно-временного характера. Результаты могут быть

использованы при лесопатологическом прогнозировании и оценке устойчивости насаждений. Следует отметить, что расширение использования данных ДДЗ и геоинформационных технологий при оценке риска поражения насаждений является общемировой практикой (Lausch et al., 2011; Kautz et al., 2011; Wermelinger, 2004).

Был проведен анализ зависимости степени повреждения насаждений от таксационных показателей и выявлены пространственные закономерности поражения насаждений. В качестве объекта исследования выбрано Клинское лесничество Московской области.

Одним из наиболее популярных инструментов анализа является факторный анализ, адаптированный Hirzel, для изучения экологических ниш (Ecological Niche Factor Analysis) (Hirzel, 2002). При данном анализе распространение вида (в нашем случае – короеда-типографа) под влиянием определенного фактора характеризуется маргинальностью и специализацией.

Маргинальность (M) определяется как разница средних со значением экологического фактора по всей территории (m_G) и по поврежденным участкам (m_s), деленная на произведение 1,96 и стандартного отклонения генеральной совокупности выборки (σ_G) (Формула 1)

$$M = \frac{|m_G - m_s|}{1,96\sigma_G} \quad (1);$$

Высокие показатели маргинальности свидетельствуют о значительном влиянии данного параметра среды на повреждаемость насаждений.

Специализация (S) определяется как отношение стандартного отклонения экологического фактора на всей территории к стандартному отклонению на повреждаемых участках. (Формула 2)

$$S = \frac{\sigma_G}{\sigma_s} \quad (2);$$

Анализ был проведен в среде R при помощи пакета adehabitatHS (R Core Team (2012)). Основой для проведения анализа послужили границы участков поврежденных короедом-типографом ельников в 2010, 2011, 2012 годах, полученные путем дешифрирования данных космической съемки Landsat TM/ETM+ по ранее описанной методике (Крылов и др., 2011). Также использованы таксационные характеристики площадей с преобладанием ели старше 40 лет на территории Клинского лесничества. Применялись такие характеристики как возраст, доля ели в составе насаждений, полнота, бонитет, запас, тип условий местопроизрастания. В анализ был включен квадратный корень расстояния от участков, поврежденных в прошлом году.

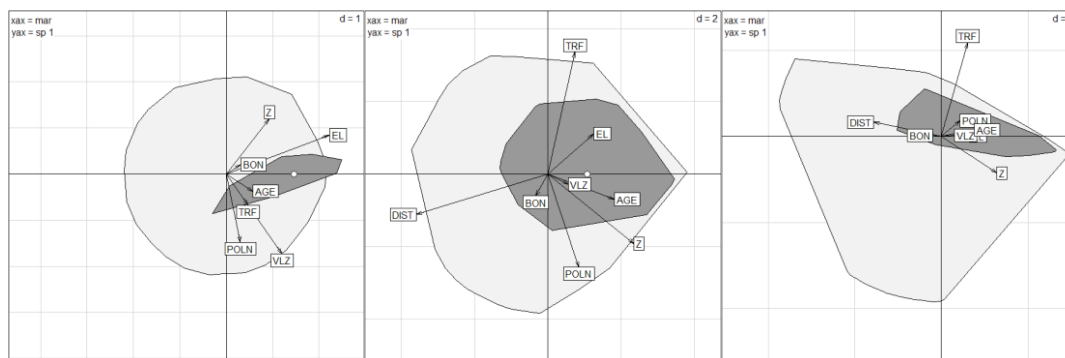


Рисунок 1. Диаграммы результатов факторного анализа экологических ниш по данным за 2010, 2011, 2012 гг. (слева направо)

Проведенные расчеты показали, что наиболее важными таксационными характеристиками, влияющими на повреждение насаждений короедом-типографом,

являются возраст, доля ели в составе и полнота насаждений (таблица). Вместе с тем отмечено, что зависимость от таксационных показателей падает от 2010 года к 2012 году.

Вышеперечисленные таксационные характеристики оказывают большее влияние на вероятность повреждения насаждений в фазе нарастания численности популяции типографа и в начале фазы кульминации, когда усыхание ели в насаждениях из диффузно-рассеянного становится куртинным. При максимальной численности популяции обычная кормовая база постепенно истощается, и короед начинает заселять участки менее пригодные для размножения – смешанные насаждения в возрасте от 40 лет с долей единиц ели в составе 4 и 5. Поэтому большое значение на вероятность заселения новых насаждений короедом-типографом оказывает их удаленность от насаждений, поврежденных типографом в прошлом году.

Таблица. Коэффициенты маргинальности поврежденных короедом-типографом участков ельников

Показатели	2010	2011	2012
Бонитет	0,16	-0,07	-0,07
Доля ели в составе насаждения	1,15	0,27	0,22
Полнота	0,16	0,18	0,15
Богатство почвы	0,24	0,16	0,21
Влажность почвы	0,62	0,12	0,11
Возраст	0,30	0,39	0,26
Запас	0,48	0,50	0,44
Кв. корень расстояния от погибших в прошлом году насаждений	-	-0,77	-0,54
Общая маргинальность	2,15	1,15	0,68

Результаты проведенного факторного анализа сходны с выводами, сделанными на основе анализа данных за 2010 и 2011 гг. (Малахова, Крылов, 2012). Это позволяет приблизиться к созданию алгоритма оценки устойчивости еловых насаждений к короеду-типографу и использовании его при лесном планировании и организации лесопатологического мониторинга.

ЛИТЕРАТУРА

1. Жуков А.Б. (ред.). Леса СССР. – Наука, 1966. – Т. 2. –С. 278
2. Крылов А. М., Соболев А. А., Владимирова Н. А. Выявление очагов короеда-типографа в Московской области с использованием снимков Landsat //Вестник Московского государственного университета леса Лесной вестник. 2011. №. 4.С. 54-60.
3. Лесной план Московской области, 2010. http://klh.mosreg.ru/wood_plan/2273.html
4. Малахова Е.Г., Крылов А.М. Усыхание ельников в Клинском лесничестве Московской области. Известия самарского научного центра Российской академии наук. Том 14 №1. Самара: Самарский научный центр РАН, 2012 г. С. 1975-1978
5. Lausch A., Fahse L., Heurich M. Factors affecting the spatio-temporal dispersion of *Ips typographus* (L.) in Bavarian Forest National Park: A long-term quantitative landscape-level analysis // Forest Ecology and Management. 2011 261, pp. 233-245.
6. Markus Kautz, Kai Dworschak, Axel Gruppe, Reinhard Schopf, Quantifying spatio-temporal dispersion of bark beetle infestations in epidemic and non-epidemic conditions, Forest Ecology and Management, Volume 262, Issue 4, 15 August 2011, P. 598-608
7. Wermelinger B. Ecology and management of the spruce bark beetle *Ips typographus*—a review of recent research //Forest Ecology and Management. 2004. V. 202. №. 1. P. 67-82.
8. Hirzel A. H. et al. Ecological-niche factor analysis: how to compute habitat-suitability maps without absence data? //Ecology. 2002. V. 83. №. 7.P. 2027-2036.
9. Basille, M., Calenge, C., Marboutin, E., Andersen, R. and Gaillard, J.M. (2008) Assessing habitat selection using multivariate statistics: Some refinements of the ecological-niche factor analysis. Ecological Modelling, P.211, 233–240.
10. R Core Team (2012). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org/>.

PROSPECTS OF INTERPRETATION OF SPACE SHOOTING LANDSAT TM / ETM + FOR PREDICTION OF DAMAGES SPRUCE FOREST BY BARK BEETLES

A.M. KRYLOV¹, E.G. MALANOVA²

¹ Moscow State Forest University

² RUSSIAN CENTER FOR FOREST PROTECTION

This article questions the confinement centers of mass reproduction of bark beetle to the characteristics of the environment and trees in forest pathology in relation to problems of prediction.

ОЦЕНКА ЗЕЛЕННЫХ НАСАЖДЕНИЙ ГОРОДСКОГО ОКРУГА «ГОРОД ХАБАРОВСК»

О.В. КУЗНЕЦОВ, О.Н. КИРИЛЛОВА

**Научный центр оперативного мониторинга Земли
ОАО «Российские космические системы»**

Проведение работ по оценке зеленых насаждений городского округа «Город Хабаровск» с использованием данных дистанционного зондирования Земли и ГИС-технологий. В ходе работ по проекту созданы следующие информационные продукты: цифровая модель рельефа местности; ортофотомозаики космических изображений; вегетационные индексы (NDVI); карта-схема использования территории, карта-схема функционального зонирования территории, детальные карты-схемы особо охраняемых природных территорий, а также получен тематический слой изменений зеленых насаждений за период 2002-2011 гг.

Экология крупных городов в последние годы является предметом особого внимания официальных властей всех уровней, общественных движений и средств массовой информации. Экологическая ситуация крупного регионального центра подобна зеркалу, в котором отражается уровень социально-экономического положения, как непосредственно города, так и региона.

Не является исключением и крупный административный, промышленный и культурный центр Дальнего Востока России – г. Хабаровск, занимающий территорию почти 400 км² с населением около 600 тыс. человек.

Обладая обширным промышленным производством и протяженной сетью автомобильных дорог, Хабаровск с экологической точки зрения, представляет собой очень сложную инфраструктуру. По общему уровню загрязнения окружающей среды Хабаровск, по данным Минприроды России, несколько лет назад был признан одним из самых неблагополучных городов России.

Для оценки и улучшения экологической ситуации в Хабаровске разработана долгосрочная целевая программа «Улучшение экологического состояния города Хабаровска на 2011-2015 годы». Одной из основных целей программы является сохранение и развитие существующего «зеленого» фонда города.

В 2012 г. Научный центр оперативного мониторинга Земли ОАО «Российские космические системы» (НЦ ОМЗ), совместно с Хабаровским краевым центром информационных технологий и телекоммуникаций (ХКЦ ИТТ) выполнил исследование по заказу Администрации г. Хабаровска на тему «Оценка (определение площадей, биоморфных форм (древесные, кустарниковые, травянистые) зеленых насаждений городского округа «Город Хабаровск».

Получение данных о состоянии «зеленого» фонда, традиционными наземными методами весьма затруднительно, с учетом значительной территории города, поэтому для достижения указанной цели, принято решение об использовании данных дистанционного зондирования Земли и ГИС-технологий.

В ходе работ по проекту выполнена предварительная и тематическая обработка данных ДЗЗ и получены следующие информационные продукты:

- цифровая модель рельефа местности;
- ортофотомозаики космических изображений;
- вегетационные индексы (NDVI);
- карта-схема использования территории;
- карта-схема функционального зонирования территории;
- детальные карты-схемы особо охраняемых природных территорий (ООПТ).

Для решения поставленных задач, использовались архивные мультиспектральные космические изображения высокого разрешения, полученные с космических аппаратов QuickBird компании GeoEye (США) и WorldView-2 компании DigitalGlobe (США), на периоды активной вегетации (июнь-август) 2002-2007 гг. и 2010-2011 гг.

В результате тематической обработки мультиспектральных космических изображений (построение NDVI, классификация) получены картографические материалы, отражающие состояние зеленого фонда города за периоды 2002-2007 гг. и 2010-2011 гг., а также получен тематический слой изменений зеленых насаждений за период 2002-2011 гг.

В результате дешифрирования космических изображений составлены схема функционального зонирования и карта-схема использования территории г. Хабаровска, актуализированные на период 2010-2011 гг. и адаптированные для выполнения работ по оценке зеленых насаждений.

Широкий диапазон возможностей современных ГИС-технологий для решения прикладных задач позволил определить различные показатели озелененности города:

- общая площадь зеленых насаждений города;
- площадь зеленых насаждений по административным районам;
- определение процентного соотношения «растительность/городская среда» в масштабе всего города, по административным районам и по территориям различного назначения (жилая многоэтажная застройка, территории промышленных предприятий, отдельные микрорайоны);
- обеспеченность зелеными насаждениями на душу населения в целом по городу и по административным и микрорайонам.

Таким образом, впервые в истории г. Хабаровска, проведено комплексное обследование территории города и «зеленого» фонда с использованием материалов дистанционного зондирования Земли.

Полученные данные о количественных и качественных характеристиках зеленых насаждений на территории г. Хабаровска позволяют сделать выводы об общей положительной динамике в зеленом фонде города и обеспеченности жителей зелеными насаждениями.

Оценка территорий отдельных районов города показала соответствие обеспеченности жилых районов зелеными насаждениями требованиям СНиП 2.07.01.89 «Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений».

Важным показателем является величина обеспеченности жителей города зелеными насаждениями на душу населения. В результате проведенного исследования установлено, что количество озелененных территорий общего пользования – парков, лесопарков, садов, скверов, бульваров и др., приходящихся на душу населения, не противоречит нормам, установленными для крупнейших, крупных и больших городов.

Проведенные работы позволили оценить динамику развития фонда зеленых насаждений и оценить существующее положение. Кроме того, предоставленные материалы могут использоваться для более эффективного планирования размещения мест посадок

новых зеленых насаждений с целью расширения «зеленого» фонда города, планирования и организации новых объектов рекреации, выявлении проблемных территорий и т. д. и, в общем случае, способствовать реализации долгосрочной целевой программы «Улучшение экологического состояния города Хабаровска на 2011-2015 годы».

ASSESSMENT OF URBAN GREENERY OF Khabarovsk City

O.V. KUZNETSOV, O.N. KIRILLOVA

Research Center for Earth Operative Monitoring JSC Russian Space Agency

Assessment of urban greenery of Khabarovsk City using remote sensing data and GIS technologies. In the course of the project the following data products were created: Digital Elevation Model (DEM); orthophoto mosaics based on satellite images; Normalized Difference Vegetation Index (NDVI); land use map, functional zonings scheme, detailed maps of protected urban wild areas and thematic layer of greenery changes in 2002-2011.

МОНИТОРИНГ ИЗМЕНЕНИЯ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ УЮКСКОГО ХРЕБТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СНИМКОВ

Х.Б. КУУЛАР

Тувинский институт комплексного освоения природных ресурсов СО РАН

Представлены результаты обработки фрагментов спутниковых данных хребта Уюкский. Для оценки использовались снимки Landsat MSS/TM/ETM+ 1976, 1988, 2002 гг. Для мониторинга использованы вегетационные индексы NDVI и SWIR/NIR. Изменения бореального леса (сдвиг нижней границы темнохвойного леса), вызванные естественными стрессовыми факторами (потепление климата) и антропогенными воздействия (пожарами) четко выделяются использованными индексами.

Температурные изменения находят отражение в растительности и все больше проявляются в бореальных лесах. Оценка состояния лесов региона является необходимой компонентой международного проекта CBVM (Circumboreal Vegetation Mapping) по созданию карты циркумбореальных лесов с нанесением на карту границы бореальной зоны лесов вокруг земного шара. Прогнозируемые и моделируемые изменения в структуре лесов высоких широт и положении северной границы лесов уже отмечены фактически (Кравцова, 2012). Горы Южной Сибири с контрастным горным рельефом с узкими высотно-поясными комплексами особенно чувствительны к изменениям климата (Назимова и др., 2010; Чебакова, Парфенова, 2006). Леса Республики Тыва относятся к самой южной части гор Южной Сибири, играют огромную климаторегулирующую и защитную роль, и как стабилизатор окружающей среды Центральной Азии. Горные леса стали объектом пристального изучения в последние годы (Kharuk et al., 2010).

В данной работе объектом исследования выбран Уюкский хребет, расположенный в центральной части региона. Уюкский хребет представляет собой с сильно расчлененное среднегорье на северных пологих склонах и резко расчлененное среднегорье на южных склонах. Стратифицированность горного рельефа и резкая континентальность климата создали условия для пестроты растительности на относительно небольших территориях.

Для выявления происходящих изменений, проводится нами полевая работа от подножия северного макросклона через гребень до подножия южного макросклона (800–1680 м н.у.м.), где сосредоточен широкий спектр разных типов лесорастительных условий. Вдоль трансектов заложены временные площадки (ВП) по 4–8 с размером 10x10 м в каждом высотном интервале на различных склонах и экспозициях. На каждой площадке учитываются высота, возраст, прирост и количество подроста, что несет важную

информацию о динамике кедр сибирского. Данные годичного линейного прироста подроста кедр показывает, что хороший линейный прирост подроста (9–14 см) отмечается также на нижней границе 980–1200 м н.у.м., на 1200–1400 м н.у.м. прирост колеблется от 3 до 9,8 см, 1400–1680 м н.у.м. прирост средний прирост 5,3 см. С возрастанием высоты местопроизрастания подроста кедр линейный прирост уменьшается (рис.1). Отрицательные моменты потепления климата зафиксированы в пределах 1300–1680 м.н.у.м. во влажных экспозициях (восточные, северные, северо-восточные), где бореальный лес не успевает адаптироваться к новым условиям увлажнения, что приводит к их залишаиванию и угнетению (рис.1).

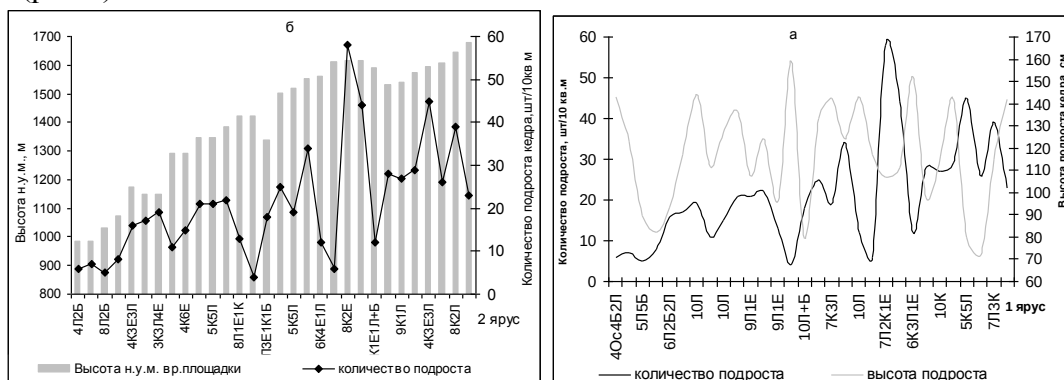


Рис.1. Количество и высота подроста кедр в зависимости от типа леса (а) и от высоты местопроизрастания (б) по полевым данным хр. Уюкский

Для выявления пространственно-временных изменений были отобраны снимки спутника Landsat (<http://earth.google.com/>) отвечающие следующим условиям: отсутствие облачного покрова, съёмка соответствует периоду активной вегетации растительности на данной территории (июль, сентябрь). Изображения аппаратур MSS/TM/ETM+ на даты съёмки: 11.07.1976, 19.09.1988, 16.07.2002. Обработка снимков выполнена в специализированном программном продукте ERDAS.

Схема выполнения оценки тренда на рассматриваемых многоспектральных изображениях включала использование нормализованного относительного индекса растительности (NDVI) и индекса, равного отношению коротковолнового и ближнего инфракрасному (SWIR/NIR). На рис. 2 приведены результаты обработки NDVI изображений на даты съёмки 11.07.1976 (рис. 2а); 16.07.2002 (рис. 2б) и их тренд (рис. 2в).



Рис.2. NDVI Уюкского хребта за (а) 11.07.1976, (б) 16.07.2002, (в) их тренд

Разностное изображение NDVI за 11.07.1976 г. и 16.07.2002 г. представлен на рис. 2в. На рисунке видна окаймляющая темная полоса, особенно у северного макросклона хребта, что соответствует области расширения ареала кедр сибирского. Кустарникам и подросту, где много подроста кедр, соответствуют значения индекса NDVI 0.2 – 0.3. Белые тона соответствуют участкам с измененными растениями, особо выделяются участки с гарями (белое пятно посредине хребта). Выделяется подтайга на нижней границе леса, где ширина составляет от 0.6 до 2.3 км.

Индекс SWIR/NIR — наиболее чувствительный параметр для определения изменений хвойного леса в летний период, чем NDVI (Vogelmann et al., 2009). Индекс SWIR/NIR позволяет выделить сильно поврежденные участки леса (участки с гарями (черные пятна) от слабо поврежденных и неповрежденных участков. Приведены результаты обработки индекса SWIR/NIR на даты съемки 19.09.1988 (рис. 3); 16.07.2002 (рис. 3б) и их тренд (рис. 3в). Тренд SWIR/NIR за 19.09.1988 г. и 16.07.2002 г. представлен на рисунке 3в.



Рис.3. Индекс SWIR/NIR Уюкского хребта за (а) 19.09.1988, (б) 16.07.2002, (в) их тренд

Оказался, что индекс SWIR/NIR эффективным для предоставления информации о тенденции изменения в бореальных лесах. На рисунке 4 приведены значения SWIR/NIR по выбранным пикселям через хребет, где значения SWIR/NIR лежат в интервале 0.6 – 1.2. За 12 лет значения индекса особо не изменились, кроме 3 и 7 точек, которые расположены на южном склоне и с несомкнутой кроной.

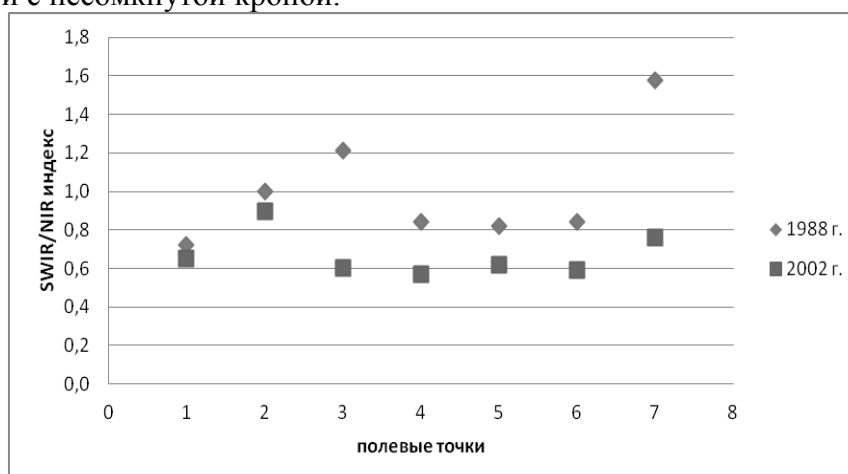


Рис.4. Индекс SWIR/NIR по выбранным пикселям через хребет

Значения индекса SWIR/NIR по выбранным пикселям соответствуют полевым данным, имеющие следующие параметры (табл.1).

Таблица 1. Краткая характеристика пикселей по полевым данным

Наименование	1 точка	2 точка	3 точка	4 точка	5 точка	6 точка	7 точка
состав 1 яруса	4Ос4Б2Л	7К2Е1Л	10Л	7К3Л	10К	5К4Л1Е	10Л
состав 2 яруса	4Л3Ос3Б	5Л3Е1К1Б		5К5Л	9К1Л	6К3Л1Е	5К4Л2Е
тип леса	гр-ртр	бр-ртр	гр-ртр	ртр-бр	гол-бр-зм	бр-гол	зм-бр
количество подроста кедра	7	7	18	19	27	26	23

По результатам анализа можно заключить, что вегетационные индексы эффективны для получения информации о тенденции сдвига темнохвойного леса, даже в период вегетации. Четко выделяются приведенными индексами изменения бореального леса (сдвиг нижней границы темнохвойного леса), вызванные естественными стрессовыми факторами

(потеплением климата) и антропогенными воздействиями (пожарами). Особенность индекса SWIR/NIR заключается в том, что является эффективным для характеристики сомкнутых хвойных древостоев, а разностной вегетационный индекс NDVI может быть использован для оценки экспансии темнохвойного леса с началом потепления климата в регионе.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Кравцова В.И.* Глобальная циркумполярная космическая карта экотона тайга-тундра составленная в США: оценка по российским данным // ИнтерКарто-ИнтерГИС-18: Устойчивое развитие территорий: теория ГИС и практический опыт. Материалы международной конференции. Смоленск 26-28 июня 2012. – Смоленск. С. 206 – 215.
2. *Куулар Х.Б.* Климатические изменения и леса Республики Тыва // ИнтерКарто/ИнтерГИС 17: Устойчивое развитие территорий: Теория ГИС и практический опыт. Материалы международной конференции. Барнаул 14–19 декабря 2011 г. Барнаул. С. 360 – 363.
3. *Назимова Д.И., Царегородцев В.Г., Андреева Н.М.* Лесорастительные зоны юга Сибири и современное изменение климата // География и природные ресурсы. 2010. № 2. С.55–63.
4. *Чебакова Н.М., Парфенова Е.И.* Прогноз продвижения границ леса при изменении климата к концу 20 века в Средней Сибири // Вычислительные технологии. 2006. Т. 11. Ч.3. Специальный выпуск. С. 77 – 86.
5. *Kharuk V., Ranson J., Im S., Vdovin A.* Spatial distribution and temporal dynamics of high-elevation forest stands in southern // Global Ecology and Biogeography. 2010. V.19. P. 822–830.
6. *Vogelmann J. E., Tolk B., Zhu Z.* Monitoring forest changes in the southwestern United States using multitemporal Landsat data // Remote Sensing of Environment. 2009. V.113. P.1739–1748.

MONITORING FOREST ECOSYSTEM CHANGE OF THE MASSIF UJUKSIJ USING LANDSAT

KH.B. KUULAR

FSBIS Tuvianian institute for exploration of natural resources SB RAS

In the article analysis of remote sensing data is given of the Massif Ujukij (Tyva Republic). For this study area 3 Landsat MSS/TM/ETM+ scenes were used. All data were acquired the middle of summer and early autumn 1976, 1988, 2002. In work NDVI and SWIR/NIR were calculated. The analysis of vegetation indexes helped of monitoring. And following changes were detected: the shift of dark forest boundary in result the impact of climate change and anthropomorphical fires.

ОПЫТ СПУТНИКОВОЙ СВЧ ШИРОТНО-ЗОНАЛЬНОЙ ДИФФЕРЕНЦИАЦИИ ЛАНДШАФТОВ ТАЕЖНОЙ, ЛЕСОТУНДРОВОЙ И ТУНДРОВОЙ ПРИРОДНЫХ ЗОН ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

В.В. МЕЛЕНТЬЕВ^{1,2}, И.В. МАТЕЛЕНКО¹

¹ Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

² Международный центр по окружающей среде и дистанционному зондированию им. Нансена

На материале архива спутниковой СВЧ съемки исследована изменчивость радиояркостных температур (РЯТ) территорий Западной Сибири вдоль трансекта 70° в.д. Предложено два метода дифференциации широтных зон и свойственных им ландшафтов по характерным СВЧ сигнатурам: с использованием картосхем пространственно-временной изменчивости РЯТ: а) посредством визуального анализа, б) с применением дерева решений по статистическим критериям в автоматическом режиме.

Территория Западной Сибири с присущим ей многообразием ландшафтов и существенным контрастом климатических условий, является важным объектом

климатологических, геокриологических, гидрологических, фитогеографических исследований. В условиях изменения характеристик глобального и регионального климата, а также активизации хозяйственной деятельности в районах нефте- и газодобычи происходит трансформация биогеоценозов данной географической области, что в долгосрочной перспективе может повлечь за собой и смещение границ физико-географических зон. В трудах Л. С. Берга описано изменение положения границ ландшафтных зон, зафиксированное по косвенным признакам (Берг, 1938). Имеющиеся в настоящее время средства мониторинга системы «Земля-атмосфера» позволяют оперативно выявить подобные изменения. Так, спутниковые СВЧ сенсоры обеспечивают всепогодные ежедневные наблюдения за состоянием подстилающей поверхности обширных территорий (Кондратьев и др., 1992; Чухланцев и др., 1979).

Целью настоящей работы является создание и апробация метода дифференциации ландшафтов таежной, тундровой и лесотундровой зон Западной Сибири с опорой на данные спутниковой СВЧ-радиометрии. В ходе работы решаются задачи по исследованию пространственно-временной изменчивости радиоярких температур (РЯТ) с анализом статистических характеристик временных рядов СВЧ-измерений, выявлению информативных признаков для классификации территорий по СВЧ данным и реализации алгоритма классификации.

В работе использованы данные измерений на частотах 6,9 и 36,5 ГГц сенсора AMSR-E (ИСЗ Aqua), функционировавшего с 2002 по 2011 гг., из архива NSIDC университета Колорадо. В ходе обработки исходных данных, представленных в виде мозаик посуточного распределения РЯТ в пределах полушария, были получены планшеты пространственно-временной изменчивости РЯТ, отражающие вариации данного показателя во времени и по широте вдоль трансекта 70° в.д. Методика формирования планшетов и визуальной интерпретации содержащейся в них информации подробно описана в нашей работе (Мелентьев, Мателенок, 2013). Отметим также, что СВЧ исследования изменчивости состояния поверхности суши вдоль трансекта 70° в.д. нами уже ранее были выполнены для временного промежутка 1979-1999 гг. с опорой на СВЧ измерения более низкого пространственного разрешения с сенсоров SSM/I и SMMR (Melentyev et al., 2005).

В ходе анализа планшетов пространственно-временной изменчивости РЯТ было произведено деление территорий вдоль трансекта на 8 основных широтных зон, характеризующихся различной структурой внутригодовых изменений РЯТ (рис.1). В качестве примера получаемых данных, в таблице 1 представлены значения РЯТ, усредненных за январь 2006 и 2007 гг., контрастных по суровости зимнего сезона, и их изменения вдоль трансекта 70° в.д. от 49,9 до 79,9° с.ш. К сожалению, процедура визуальной интерпретации и классификации данных спутниковых СВЧ измерений требует значительных затрат времени и высокой квалификации оператора, поэтому было принято решение об автоматизации этого процесса и создании соответствующего алгоритма на основе «дерева решений».

Для построения «дерева решений» дифференциации ландшафтов природных зон (рис. 2) нами был использован набор информативных признаков, включающий в себя следующие показатели:

- 1) усредненные за временной интервал 2003-2011 гг. значения РЯТ измерительных каналов СВЧ-радиометра 6,9 и 36,5 ГГц, V и H поляризация (“Mean_{temporal} (T_b)”);
- 2) рассчитанные для рядов РЯТ 2003-2011 гг. (6,9 ГГц, 36,5 ГГц, V и H каналы) значения стандартного отклонения (“Std_{temporal} (T_b)”);
- 3) усредненные за временной интервал 2003-2011 гг. значения коэффициентов поляризации для частот 6,9 ГГц (“Mean_{temporal} (P₆)”) и 36,5 ГГц (“Mean_{temporal} (P₃₆)”);
- 4) значения стандартного отклонения для рядов коэффициентов поляризации при частоте зондирования 6,9 ГГц (“Mean_{temporal} (P₆)”) и 36,5 ГГц (“Mean_{temporal} (P₃₆)”);

- 5) средние значения спектрального коэффициента для V и H каналов (разность между РЯТ на частотах 36,5 и 6,9 ГГц);
- 6) значения разности между усредненными за временной интервал 2003-2011 гг. РЯТ и усредненными по времени и пространству (вдоль трансекта в пределах одной широтной зоны или нескольких зон) значениями РЯТ.

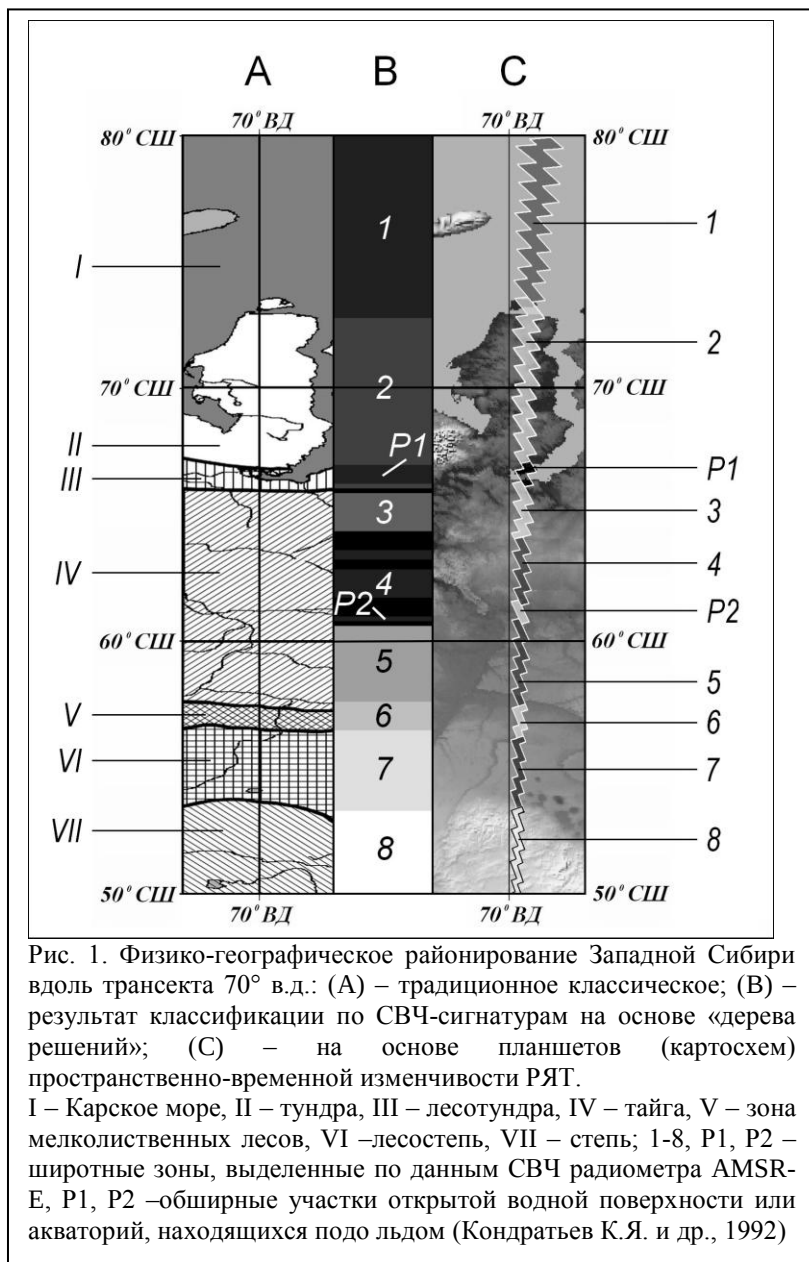


Таблица 1. Среднемесячные январские значения РЯТ (6,9 ГГц, V) в 2006 и 2007 гг., К

Широта, °с.ш.	Год	
	2006	2007
79,9	239,4	248,8
79,0	222,6	239,2
78,1	197,7	216,9
77,2	199,4	226,9
76,3	237,2	248,9
75,4	247,9	251,9
74,5	251,4	251,2
73,6	247,8	240,9
72,7	254,1	254,4
71,7	255,4	255,1
70,8	252,7	253,9
69,9	243,3	246,8
69,0	249,3	254,1
68,1	245,6	249,5
67,2	249,3	252,1
66,3	242,3	245,2
65,4	255,6	259,2
64,5	254,0	256,1
63,5	248,8	250,9
62,6	244,0	246,3
61,7	247,7	251,7
60,8	250,3	255,8
59,9	247,6	257,0
59,0	249,6	257,8
58,1	251,5	258,8
57,2	251,0	257,4
56,3	254,9	260,7
55,3	255,5	261,2
54,4	256,6	262,1
53,5	255,8	259,1
52,6	257,9	262,7
51,7	257,0	262,8
50,8	254,9	259,6
49,9	254,5	260,3

На основе разработанного нами для Западной Сибири алгоритма классификации различных типов подстилающей поверхности (рис. 2) была создана программа в среде Matlab, работа которой организована следующим образом. На первом этапе происходит считывание значений РЯТ, соответствующих участкам земной поверхности вдоль трансекта 70° в.д., получаемых из мозаик посуточного распределения РЯТ, и сведение полученных ежедневных значений для временного интервала 2003-2011 гг. в единый массив данных. Затем вычисляются значения показателей из указанного выше списка информативных признаков, после чего согласно «дереву решений» участки с определенными значениями признаков относятся к тому или иному физико-географическому фенологическому классу. В

итоге на выходе программы оказываются результаты классификации, которые представляются в табличном и графическом виде (рис. 1).

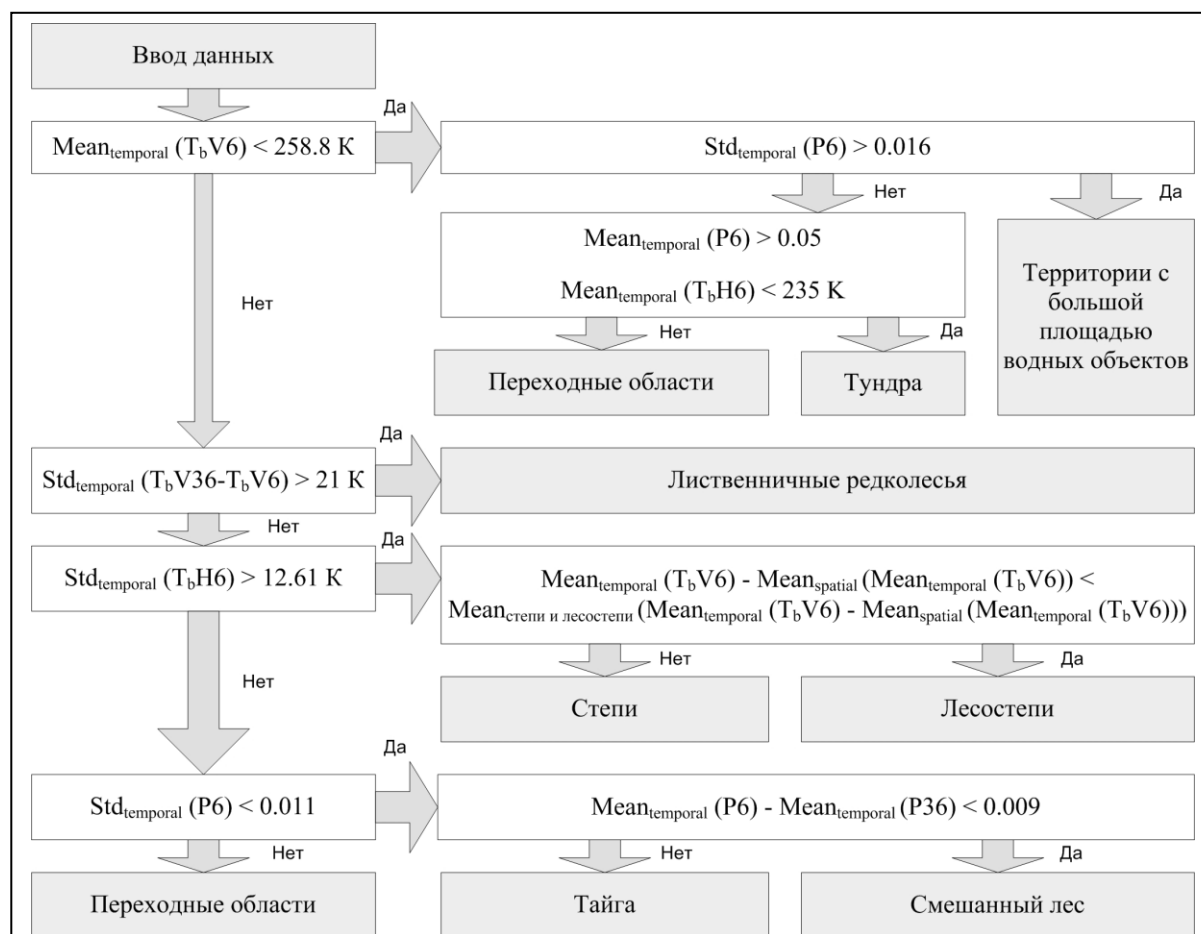


Рис. 2. Схема «дерева решений» для широтно-зональной дифференциации ландшафтов таежной, тундровой и лесотундровой зон Западной Сибири на основе СВЧ сигнатур (по данным AMSR-E, ИСЗ Aqua за 2003-2011 гг.)

Как видно из приводимых данных, СВЧ классификация природных зон по меридиану 70° в.д. и положение их границ, полученное с помощью «дерева решений», соответствует данным визуального дешифрирования. Сопоставление результатов СВЧ-дифференциации с данными традиционного классического физико-географического районирования подтверждает перспективность нашей разработки, то есть применимость данных спутникового зондирования для СВЧ распознавания широтного распределения различных типов подстилающей поверхности. Присутствие на карте автоматической классификации ряда неклассифицированных «переходных» участков связано с тем, что в предлагаемом алгоритме пока еще не учитывается пространственная структура отдельных подобластей, из которых собственно и складываются природные зоны. Будущий учет особенностей изменчивости РЯТ в отдельные сезоны, как мы надеемся, позволит нам осуществлять более подробную классификацию территорий в пределах каждой из выделенных СВЧ-съемкой зон. Важным результатом работы является и выявленная нами возможность распознавания границ природных зон с помощью достаточно простых информативных признаков.

ЛИТЕРАТУРА

1. Берг Л.С. Физико-географические (ландшафтные) зоны СССР. Ч. I. Л.: Изд-во ЛГУ. 1938.
2. Кондратьев К.Я., Мелентьев В.В., Назаркин В.А. Дистанционная индикация акваторий и водосборов. СПб.: Гидрометеиздат. 1992. 248 с.

3. Мелентьев В.В., Мателенок И.В. Методология спутниковой СВЧ-диагностики широтно-зональной и сезонной изменчивости мерзлых почвогрунтов и морского льда // Лед и снег. 2013. №1. С. 73-82.
4. Чухланцев А.А., Курдяшев К.П., Шутко А.М. СВЧ-излучение земной поверхности при наличии растительного покрова // Радиотехника и электроника. 1979. Т. 24. №2. С. 256-264.
5. Melentyev V.V., Johannessen O.M., Bobylev L.P. Siberian permafrost and seasonally frozen grounds: parameters retrieval using microwave satellite data // Исследование Земли из космоса. 2005. № 5. С. 1–7.

THE EXPERIENCE OF CLASSIFYING WESTERN-SIBERIAN LANDSCAPES WITHIN TAIGA, TUNDRA AND FOREST TUNDRA ZONES WITH USING SATELLITE PASSIVE MICROWAVE SIGNATURES

V.V. MELENTYEV ^{1,2}, I.V. MATELENOK ¹

¹State University of Aerospace Instrumentation (SUAI)

²Nansen Int. Environmental and Remote Sensing Centre (NIERSC)

The analysis of long-term brightness temperature (T_b) variability for territories along the transect 70° E in Western Siberia on the basis of satellite passive microwave survey was provided. Two different methodologies that can be used for classifying landscapes according their passive microwave signatures are suggested. The first one is based on visual detection of landscape zones boundaries on satellite plane-tables and the analysis of spatial-temporal variability T_b . The second one is the automatic distinguishing with using statistical parameters of the T_b and applying the “decision tree” algorithm.

ОПЫТ ПРОВЕДЕНИЯ ВЫСОКОПЕРИОДИЧНОГО МОНИТОРИНГА УЧАСТКОВ АКТИВНОГО ЛЕСОПОЛЬЗОВАНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ОПТИЧЕСКИХ И РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

С.И. МИХАЙЛОВ

Инженерно-технологический центр «СКАНЭКС»

В докладе представлены результаты работ по организации и проведению мониторинга зон активного лесопользования, осуществляемого с высокой периодичностью, на основе использования различных типов данных дистанционного зондирования Земли. В частности, рассматривается вопрос возможности проведения круглогодичного мониторинга и использования радиолокационных данных. Также описывается опыт представления результатов мониторинга в информационной системе, созданной на основе Геопортала.

Мониторинг состояния лесного покрова и контроль лесохозяйственной деятельности уже давно и успешно осуществляется при помощи материалов космической съемки. Примером такого проекта является система лесного мониторинга, в течение многих лет осуществляемого Рослесинфоргом и его региональными филиалами. Помимо этого проекты в области лесного мониторинга осуществлялись Федеральными университетами, региональными администрациями, имеющими Центры Информационных Технологий, ориентированные на использование космических данных.

Однако изменение условий, в частности – развитие лесной отрасли, повышенные требования к соблюдению законности при ведении лесного хозяйства, требует существенного улучшения мониторинговых проектов, особенно в области повышения периодичности съемки, оперативности реагирования на выявленные нарушения, актуальности используемых в рамках мониторинга данных.

В 2011-2012 годах ИТЦ СКАНЭКС проводил проект по тестированию возможностей высокопериодичного мониторинга зон активного лесопользования с использованием различных типов данных, в том числе – радиолокационных. Проект базировался на использовании технологических возможностей центра СКАНЭКС по оперативному приему и обработке данных дистанционного зондирования Земли.

В качестве тестовых регионов были выбраны пять достаточно крупных территорий, расположенных в Архангельской и Вологодской областях и Красноярском крае.

Задачей проекта было оперативное выявление новых участков рубок, в том числе – выборочных, по материалам космической съемки разных типов с отображением результатов мониторинга в информационной системе, созданной на основе Геопортала.

В ходе проекта за четыре месяца по пяти районам обследования было получено 279 сцен космических снимков разных типов, в том числе – радиолокационных, со спутников RADARSAT-1, RADAESAT-2, ENVISAT. Реальная периодичность съемки по каждому участку составила от 1 до 10 суток.

Проект позволил методически обосновать ряд новых возможностей по организации лесного мониторинга, в том числе:

- Возможность проведения мониторинга в зимнее время оптическими съемочными системами;
- Возможность широкого использования для мониторинга радиолокационных данных;
- Возможность оперативной обработки большого количества разнотипных данных с выкладкой результатов анализа в информационную систему в течении первых часов после получения съемки;
- На основе указанного выше – возможность существенного увеличения периодичности мониторинга, что позволяет более оперативно реагировать на выявляемые нарушения и более достоверно вести статистику рубок.

Итогом проекта стали рекомендации по организации мониторинга и оперативной обработке данных дистанционного зондирования разных типов.

EXPERIENCE OF USING OPTICAL AND RADAR REMOTE SENSING FOR FREQUENT MONITORING REGIONS OF ACTIVE FOREST MANAGEMENT

S. MIKHAILOV

Research and Development Center "ScanEx"

This report presents the results of work on the organization and high-frequent monitoring areas of active forest management with the use of different remote sensing data types. In particular, we consider possibilities of year-round monitoring and the use of radar data for detecting clear-cuttings and selective cuttings. Experience of representing the results of monitoring in geoinformation system based on Geoportal (GeoMixer) is also described in the report.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННЫХ MODIS ДЛЯ МОНИТОРИНГА УСЫХАНИЙ ТЕМНОХВОЙНЫХ ЛЕСОВ МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Т.С. МОСКАЛЕНКО, С.А. БАРТАЛЕВ

Институт космических исследований РАН

В работе представлен метод оценки степени усыхания лесов на примере темнохвойных насаждений Московской области. В основу метода выявления поврежденных участков положено использование многолетних временных рядов значений коротковолнового вегетационного индекса SWVI, построенного на основе данных спектрорадиометра MODIS.

Экстремальная засуха лета 2010 года на европейской части России вызвала ослабление темнохвойных лесов с их последующим повреждением стволовыми вредителями и массовым усыханием. В частности, в 2011 и 2012 годах чрезвычайное усыхание темнохвойных деревьев было зафиксировано на территории Московской области.

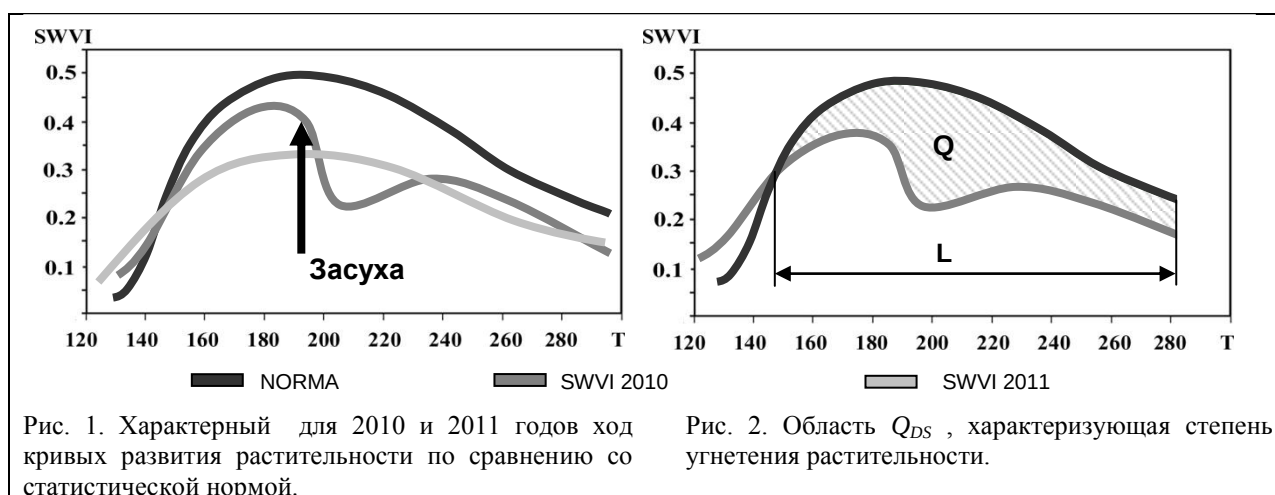
Для оценки поведения лесной растительности во время и после засухи был разработан метод, основанный на анализе временных рядов значений коротковолнового вегетационного индекса SWVI, выбор которого обусловлен чувствительностью к содержанию влаги зондируемой поверхности.

При анализе сезонной динамики SWVI важно учитывать наличие межгодовых вариаций, вызванных различиями погодных условий. Учет такого рода вариаций достигается построением статистической нормы SWVI на основе данных наблюдений в течение пяти, предшествующих засухе лет.

Статистическая норма SWVI формируется на предварительно обработанных данных с целью фильтрации случайных выбросов, заполнения пропусков и сглаживания временных рядов индекса. Полученная статистическая норма содержит информацию о среднемноголетнем значении и величине стандартного отклонения SWVI.

Величина стандартного отклонения не постоянна в течение года, как правило, увеличиваясь в начале и в конце вегетационного сезона и достигая минимальных значений летом. Использование указанных особенностей позволяет исключать из рассмотрения периоды превышенной вариабельности спектрально-отражательных характеристик растительного покрова.

Для выявления усыханий лесов разработан индекс, позволяющий оценить глубину «провала» текущих значений SWVI в сравнении со статистической нормой на временных интервалах относительно стабильного ее поведения в течение вегетационного сезона. Область Q_{DS} , ограниченная сверху статистической нормой, а снизу значениями SWVI в рассматриваемом году, характеризует степень угнетения растительности (см. рисунки 1 и 2).



Численно индекс усыхания лесов может быть выражен как усредненная по области Q_{DS} разность значений SWVI нормы и текущего засушливого. При этом в каждой точке временного ряда разность индекса SWVI нормируется на величину стандартного отклонения с последующим расчетом нормализованного вегетационного индекса усыхания лесов NDSVI (Normalized Dryness Severity Vegetation Index):

$$NDSVI(x, y, year) = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{NSWVI(x, y, i) - SWVI(x, y, i)}{St.Dv.(x, y, i)}}{N}$$

где x, y – координаты, i – номер дня года, $NSWVI$ и $St.Dv.$ – среднемноголетнее значение и величина стандартного отклонения SWVI по данным наблюдений предыдущих лет, N – число наблюдений в области Q_{DS} .

Разработанный метод позволил выявить и оценить площади усыхания темнохвойных лесов на территории Московской области в 2011 и 2012 годах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Барталев С.А., Егоров В.А., Ефремов В.Ю., Лупян Е.А., Стыценко Ф.В., Флитман Е.В. Оценка площади пожаров на основе комплексирования спутниковых данных различного пространственного разрешения MODIS и Landsat-TM/ETM+ // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2012. Т. 9. № 2. С.9-27.
2. Москаленко Т.С., Плотников Д.Е. Алгоритм заполнения пропущенных данных, фильтрации выбросов и сглаживания временных рядов значений вегетационных индексов // VIII конференция молодых учёных «Фундаментальные и прикладные космические исследования». 14-15 апреля. М.: ИКИ РАН. 2011. С.56-57.

ASSESSMENT OF DARK-CONIFEROUS FORESTS MORTALITY IN MOSKOW REGION USING MODIS DATA

T.S. MOSKALENKO, S.A. BARTALEV

Space Research Institute RAS

This paper presents the method to assess the dark-coniferous forests mortality in the Moscow Region using multi-annual time-series of Short Wave Vegetation Index derived from MODIS satellite data.

ВЫЯВЛЕНИЕ И ОЦЕНКА МАСШТАБОВ УСЫХАНИЯ ЕЛОВЫХ ЛЕСОВ ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ НА ПРИМЕРЕ НЕСКОЛЬКИХ РАЙОНОВ МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Д.А. МЯГКОВА ¹, Д.В. ЕРШОВ ²

¹ Московский государственный университет геодезии и картографии (МИИГАиК)

² Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН

Выполнен анализ динамики коротковолнового вегетационного индекса еловых насаждений Балашихинского, Люберецкого, Пушкинского и Щелковского районов за период с 2010 по 2012 год с целью выявления и оценки площади погибших древостоев ели в результате целого комплекса неблагоприятных факторов биотического и абиотического характера (лесные пожары, массовые размножения насекомых-вредителей, ураганные ветра, длительная засуха, снеголомы, налеть и ряд других).

На состояние ели оказывают воздействие разные неблагоприятные факторы биотического и абиотического характера. В первую очередь к ним относятся лесные пожары, массовые размножения насекомых-вредителей, ураганные ветра, длительная засуха, снеголомы, налеть и ряд других (Исаев, Коровин и др., 1995). Эти явления в совокупности с низким уровнем ведения лесного хозяйства часто приводят к снижению и утрате биологической устойчивости насаждений, частичной или полной их гибели. Так, например, в лесах Московской области длительная засуха и лесные пожары 2010 года привели к сильному ослаблению устойчивости еловых насаждений и активному заселению их стволовым вредителем короедом-типографом. Поздняя оценка реальных масштабов этого явления привела к гибели лесов Московской области в 2011 году на площади более 20 тыс. га (Обзор..., 2010).

Сегодня одним из наиболее эффективных, а главное, оперативных и объективных источников информации о состоянии лесов становятся спутниковые системы наблюдения. В настоящее время активно создаются и апробируются различные методы и технологии позволяющие проводить оценки состояния лесов и выявлять происходящие в них повреждения (Барталев и др., 2011; Егоров и др., 2006; Барталев и др., 2005; Лупян и др., 2011).

В рамках рассматриваемой работы выполнен анализ динамики коротковолнового вегетационного индекса еловых насаждений Балашихинского, Люберецкого, Пушкинского и Щелковского районов за период с 2010 по 2012 год с целью выявления и оценки площади погибших древостоев ели. В качестве исходных данных использовались серии спутниковых изображений высокого пространственного разрешения LANDSAT TM/ETM+. Для всех снимков выполнена геометрическая и радиометрическая коррекция в среде ERDAS и специальная обработка в виде атмосферной коррекции, фильтрации облачности и теней от облаков с помощью специального расширения для ERDAS, разработанного ЦЭПЛ РАН (Белова, Ершов, 2011).

Коротковолновый индекс SWVI (Gao, 1996) рассчитывается по формуле:

$$SWVI = (NIR - SWIR) / (NIR + SWIR),$$

где NIR – ближний инфракрасный диапазон Landsat TM (канал 4), SWIR – средний инфракрасный диапазон Landsat TM (канал 5). Индекс SWVI реагирует на изменение влагосодержания в растительном покрове.

В качестве базовой для определения покрытой лесом площади использовалась карта растительности Московской области, полученной по результатам автоматизированной обработки разносезонных изображений LANDSAT (Гаврилюк, Ершов, 2012).

Анализ, выполненный с помощью методов управляемой и неуправляемой классификации, показал значительное увеличение площади усохшего леса за последние три года. Сравнение снимков за более ранние годы со снимками 2010-2012 гг. позволяет количественно оценить площади поврежденных и погибших еловых лесов. В качестве результата данной работы также составлена карта, отражающая участки усыхающих еловых насаждений за последние три года (рис.1).

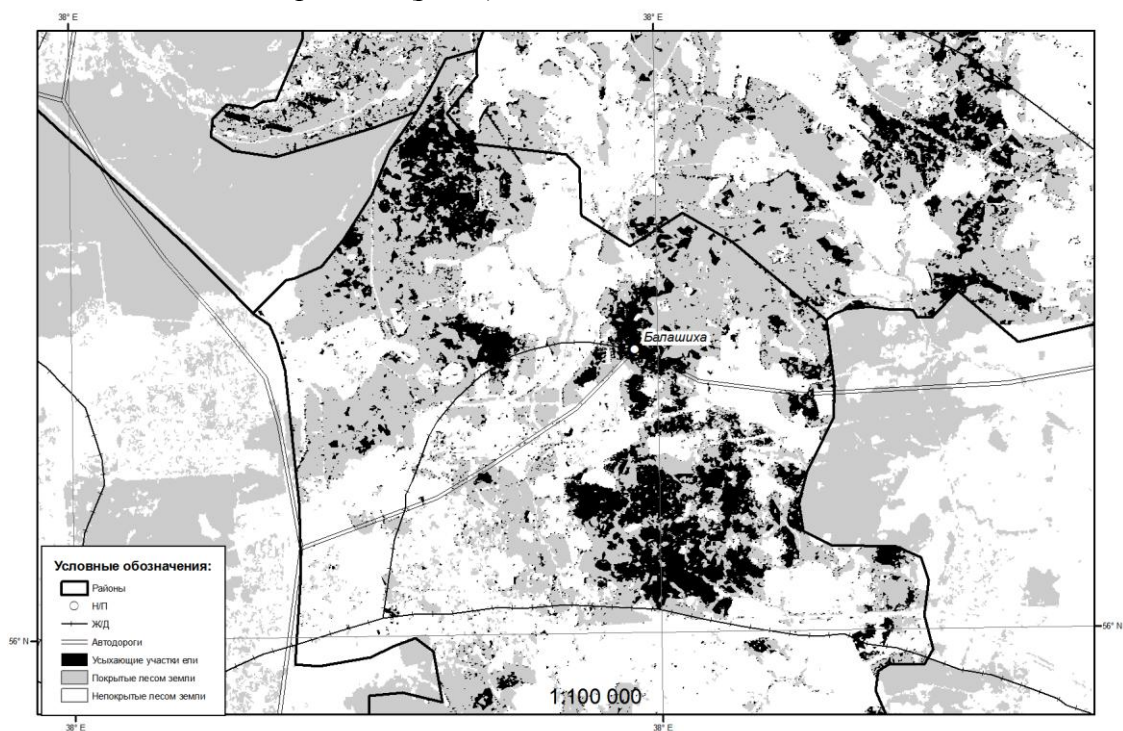


Рис.1. Участки усыхающих еловых лесов по состоянию на 2012 год (Балашихинский район)

ЛИТЕРАТУРА

1. Барталев С.А., Егоров В.А., Ершов Д.В., Исаев А.С., Лупян Е.А., Плотников Д.Е., Уваров И.А. Спутниковое картографирование растительного покрова России по данным спектрорадиометра MODIS // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т.8. Том 8. № 4. С. 285-302.
2. Барталев С.А., Егоров В.А., Лупян Е.А., Уваров И.А. Оценка площадей повреждений наземных экосистем северной Евразии пожарами в 2000-2003 годах по спутниковым данным инструмента SPOT-Vegetation // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2005. Т. 2. С. 354-366.

3. Белова Е.И., Еришов Д.В. Предварительная обработка временных серий изображений Landsat-TM/ETM+ при создании безоблачных композитных изображений местности // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Том 8. № 1. С. 73–82.
4. Гаврилюк Е.А., Еришов Д.В. Методика совместной обработки разносезонных изображений Landsat-TM и создания на их основе карты наземных экосистем Московской области // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Т9, №4, 2012, с. 15-23.
5. Егоров В.А., Барталев С.А., Лупян Е.А., Уваров И.А. Мониторинг повреждений растительного покрова пожарами по данным спутниковых наблюдений // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. 2006. № 2. С. 98-109.
6. Исаев А.С., Коровин Г.Н. и др. Экологические проблемы поглощения углекислого газа посредством лесовосстановления и лесоразведения в России / Аналитический обзор // М.: Центр экологической политики России. 1995, 155 с.
7. Лупян Е.А., Мазуров А.А., Назиров Р.Р., Прошин А.А., Флитман Е.В., Крашенинникова Ю.С. Технологии построения информационных систем дистанционного мониторинга // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т. 8. № 1. С. 26-43.
8. Обзор лесопатологического и санитарного состояния лесов в 2009 году в Московской области и прогноз лесопатологической ситуации на 2010 год. Пушкино: ФГУ "Рослесозащита" 2010.
9. Gao B. NDWI – A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space // Remote Sensing of Environment, 58, 1996, pp. 257–266.

DETECTION AND ESTIMATION OF SPRUCE FORESTS MORTALITY SCALES BASED ON THE SATELLITE DATA FOR THE SEVERAL MOSCOW REGION DISTRICTS

D.A. MYAGKOVA¹, D.V. ERSHOV²

¹ Moscow State University of geodesy and cartography (MIIGAik)

² Center for forest ecology and productivity RAS

An analysis of short-wave vegetation index of the spruce forests in Balashikhinsky, Luberetsky, Pushkinsky and Schelkovsky districts for the period from 2010 until 2012 has been carried out to detect and evaluate an area of dead spruce forest stand, which was caused by a broad range of adverse nature and anthropogenic factors (forest fires, mass reproduction of injurious insects, windstorms, long droughts, snowbreaks, icing and etc.).

МНОГОМЕРНЫЙ АНАЛИЗ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА ЮГО-ЗАПАДА ТВЕРСКОЙ ОБЛАСТИ НА ОСНОВЕ ДДЗ, ЦМР И ПОЛЕВОЙ ИНФОРМАЦИИ

М.Ю. ПУЗАЧЕНКО

Институт географии РАН

В работе продемонстрирован многомерный анализ характеристик растительности измеренных в поле с мультиспектральными данными дистанционного зондирования (МДДЗ) и цифровой моделью рельефа (ЦМР). На основе дискриминантных осей характеристик растительности, полученных в результате пошагового дискриминантного анализа, проводится их обобщение методом главных компонент с выделением интегральных (параметров порядка).

Стремление понять правила, определяющие отношения между явлениями природы в пространстве и времени – традиционная тема географии. Методы решения этой проблемы прошли значительное развитие от качественных к количественным, основанным на теории систем, с использованием методов ординации, информационного анализа и статистики.

С возникновением новых источников информации о свойствах геосистем, таких как мультиспектральные спутниковые снимки и трехмерные модели рельефа, и мощных персональных компьютеров, появилась возможность их совместного анализа с традиционными источниками географической информации – характеристиками, полученными при полевых описаниях, с использованием методов многомерного

статистического анализа, для определения пространственных взаимосвязей между ними. Актуальной является реализация такого подхода на основе пространственно сопряженного анализа большого числа характеристик геосистемы и ее компонентов, с последовательным уменьшением их числа, путем линейных статистических преобразований и выделением наиболее общих из них. Выделение общих свойств системы тесно связано с общими представлениями синергетики о том, что сложная динамическая система может быть отображена через ограниченное число независимых параметров порядка, выделяемых на основе обобщения характеристик системы, например, методом главных компонент..

Таким образом, цель - установить правила интеграции отдельных характеристик компонентов в единую ландшафтную систему.

Рабочая гипотеза: изменение состояния любого свойства любого компонента есть результат действия на него пространственной изменчивости внешних параметров порядка и отношений между другими свойствами того же или других компонентов и автохтонных процессов саморазвития компонента.

Территория исследований площадью более 20 000 км² расположена на юго-западе Валдайской возвышенности и является водораздельной для рек бассейнов Волги и Западной Двины. Источниками информации для проведения исследований являются полевые измерения характеристик компонентов (1459 полевых ландшафтных описаний с GPS привязкой) и внешние независимые источники пространственной информации - МДДЗ Landsat 4-7, и ЦМР на основе топографических карт масштаба 1: 100 000. Разрешение пикселя анализируемого в работе составляет 114 м, что соответствует масштабу исследований и кратно исходному разрешению МДДЗ.

В работе используется методологический подход близкий к ландшафтной идеологии опирающийся на возможность отображения пространственной изменчивости отдельных свойств, например обилия вида древостоя, через множество независимо измеренных внешних переменных: характеристик рельефа и свойств, отображаемых через дистанционную информацию. При этом дистанционная информация фактически показывает характер преобразования солнечной энергии ландшафтной системой и тем самым, имеет прямое функциональное значение.

В основе количественной реализации такого подхода, лежит пошаговый дискриминантный анализ. Взаимосвязи между характеристиками рассматриваются через их частные оси дискриминантные оси. Полученное множество дискриминантных осей является основой для исследования внутри и межкомпонентных отношений ландшафта. У каждого свойства пространственная изменчивость в той или иной степени специфичная. Эта специфичность определяется различиями в механизмах их формирования и функционирования. Опыт, накопленный геоботаникой, почвоведением, ландшафтоведением показывает, что между свойствами и компонентами существует определенная пространственная взаимозависимость, но далеко не всегда очень высокая. Каждый компонент имеет некоторую собственную автохтонную составляющую пространственной изменчивости, в то время как более или менее существенные аспекты его варьирования определены внешними переменными.

Обобщение частных дискриминантных осей характеристик проводится методом главных компонент. Главные компоненты, имеющие значительные связи с несколькими из характеристик, остаются для дальнейшего анализа и, в терминологии синергетики, определяются как параметры порядка. Физическая идентификация параметров порядка может быть получена, как на основе данных участвующих в анализе, так и с привлечением независимых источников информации.

Выделение параметров порядка проводится для каждого структурно-функционального блока компонента геосистемы, под которым понимается совокупность характеристик, описывающих один из аспектов компонента и измеренных сходным образом. Параметры порядка, полученные для каждого структурно-функционального блока компонента, аналогичным способом интегрируются в параметры порядка компонента, а затем

компонентов, в обобщающие их параметры порядка геосистемы. При этом на каждом этапе логика анализа повторяется, и выделяются параметры порядка, описывающие варьирование все большего числа характеристик геосистемы.

В качестве примера, рассматривается наиболее «физиономичный» компонент ландшафта – растительность. В этот компонент входят шесть структурно-функциональных блоков: 1) общее проективное покрытие растительности, складывающийся из значений таких полевых характеристик как BSA древостоя, ОПП древостоя, ОПП ярусов древостоя, ОПП подлеска, ОПП трав и ОПП мхов; 2) проективное покрытие видов древостоя, включающий BSA и ПП для видов древостоя; 3) высоты и возраст древостоя, включающий среднюю высоту древостоя и его ярусов, 4) проективное покрытие видов подлеска, 5) группы видов трав и проективное покрытие мхов, включающий группы трав по обилию видов и ПП групп видов мхов; 6) типы наземного покрова (упорядочены от лесов к безлесным территориям).

Первый блок, включает 18 дискриминантных осей. Наиболее интегрированы в систему первая ось BSA древостоя, первая ось ОПП древостоя, первые оси ОПП первого, второго и третьего ярусов древостоя и вторая ось ОПП мхов. Три параметра порядка описывают 64 % от варьирования дискриминантных осей. Второй блок включает 42 дискриминантных оси. Наиболее интегрированы в систему первая ось BSA и ПП ольхи серой, первая ось BSA и ПП березы, первая ось BSA ясеня, первая ось BSA и ПП ели и первая ось BSA и ПП осины. Первые шесть параметров порядка описывают 62 % от варьирования дискриминантных осей. Третий блок включает 11 дискриминантных осей. Наиболее интегрированы в систему первая ось средней высоты древостоя, первая ось средней высоты первого яруса и первая ось средней высоты третьего яруса. Три первые параметра порядка описывают 75 % от варьирования дискриминантных осей. Четвертый блок включает 27 дискриминантных осей. Наиболее интегрированы в систему первая ось ПП клена, первая ось ПП ольхи серой, ось ПП лещины, ось ПП осины, ось ПП крушины и первая ось ПП малины. Первые шесть параметров порядка описывают 60 % от общего варьирования дискриминантных осей. Пятый блок включает 14 дискриминантных осей. Наиболее интегрированы в систему первая и вторая оси групп травостоя, первая ось ПП зеленых мхов и обе оси ПП сфагнумов. Первые четыре параметра порядка описывают 62 % от общего варьирования дискриминантных осей. Шестой блок включает 8 дискриминантных осей типов наземного покрова. Наиболее интегрированы в систему первая, вторая и четвертая оси. По результату мультирегрессионного анализа значимыми являются первые четыре оси из восьми полученных при дискриминантном анализе. Они описывают 93 % от распознанного варьирования типов наземного покрова.

В результате, получено 26 параметров порядка (дискриминантных осей для типов наземного покрова) для шести структурно-функциональных блоков характеристик растительного покрова. Определитель составил $\Delta=2.05 \times 10^{-10}$, что показывает высокую взаимосвязанность между параметрами порядка блоков характеристик растительности. Наиболее интегрированы с остальными первый и второй параметры порядка группы свойств видов древостоя, первый параметр порядка группы свойств ОПП растительности, первый параметр порядка группы свойств высоты и возраста древостоя, первый параметр порядка пород подлеска и второй и третий параметры порядка групп травостоя. Наименее определяются от остальных четвертый и шестой параметр порядка пород подлеска, первая и четвертая дискриминантные оси типов наземного покрова.

Первый интегральный параметр порядка растительности (26 % варьирования от варьирования параметров порядка структурно-функциональных блоков характеристик растительности), высокими значениями выделяет территории с выраженными уклонами мезорельефа при юго-восточных экспозициях макрорельефа при относительно высокой биомассе растительности, особенно, нижних ярусов древостоя и подлеска и невысокой общей биомассе на фоне относительно высокого влагосодержания грунтов осенью. В основном это бореальные лесные массивы на слабонаклонных слабодренированных равнинах. Низкие значения фактор принимает для территорий с нарушенным растительным

покровом (поля, вырубки, гари, сплошные ветровалы), болотных массивов и водных объектов. Исходя из связи параметра порядка с полевыми характеристиками, можно определить его как процесс роста/деградации (сукцессии), в основном, бореальных лесов вследствие естественных и антропогенных механизмов.

Второй интегральный параметр порядка (15 % варьирования), высокими значениями выделяет повышенные территории с выраженными уклонами и вогнутым микрорельефом при высокой биомассе растительности и невысоком влагосодержании грунтов. Исходя из связи этого фактора с полевыми характеристиками, это в основном вторичные неморальные мелколиственные леса на относительно слабонаклонных дренированных моренных грядках. Низкие значения фактора соответствуют лесам на слабо дренированных равнинах, водным объектам. Этот параметр порядка можно определить как процесс сукцессии (роста/деградации) мелколиственных лесов, контролируемый механизмами смены породного состава древостоя вследствие замещения мелколиственных пород хвойными (и наоборот) при проточно-застойном режиме грунтового увлажнения на фоне относительно богатого минерального питания.

Третий интегральный параметр порядка (9 % варьирования), высокими значениями выделяет вогнутые в макромасштабе и выпуклые в мезомасштабе с выраженными уклонами территории при относительно низкой биомассе растительности и хорошем развитии нижних ярусов древостоя и подлеска. В основном это смешанно-широколиственные (вторичные) лесные массивы на хорошо дренированных склонах моренных гряд и крупных речных долин. Низкие значения фактора выделяют болотные массивы и другие переувлажненные территории. Исходя из связи фактора с полевыми данными, его можно идентифицировать как процесс роста (сукцессии) лесов с неморальным подлеском и травостоем связанный с механизмами обеспечивающими повышенное минеральное питание растительности за счет грунтовых вод при проточном режиме увлажнения.

Четвертый интегральный параметр порядка (6 % варьирования), высокими значениями выделяет пониженные территории без уклонов микрорельефа и с выраженными уклонами макрорельефа мезовогнутые и микровыпуклые с высоким влагосодержанием грунтов. Это, в основном, сосновые леса на пониженных наклонных слабодренированных в основном флювиогляциальных и зандровых равнинах и днища крупных речных долин. Низкие значения фактора принимает в основном для лесов на вершинах моренных гряд и возвышенностей коренного рельефа. На основе мультирегрессии рассматриваемого параметра порядка растительности от свойств, измеренных в поле, можно предположить, что он определяется процессом сукцессии (роста/деградации) мезофильных низкотрофных лесов при малой мощности покровного суглинка характерной для песчаного субстрата. Этот процесс контролируется механизмами определяющими относительно бедное минеральное обеспечение растительности при слабой водоудерживающей способности грунтов на фоне выраженных уклонов микро и макрорельефа и периодическими рубками.

Пятый интегральный параметр порядка (6 % варьирования), высокими значениями выделяет вогнутые повышенные в макрорельефе и пониженные в макрорельефе поверхности без выраженных уклонов при юго-восточных экспозициях макрорельефа. В основном это днища крупных речных долин. Низкие значения фактора соответствуют выпуклым частям моренных гряд и бровкам речных долин. Исходя из связи фактора с полевыми характеристиками, он выделяет процесс развития пойменной лесо-кустарниково-влажнотравной растительности без развитого «лесного» подлеска для днищ долин речной сети, контролируемый механизмами повышенного застойно-проточного увлажнения при вогнутом рельефе и песчано-дресвяно-каменистом (аллювиальном) субстрате.

Шестой интегральный параметр порядка (5 % варьирования), высокими значениями выделяет территории с повышенным выпуклым макрорельефом плохо дренированные при слабом развитии растительности весной и значительном – осенью. Это в основном выпуклые луговые склоны речных долин. Низкие значения соответствуют выпуклым частям моренных гряд, пониженным флювиогляциальным равнинам и выпуклым повышениям коренного

рельефа. Связь фактора с полевыми характеристиками позволяет предположить, что он определяется процессом роста сероольховых кустарниково-луговых лесов на перегнойных почвах, контролируемый механизмами определяющими повышенное проточного увлажнение за счет выпуклых склонов долин речной сети.

Первые шесть интегральных параметров порядка характеристик растительности описывают 68 % от частных параметров порядка характеристик растительности. Остальные интегральные параметры порядка либо имеют максимальную связь только с одним частным параметром порядка, либо не имеют максимальной связи не с одним из них.

В наибольшей степени определяются интегральными параметрами порядка ВА древостоя, ВА ели, типы наземного покрова, ОПП древостоя, ПП ели, средняя высота древостоя, ОПП подлеска, третья (крапива-таволга), шестая (щитовник-зеленчук) и пятнадцатая (брусника-черника) группы травостоя. Так же, с R^2 более 0.3 определяются ВА березы, ПП березы, ОПП первого и второго древесных ярусов, возраст древостоя, высоты древесных ярусов, ОПП подлеска, ПП подлеска ели, ПП подлеска рябины, ОПП травостоя, группы травостоя (кроме лугово-злаковой и разнотравно-злаковой), ОПП мхов и ПП сфагнома. Практически не описываются интегральными параметрами порядка растительности 50 характеристик растительности из 85 рассмотренных. Первый интегральный параметр порядка является ведущим для 47-ми характеристик растительности, второй – для 6-ти, третий – для 18-ти, четвертый – для 5-ти, пятый – для 3-х и шестой – для 5-ти.

Таким образом, можно отметить наибольший уровень описания параметрами порядка растительности полевых характеристик имеющих широкое пространственное распространение (в рамках обучающей выборки) и высокие уровни значений для полевых описаний. Редко распространенные характеристики (с малыми величинами для описаний) практически не описываются от интегральных параметров порядка и, соответственно, могут не найти отражения при дальнейшем анализе.

Таким образом, исходные характеристики растительности описываются шестью интегральными параметрами порядка в наилучшей степени, отражающими ее общие свойства. Пространственное отображение состояния растительного покрова может быть получено на основе совместной классификации параметров порядка растительности с учетом их вклада в описание варьирования параметров порядка блоков при обобщении методом главных компонент. Классификация проводится автоматически по метрике Евклида дихотомическим иерархическим методом.

В результате, выделено 56 ассоциаций (групп ассоциаций) растительности для рассматриваемой территории. Выделение данного числа классов ограничено размерами обучающей выборки с тем условием, чтобы на каждый класс приходилось не менее десяти полевых описаний. Таким образом, дробность выделения классов в рамках типов растительности может быть различной в связи с акцентами при размещении точек полевых описаний. Так, в данном случае, больший акцент при полевых обследованиях (особенно крупномасштабных) смещен на лесные, лесоболотные и болотные типы наземного покрова. С другой стороны площади занятые этими типами наземного покрова составляют около 85 % территории исследований при высоком их внутреннем разнообразии. Поэтому и большее число классов растительности выделено для этих типов растительности (35 классов). На луга приходится всего 15 классов, а 6 классов можно отнести к промежуточным состояниям, для которых недостаточно полевых данных для дальнейшего разделения и/или мозаичность крупнее принятого масштабного уровня.

Полученная классификация, в целом, хорошо отражает разнообразие растительности региона связанное как с разнообразием форм рельефа и состава субстрата, контролирующих дренаж территории и обеспеченность растительности минеральными веществами, так и с процессами саморазвития (сукцессии) растительности, а так же с антропогенным воздействием различных форм. Четко выделяются болотные массивы различных состояний, различные состояния лесов и кустарниково-луговых сообществ. Достаточно четко

выделяются мелколиственно-сосновые и сосновые леса на задровых равнинах юго-запада исследуемой территории. Таким образом, классификация территории на основе параметров порядка растительности позволяет различить основные состояния растительного покрова и использовать ее для исследовательских и прикладных задач.

Неопределенность классификации состояний растительности, рассчитываемая при дискриминантном анализе классов состояний от параметров порядка, позволяет оценить пространственное распределение однозначности выделения классов. Минимально возможное значение неопределенности при 56 классах равна - 0.13, при 0.31 фактически полученных для классификации. Средняя неопределенность классификации равна 0.65, что более чем в два раза выше фактического минимума. Наибольшая неопределенность характерна для территорий с невыраженным рельефом (зандрам, флювиогляциальным и озерно-ледниковым равнинам). В общем, уровень неопределенности классификации невысокий, что повышает уровень доверия к полученной типизации состояний растительности. Расчет неопределенности, помимо оценки надежности классификации, позволяет планировать полевые исследования относительно полученных вероятностей отнесения каждого элемента территории (пикселя) к классам состояний растительности.

MULTIDIMENSIONAL ANALYSIS OF VEGETATION IN SOUTHWESTERN TVER REGION BASED ON RSD, DEM AND FIELD DATA.

M.Y. PUZACHENKO

Institute of Geography RAS

In this research demonstrated multivariate analysis of vegetation characteristics measured in the field with multispectral remote sensing data and digital elevation model. Based on the discriminant axis of vegetation characteristics derived from stepwise discriminant analysis, conducted a synthesis by the principal components analysis with the highlighting of integrated (order parameters) ones.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОСЕТЕВОГО ПОДХОДА ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ ДАННЫХ ДЗЗ В ЦЕЛЯХ ДИНАМИЧЕСКОГО КАРТОГРАФИРОВАНИЯ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ

К.А. РУБАНОВ

Сибирский федеральный университет

Представлены результаты сравнительного анализа точности нейросетевого способа классификации (НС), метода максимального правдоподобия и объектно-ориентированного подхода (ООП). Сравнение проводилось по данным среднего и высокого пространственного разрешения (Landsat 5 и Orbview-3). Показано, что НС превзошел показатели точности ООП в случае обработки данных Landsat (92% против 74%), и несущественно (всего на 2%) превзошел результаты ООП для данных Orbview.

Важнейшим достоинством дистанционного зондирования с учетом территориальных особенностей нашей страны является возможность сбора информации о протяженных области земной поверхности за короткие промежутки времени. Что особенно важно при существовании условий, препятствующих проведению непосредственных измерений, например, при изучении труднодоступных областей. Характеристики объектов в виде результатов измерения электромагнитного излучения, отражаемого или излучаемого объектом самостоятельно в различных спектральных диапазонах, фиксируются системой дистанционного зондирования и затем выдаются в цифровом виде потребителям. Важным

этапом обработки данных ДЗЗ является классификация – процедура, позволяющая на основании некоторого множества признаков того или иного объекта, обозначить его принадлежность соответствующему классу.

С момента возникновения и во время развития систем ДЗЗ были разработаны различные алгоритмы классификации данных. Одним из наиболее популярных классификаторов является метод максимального правдоподобия (Maximum likelihood classifier, MLC) – параметрический классификатор, основанный на статистических закономерностях и предположении о соответствии распределения яркости пикселей нормальному закону. В случае такого совпадения MLC демонстрирует достаточно высокую эффективность, хотя и требует большого объема априорной информации, получаемой путем тщательного подбора репрезентативных обучающих образов.

Искусственные нейронные сети (Artificial Neural Networks, ANN) – непараметрический подход, ставший эффективным инструментом для практического применения в различных задачах распознавания образов. Исследования применимости нейронных сетей (НС) для тематического дешифрирования данных ДЗЗ ведутся с начала 1990-х годов. Научное сообщество обратило внимание на этот метод, потому что его использование, как правило, не требует априорного знания о статистическом распределении данных. Первые попытки применения нейронных сетей для распознавания данных ДЗЗ показывали ограниченные возможности и крайне низкие результаты, однако моделирование новых архитектур дало толчок использованию НС. Исследования, направленные на сравнение результатов классификации стандартных статистических методов и нейросетевых подходов, в большинстве случаев демонстрируют, что точность последних значительно превосходит показатели традиционных алгоритмов. Целью данной работы является оценка нейросетевого метода классификации данных ДЗЗ в условиях лимитированной обучающей выборки.

Один из вариантов базовой архитектуры искусственной нейронной сети, состоящей из трех слоев: среднего (скрытого), входного и выходного – представлен на рисунке 1. Узлы

входного и выходного слоев представляют собой внешние интерфейсы для входных (признаков объектов, используемых для распознавания) и выходных (идентификаторы классов) образов, в то время как скрытый слой состоит из узлов (нейронов), содержащих обрабатывающие элементы, выполняющие суммирование и преобразование (рис. 2).

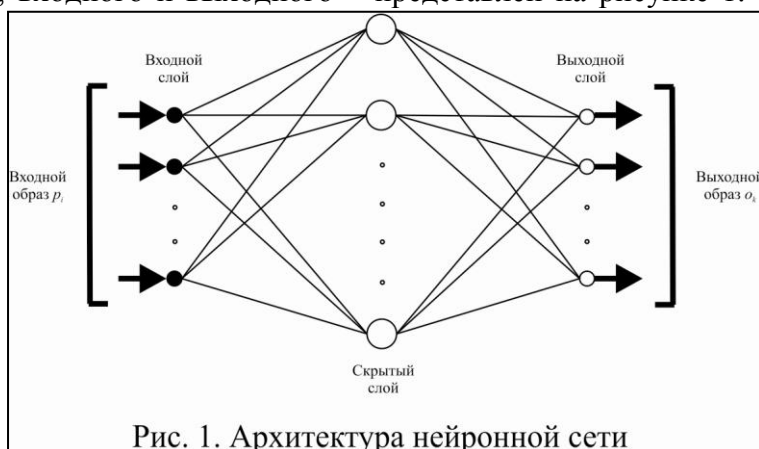


Рис. 1. Архитектура нейронной сети

В простейшем случае входными данными являются многоспектральные векторы обучающих пикселей, каждый компонент которых характеризует яркость пикселя в определенном спектральном диапазоне. Также могут быть использованы другие признаки, например, пространственные характеристики пикселей или текстурные атрибуты.

Искусственные нейронные сети используются в качестве одной из непараметрических методик классификации данных ДЗЗ. Значительным отличием этого метода распознавания от статических алгоритмов является то, что границы решения не фиксируются детерминированными правилами, применяемыми к характерным признакам прототипа, а определяются в итеративной форме путем минимизации критерия ошибки при обработке обучающих данных. В простейшем случае в качестве меры погрешности берется средняя квадратичная

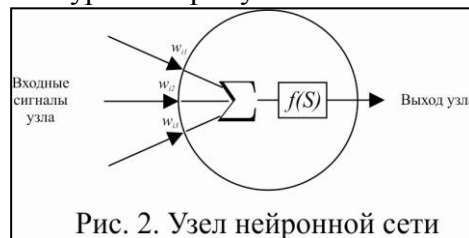


Рис. 2. Узел нейронной сети

ошибка, определяемая как сумма квадратов разностей между величиной идеального выхода d_i и полученными сетью значениями y_i для каждого учебного примера i :

$$E = \sum_{i=1}^M \frac{(d_i - y_i)^2}{M},$$

где M – количество примеров, обработанных нейронной сетью.

В каждом j -м узле скрытого слоя выполняется следующая операция над входным образом p_i , приводящая к выходному образу h_j :

$$\text{скрытый слой: } S_j \quad S_j = \sum_i w_{ji} p_i \quad h_j = f(S_j),$$

который направлен на каждый узел выходного слоя k , где рассчитывается выходной образ o_k :

$$\text{выходной слой: } S_k \quad S_k = \sum_j w_{kj} h_j \quad o_k = f(S_k),$$

В приведенных выше формулах входной образ p_i представлен вектором, составленным из значений яркостей пикселя в имеющихся спектральных каналах, выходной образ o_k характеризует класс, к которому принадлежит рассматриваемый элемент. Значения w_{ji} и w_{kj} – весовые коэффициенты, рассчитываемые при обучении нейронной сети. Возможность нейронной сети различать те или иные образы обусловлена ее весовыми коэффициентами. В процессе обучения они итеративно корректируются в направлении конфигурации, которая позволяет сети определять представляющие интерес образы прототипа.

Для оценки точности классификации нейронной сетью были выбраны следующие наборы данных:

- снимок Landsat 5 (5 каналов, VNIR и SWIR-диапазоны, 30 м);
- снимок Orbview-3 (4 канала, 4 м).

Использованные снимки характеризуют область Среднеобской низменности Западно-Сибирской равнины (болотно-озерная территория со средними абсолютными отметками высот равными 35-55 метрам). Использованные материалы датируются октябрем 2006 года.

При использовании нейросетевого подхода наилучшее качество распознавания показали НС следующих конфигураций:

- для Landsat 5: 1 скрытый слой, логистическая функция активации, 100 итераций процесса обучения, значение порога воздействия 0.04, коэффициент обучения 0.05, тренировочный шаг 0.25, критерий ошибки 0.1.
- для Orbview-3: 1 скрытый слой, логистическая функция активации, 200 итераций процесса обучения, значение порога воздействия 0.1, коэффициент обучения 0.25, тренировочный шаг 0.5, критерий ошибки 0.1.

Помимо нейросетевой классификации был выполнен анализ материалов ДЗЗ с помощью объектно-ориентированного подхода и метода максимального правдоподобия (ММП, наиболее распространенного статистического метода, реализованного в большинстве программных пакетов обработки данных ДЗЗ). Выбор параметров используемых алгоритмов осуществлялся произвольно, до достижения необходимого уровня точности классификации и качества интерпретации. Путем визуального экспертного анализа были отобраны лучшие результаты классификации, которые затем сравнивались между собой по качеству распознавания. Средние показатели точности и представлены в таблице 1.

Таблица 1. Средние показатели точности и каппа-коэффициенты результатов классификации

Классификатор	Метод оценки	Landsat 5	Orbview 3
ММП	Точность, %	85	81
	Каппа-коэффициент	0.82	0.78
ООП	Точность, %	74	94
	Каппа-коэффициент	0.69	0.91
НС	Точность, %	92	96
	Каппа-коэффициент	0.9	0.95

ЛИТЕРАТУРА

1. Шовенгердт Р.А. Дистанционное зондирование. Модели и методы обработки изображений. М.: Техносфера. 2010. 560 с.
2. Bischof H., Schneider W., Pinz A.J. Multispectral classification of Landsat images using neural networks // IEEE Trans. Geosc. Rem. Sens. 1992. V.30. P.482-490.
3. Decatur S.E. Applications of neural networks to terrain classification // Proc. Intern. Joint Conf. Neural Networks. Washington DC. USA. 1989. P.283-288.
4. Richards J.A., Jia X. Remote Sensing Digital Image Analysis. An Introduction. Fourth Edition. Heidelberg: Springer. 2006. P.454.
5. Tatem A.J., Lewis H.G., Atkinson P.M., Nixon M.S. Multiple_class land cover mapping at the sub pixel scale using a Hopfield neural network // Intern. J. App. Earth Obs.Geoinf. 2001. V.3. P.184-190.

USING A NEURAL NETWORK APPROACH TO REMOTE SENSING DATA CLASSIFICATION FOR DYNAMIC LAND COVER MAPPING OF FOREST TYPES

K.A. RUBANOV

Siberian Federal University

Comparative analysis of the accuracy of classification methods of remote sensing data based on neural network approach (NN), maximum likelihood and object-oriented algorithms (OOA) is presented. Process was carried out according to the datasets of middle and high spatial resolution (Landsat 5 и Orbview 3). It was shown that NN performance exceeded the accuracy of the algorithm based on OOA in the case of Landsat datasets (92% vs. 74%), and insignificantly (just for 2%) surpassed the results of the OOA for Orbview datasets.

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЮЖНО-ТАЕЖНЫХ БИОГЕОЦЕНОЗОВ ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Р.Б. САНДЛЕРСКИЙ, Ю.Г.ПУЗАЧЕНКО

Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН

На примере биogeоценотического покрова Центрально-лесного заповедника показана возможность использования мультиспектральной дистанционной информации в качестве измерительной системы преобразования солнечной энергии. Рассматривается влияние рельефа, структуры и состава лесной растительности на составляющие энергетического баланса.

Оценка биосферных функций лесной растительности невозможна без понимания механизмов трансформации солнечной энергии биogeоценотическим покровом. Выделение сообществ с различными стратегиями преобразования энергии создает основу для оценки вклада пространственной неоднородности биogeоценотического покрова в формирование локальной циркуляции атмосферы, и, соответственно для оценки климаторегулирующей роли растительности. Традиционные методы измерения параметров функционирования биogeоценоза не позволяют оценить преобразование солнечной энергии для всего

многообразия состояний биогеоценотического покрова. Оценка параметров преобразования энергии биогеоценотическим покровом в различных пространственных масштабах возможна только на основе данных мультиспектрального дистанционного зондирования. Использование мультиспектральных спутниковых измерений отраженной солнечной радиации дает возможность оценить составляющие баланса поглощенной солнечной энергии для различных сообществ и на этой основе выделить типы сообществ с различным использованием солнечной энергии и таким образом создать основу для последующей оценки градиентов тепла и влаги между ними. Очевидно, что состояние биогеоценоза меняется не только в пространстве, но и во времени, и соответственно, информация, полученная со спутников актуальна лишь для конкретных условий съемки (сезон, погода). Однако, анализ серии измерений в различных условиях, позволяет выделить ведущие процессы (базовые процессы, инварианты) или параметры порядка, определяющие пространственно-временное варьирование параметров преобразования энергии. Цифровая модель рельефа и рассчитанные по ней морфометрические характеристики для различных иерархических уровней позволяют оценить вклад рельефа в преобразование энергии. Характеристики растительности, измеренные в поле, позволяют оценить вклад структуры и состава сообществ. Классификация территории по параметрам порядка позволяет выделить типы сообществ с различными стратегиями преобразования солнечной энергии. В настоящем сообщении изложены результаты применения этого подхода для южно-таежных биогеоценозов Центрально-лесного заповедника.

В качестве измерительной системы в работе использована многоканальная сканерная съемка Landsat TM и ETM+: 20 сцен съемки выполненных в утренние часы при безоблачном небе, в различные сезоны года с 1986 по 2009 год. Съемка выполняется в семи спектральных диапазонах: 6 каналов в коротковолновой части спектра (пространственное разрешение 30x30 м в пикселе) и в длинноволновом тепловом диапазоне (разрешение 60x60 м). Каналы Landsat охватывают 22.8% длины солнечного спектра или, с учетом интенсивности излучения, 42.4% от солнечной постоянной всего спектра. По калибровочным постоянным (Chander et al., 2009) значения яркостей в каналах переводились в поток отраженной деятельной поверхностью радиации. Приход солнечной радиации в каждом канале рассчитывался с поправкой на высоту солнца и расстояние от Земли до Солнца. Далее по методике предложенной Jorgensen, Svirezhev (2004) и доработанной Сандлерским и Пузаченко (2009) рассчитывались термодинамические характеристики: составляющие баланса поглощенной солнечной энергии: затраты энергии на эвапотранспирацию, аккумуляция энергии в системе, диссипация энергии с тепловым потоком и энтропией; тепловой поток от деятельной поверхности в атмосферу (температура), вегетационный индекс; переменные характеризующие спектральную структуру преобразования энергии: приращение информации и энтропию отраженной солнечной радиации.

Для обобщения пространственно-временного варьирования термодинамических переменных за 20 сроков был использован многомерный анализ, целью которого является снижение размерности рассматриваемой системы. Многомерное пространство образованное термодинамическими переменными за 20 сроков было преобразовано методом главных компонент в пространство трех базовых переменных, которые в совокупности описывают 65% варьирования термодинамических переменных. Первый параметр порядка описывает 43.5% варьирования, второй и третий 15.2 и 5.9% соответственно. Первый параметр порядка положительно определяет варьирование поглощения солнечной энергии и затраты энергии на эвапотранспирацию в течение всего года, отрицательно – тепловой поток, и в меньшей степени производство биологической продукции. Второй и третий параметры определяют спектральную структуру системы преобразующей солнечную энергию (приращение информации и энтропию) и ее биологическую продуктивность: второй – в летний период, третий – весной и осенью.

Оценка вклада морфометрических характеристик рельефа в параметры порядка осуществлялась методом множественной регрессии. Морфометрические характеристики

рассчитывались по цифровой модели рельефа с разрешением 30х30 метров для различных иерархических уровней организации с линейными размерами характерных форм 3810 м, 1050 м, 450 м, 270 м (мезорельеф), и 150 м (микрорельеф) и описывают кривизну, форму склонов и освещенность поверхности. В результате оценки вклада рельефа в преобразование энергии для каждого параметра были получены их значения, предсказанные по рельефу и остатки регрессии – та часть варьирования параметра, которая определяется собственным состоянием биогеоценоза.

Для исследуемого ландшафта в целом рельеф описывает 10% варьирования первого параметра порядка, 32% второго и 4 % третьего. В условиях избыточного атмосферного увлажнения, характерного для исследуемой территории, лесные сообщества в вогнутых слабодренированных позициях увеличивают поглощение солнечной энергии и затраты энергии на эвапотранспирацию, снижая тепловой поток (температуру). На возвышенных, дренированных поверхностях моренных гряд сообщества увеличивают биологическую продуктивность и приращение информации. На этом фоне крутизна и освещенность склонов гряды с юга и востока также увеличивают продуктивность и приращение информации. В переходные периоды на дренированных и теплых поверхностях – выпуклых вершинах и крутых склонах моренных гряд, увеличиваются тепловой поток и накопление энергии биогеоценозами, а приращение информации и производство биологической продуктивности – уменьшаются.

Для каждого параметра порядка, его значений предсказанных по рельефу и значений не описываемых рельефом были оценены зависимости от свойств растительного покрова измеренных в поле. Использовались данные 1300 геоботанических описаний. Для древостоя – сомкнутость (общая и по ярусам, в баллах), высота (средняя и по ярусам, м), абсолютная полнота ($\text{м}^2/\text{га}$), запас (общий и доля участия в нем для каждой породы, $\text{м}^3/\text{га}$), общее проективное покрытие подлеска и подроста; для травяно-кустарничкового и мохового ярусов – общее проективное покрытие (%); для травяно-кустарничкового яруса – проективное покрытие каждого вида. Коэффициенты детерминации характеристиками растительности параметров порядка приведены в таблице 1.

Таблица 1. Детерминация параметров порядка характеристиками растительности (R^2)

Параметры порядка	Первый	Второй	Третий
Параметр в целом	0.57	0.63	0.22
Параметр без влияния рельефа	0.42	0.54	0.24

На протяжении всего года полнота и запас древостоя увеличивают поглощение солнечной энергии и затраты энергии на эвапотранспирацию, снижая летом приращение информации и биологическую продуктивность, но увеличивают их весной. Сомкнутость древостоя при высоких значениях уменьшает поглощение и затраты на эвапотранспирацию и увеличивают биологическую продуктивность, при средних значениях сомкнутости ее влияние обратно. Таким образом, молодые леса в целом увеличивают биологическую продуктивность, а средневозрастные и припевающие – затраты энергии на эвапотранспирацию. Старые леса уменьшают как продуктивность, так и затраты энергии на эвапотранспирацию. Поглощение солнечной энергии и затраты ее на эвапотранспирацию увеличивает рост доли хвойных в составе древостоя, а приращение информации и биологическую продуктивность – рост доли лиственных. Чем более развит травяной ярус, тем больше приращение информации и продуктивность, и меньше поглощение и затраты энергии на эвапотранспирацию. Влияние степени развития мохового яруса на преобразование энергии обратно влиянию травяного яруса.

Для выделения сообществ с различным соотношением параметров порядка использовалась дихотомическая классификация. Для интерпретации полученных классов был применен дискриминантный анализ. Дискриминация классов от характеристик растительности позволила количественно оценить, насколько выделенные классы с различным соотношением термодинамических переменных отличаются друг от друга по

свойствам растительного покрова, и какие именно характеристики растительности вносят наибольший вклад в дифференциацию. С помощью одномерного дисперсионного анализа для характеристик растительного покрова, которые вносят значимый вклад в различение классов, были оценены их средние значения, что позволило ассоциировать выделенные классы с определенными сообществами. Были выделены 8 классов термодинамической системы южно-таежного ландшафта: 1 – еловые зеленомошниково-сфагновые черничные леса; 2 – мелколиственно-еловые кисличные леса с меньшим участием мхов и черники; 3 – мелколиственно-еловые леса с участием широколиственных пород с развитым травяным покровом с большой ролью папоротников; 4 – елово-широколиственный, травянистый; 5 – разрушенные леса (вывалы, гари, разрушенные леса по долинам рек с низкой сомкнутостью и небольшой высотой древостоя); 6 – верховые болота (в том числе с сосной); 7 – зарастающие луга; 8 – сенокосы, залежи, пастбища, селитьбы.

Анализ сезонной динамики термодинамических переменных для основных классов термодинамической системы позволил оценить масштабы различий между ними. Наиболее различаются между собой «лесные» и «луговые» классы и верховые болота. Различия эти, наиболее ярко проявляются в величине теплового потока. Начиная с весны поток тепла над болотами значительно выше, чем над лесами. Температура над болотом за весь бесснежный период в среднем на 3.4° выше, чем в лесу и на 1.8° чем на лугах. Летом болота теплее леса в среднем на 4.5° и луга на 2.2° . Так как сезонный ход температуры для всех сообществ в целом подобен, то причиной того что тепловой поток от болот и, в меньшей степени от лугов, значительно выше чем от лесов, является то, что лесные сообщества затрачивают большую часть поглощенной энергии на эвапотранспирацию, снижая тепловой поток. Внутри лесных сообществ дифференциация термодинамических переменных не велика, так летом масштаб различий в средних значениях температуры между лесными типами достигает всего 0.5° . Летом лесные типы значительно различаются по своей продуктивности: продуктивность елово-широколиственных лесов значительно выше продуктивности для остальных лесных типов, и по абсолютным ее значениям в отдельные сроки даже превосходит продуктивность зарастающих лугов и сенокосов. В целом, лесные сообщества в бесснежный период сохраняют наибольшее поглощение и затраты энергии на эвапотранспирацию, луговые сообщества максимизируют приращение информации и биологическую продуктивность летом, а верховые болота летом переводя большую часть энергии в связанную энергию (тепловой поток и энтропия) в переходные периоды максимизируют неравновесность и биологическую продукцию. В течение вегетационного периода аккумуляция энергии минимальна в лесах и максимальна на лугах, и в меньшей степени на болотах (гумусо- и торфонакопление). В целом, различия внутри лесных сообществ, обусловленные их различным составом и возрастом, значительно меньше, чем между ними и теми же верховыми болотами и лугами. Продемонстрированные различия между лесными, луговыми сообществами и верховыми болотами в преобразовании энергии позволяют констатировать существование как минимум трех стратегий использования солнечной энергии биогеоценозами южной тайги.

Представленная методология использования дистанционной информации в качестве измерительной системы для энергетического состояния биогеоценотического покрова и его анализа в будущем способна значительно расширить возможности использования мультиспектральной съемки в исследованиях взаимодействия ландшафта и климата.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сандлерский Р.Б., Пузаченко Ю.Г. Термодинамика биогеоценозов на основе дистанционной информации // Журн. общ. биол. 2009. Т. 70. № 2. М.: Наука. С. 121-142
2. Chander G., Markham B., Helder D. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors // Remote Sensing of Environment. 2009. V. 113. Issue 5. P. 893-903
3. Jorgensen S.E., Svirezhev Y.M. Towards a thermodynamic theory for ecological systems. Elsevier. 2004. 369 p.

THERMODYNAMICAL CHARACTERISTICS OF SOUTH-TAIGA BIOGEOCENOSIS, BASED ON REMOTE SENSING DATA

R.B. SANDLERSKIY, Y.G. PUZACHENKO

A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution RAS

The possibility of using multispectral remote sensing information as a measuring system to evaluate the conversion of solar energy is shown on an example of Central Forest Reserve biogeocenoses. The influence of relief, structure and composition of the vegetation cover on the components of energy balance is analyzed.

КАРТИРОВАНИЕ ТОРФЯНЫХ БОЛОТ МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ ПО ДАННЫМ КОСМИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ

А.А. СИРИН, А.А. МАСЛОВ, Н.А. ВАЛЯЕВА, Т.В. ГЛУХОВА, О.П. ЦЫГАНОВА

Институт лесоведения РАН

Торфяные болота, включая измененные хозяйственной деятельностью (добыча торфа, осушение для сельского и лесного хозяйства), относятся к разным категориям земель; отсутствует единая система их инвентаризации и учета. Предложенная и апробированная методика использования ДЗЗ для картирования торфяных болот разных типов и состояний может быть использована для решения задач, требующих создания привязанной к единой системе координат региональной ГИС торфяных болот.

Торфяные болота занимают более 8%, а с учетом, заболоченных мелкоотторфованных (торф < 0,3 м) земель – более 20% территории страны (Вомперский и др., 1994, 1999). Их отличает высокое природное разнообразие (Вомперский и др., 2005) и различная степень облесенности (Вомперский и др., 2011). Болота относятся к разным категориям земель; традиционно доминирует узкоотраслевой подход их к рассмотрению (Торфяные..., 2001). Сложности инвентаризации торфяных болот – одна из ключевых проблем организации их рационального использования и охраны (Основные..., 2003).

Отсутствие единой системы учета касается торфяных болот, как в естественном состоянии, так и измененных хозяйственной деятельностью. Только в Европейской части России было использовано для добычи торфа, осушено для сельского и лесного хозяйства в совокупности не менее 5 млн. га торфяных болот (А Quick..., 2009). В последние два десятилетия экономический интерес к осушенным и освоенным торфяным болотам резко снизился. Около 250 тыс. га болот, осушенных для фрезерной добычи торфа, были заброшены. Такие площади плохо зарастают растительностью, подвержены водной и ветровой эрозии, характеризуются потерями углерода и высокой пожарной опасностью. Не используются обширные площади, осушенные для сельского хозяйства. Лесное хозяйство не уделяет внимание многим объектам лесосушения, где широко представлены перестойные древостои, много ветровалов и других факторов, усиливающих пожароопасность. В периоды засух торфяные пожары происходят и на естественных болотах, но неиспользуемые осушенные торфяники, особенно участки фрезерной добычи торфа, – объекты наиболее высокой пожарной опасности (Сирин и др. 2011).

Московская область лидирует по площади заброшенных торфяников, осушенных для фрезерной добычи торфа. К ним следует добавить неиспользуемые осушенные сельскохозяйственные и лесные земли. Пожары 2002 и особенно, 2010 гг. показали степень пожарной опасности брошенных пользователем осушенных торфяных болот. Стало необходимым усовершенствовать управление торфяниками, восстановить регулирование водного режима, обводнить торфяники для ликвидации опасности торфяных пожаров. Были разработаны федеральная и региональные программы. В 2010 году были начаты работы по обводнению торфяников Московской области. С 2011 г. частью этих работ стал российско-

германский проект «Восстановление торфяных болот в России в целях предотвращения пожаров и смягчения изменений климата», направленный, в первую очередь, на обоснование значимости восстановления болот для снижения выбросов парниковых газов.

Важнейшей частью проекта стало создание ГИС торфяных болот Московской области. Существующие разносторонние данные имели различный формат, который определялся отраслевыми требованиями; границы торфяников были показаны с различной точностью, данные – не привязаны к единой системе координат. Решением проблемы стало картирование торфяных болот региона с ручным дешифрированием и их оконтуриванием на основе космической съемки высокого разрешения.

В соответствии с решаемой задачей были определены исходные требования к данным ДЗЗ: а) мультиспектральная съемка для синтеза цветных изображений с наличием ближнего инфракрасного канала – наиболее информативного при дешифрировании растительного покрова и состояния поверхности торфяников; б) высокое разрешение съемки для уверенного дешифрирования объектов площадью до 0,5 га; в) сплошное покрытие территории Московской области безоблачной (малооблачной) съемкой в течение вегетационного сезона (май – сентябрь) за несколько лет, предшествующих экстремальным пожарам 2010 года; г) приемлемая стоимость данных.

Анализ характеристик съемочной аппаратуры ресурсных спутников ДЗЗ и наличия данных съемки Московской области в мировых архивах данных показал, что большинство из них имеет в составе сенсоров ближний инфракрасный канал, однако по критериям высокое разрешение / сплошное покрытие выбор весьма ограничен. Спутник Landsat 7, который обеспечивает мультиспектральные данные разрешением 30 м, с 2003 в нормальном режиме практически не работает. Хорошее покрытие территории области в течение нескольких лет (до и после 2010 г.) имеет спутник SPOT 4, но его разрешение также недостаточно – 20 м. Спутники IRS 1C/1D, IRS P6 с неплохим покрытием региона за 2007–2010 годы имеют разрешение еще ниже (23 м), чем у SPOT 4. Спутники GeoEye, QuickBird, Ikonos, WorldView-2 при сверхвысоком разрешении (размер пикселя 2–3 метра) имеют лишь фрагментарное покрытие области далекое от сплошного (даже с учетом зимнего периода), их данные имеют высокую стоимость.

Как оказалось, исходным требованиям в наибольшей степени соответствует мультиспектральная съемка со спутника SPOT 5, размер пикселя которой (10 м) позволяет дешифрировать объекты до 0,5 га. В последние годы данные SPOT 5 широко используются при мониторинге лесов и сельскохозяйственных земель в странах Евросоюза, Скандинавии, США, Канады, России. На территорию Московской области имеется сплошное безоблачное покрытие в период май – сентябрь, если принять во внимание все годы съемки (2007–2012). Примерно две трети площади региона покрыто съемкой в период до экстремальных пожаров 2010 года.

Данные SPOT 5 были закуплены в Инженерно-технологическом центре «СКАНЭКС» в «сыром» формате DIMAP с исходной гистограммой каналов и привязкой только по орбитальным параметрам. Такая форма поставки данных позволила нам самостоятельно выбрать нужный тип RGB-синтеза, отредактировать гистограмму каналов и профессионально провести привязку снимка. Исходная ошибка привязки снимков на местности составляла 20–50 м.

На этапе обработки снимков до их загрузки в ГИС проводились: сведение и точная привязка всех каналов к местности с одновременной ортотрансформацией путем использования орбитальной модели привязки с опорными точками (Маслов, Митькиных, 2010); RGB-синтез цветного изображения с редактированием гистограмм каналов; приведение снимков к единому пространственному разрешению 10 метров; трансформация и сохранение снимка в формате geotif (проекция UTM WGS 84) с созданием файла привязки tab для ГИС MapInfo.

Трансформация и привязка снимков осуществлялись в профессиональном программном пакете Scanex Image Processor 3.6. В качестве цифровой модели рельефа

использовалась SRTM. Опорные точки брались с топографических и лесных карт, что обеспечило 10-метровую точность привязки обработанных снимков на местности. В качестве трехканального RGB-синтеза был выбран «зеленый» синтез 2–1–3 («в псевдонатуральных цветах»), при котором большинство объектов, и, прежде всего, растительность имеют цвета, близкие к естественным. Данный вариант синтеза был определен в ходе предварительного тестирования для задачи по выявлению и оконтуриванию торфяников.

Загрузка данных в ГИС осуществлялась по мере обработки космической съемки с формированием безоблачной мозаики на Московский регион. Оператор спутника SPOT 5 компания Spot Image осуществляет съемку под заказ, и расположение снимков относительно земной поверхности не имеет вид регулярной сетки квадратов, в отличие, например, от Landsat. Поэтому, несмотря на большой размер кадров (60×60 км), для покрытия территории региона потребовалось обработать 26 кадров почти 2-кратно большей площадью.

В качестве информации по расположению, размерам и состоянию торфяников использовались данные учета торфяных месторождений (Росгеолфонд МПР России), ранее собранные данные ГИС «Болота России» Института лесоведения РАН и другие материалы. Для дешифрирования лесных торфяников применялись материалы последнего лесоустройства – карта преобладающих пород из «Лесного плана Московской области» (Мослеспроект). По ходу выполнения работы уточнялась методика ручного дешифрирования границ объектов, анализировались особенности отображения на снимках в разные периоды различных типов торфяников, хвойных, лиственных лесов, сельскохозяйственных угодий, теней облаков, свежих и старых гарей, дымки. Основные трудности дешифрирования были связаны с сильным варьированием спектральных характеристик торфяников, что связано с их различной обводненностью, характеристиками растительного покрова, степенью нарушенности, пространственными неоднородностями разного уровня.

В результате работы были предварительно сформированы основные слои ГИС торфяных болот Московского региона, дополненные базой данных. На текущем этапе оконтурено более 1700 объектов площадью от 2,5 до 26000 га. В дальнейшем предполагается дополнение ГИС объектами площадью менее 2,5 га, уточнение границ уже выделенных торфяников, расширение перечня атрибутов в базе данных.

Выявленные контуры торфяных болот обеспечат основу классификации их растительного и земельного покрова с использованием оперативных данных ДЗЗ для мониторинга экологического состояния и пожарной опасности (Медведева и др., 2011), определения коэффициентов эмиссии парниковых газов и последующих расчетов снижения их выбросов в результате проводимых работ по обводнению и восстановлению болот. Указанные задачи определяются целями проекта, однако предложенная и проверенная в ходе работ методика картирования торфяников может быть полезна для решения других задач по анализу состояния таких объектов и в других регионах страны

ЛИТЕРАТУРА

1. *Вомперский С.Э., Иванов А.И., Цыганова О.П., Валяева Н.А., Глухова Т.В., Дубинин А.И., Глухов А.И., Маркелова Л.Г.* Заболоченные органогенные почвы и болота России и запас углерода в их торфах // Почвоведение. 1994. № 12. С. 17–25.
2. *Вомперский С.Э., Цыганова О.П., Ковалев А.Г., Глухова Т.В., Валяева Н.А.* Заболоченность территории России как фактор связывания атмосферного углерода // Избр. научн. труды по проблеме “Глобальная эволюция биосферы. Антропогенный вклад”. М.: Научный совет НТП “Глобальные изменения природной среды и климата”. 1999. С. 124–144.
3. *Вомперский С.Э., Сирин А.А., Цыганова О.П., Валяева Н.А., Майков Д.А.* Болота и заболоченные земли России: попытка анализа пространственного распределения и разнообразия // Изв. РАН. Сер. геогр. 2005. № 5. С. 21–33.
4. *Вомперский С.Э., Сирин А.А., Сальников А.А., Цыганова О.П., Валяева Н.А.* Облесенность болот и заболоченных земель России // Лесоведение. 2011. №5. С. 3–11.
5. *Маслов А.А., Митькиных Н.С.* Оптимальный выбор формата данных и методов геопривязки: практические рекомендации при заказе снимков высокого разрешения // Земля из космоса – наиболее эффективные решения. 2010. № 4. С. 83–84.

6. *Медведева М.А., Возбранная А.Е., Барталев С.А., Сирин А.А.* Оценка состояния заброшенных торфоразработок по многоспектральным спутниковым данным // Исследование Земли из космоса. 2011. № 5. С. 80–88.
7. Основные направления действий по сохранению и рациональному использованию торфяных болот России. Министерство природных ресурсов Российской Федерации. М.: Российская программа Международного бюро по сохранению водно-болотных угодий, 2003. 24 с. www.peatlands.ru
8. *Сирин А., Минаева Т., Возбранная А., Барталев С.* Как избежать торфяных пожаров? // Наука в России. №2. 2011. С. 13-21.
9. Торфяные болота России: к анализу отраслевой информации / Под ред. Сирина А.А., Минаевой Т.Ю. М. Геос., 2001. 190 с.
10. *Minayeva, T., Sirin, A., Bragg, O.* (eds.) A Quick Scan of Peatlands in Central and Eastern Europe. Wageningen, The Netherlands: Wetlands International, 2009. 132 pp.

MAPPING OF PEATLANDS OF MOSCOW OBLAST BASED ON HIGH RESOLUTION REMOTE SENSING DATA

A.A. SIRIN, A.A. MASLOV, N.A. VALYAEVA, T.V. GLUKHOVA, O.P. TSYGANOVA

Institute of Forest Science, Russian Academy of Sciences, IFS RAS

Peatlands, including those transformed by human activities (peat extraction, drainage for agriculture and forestry), belong to different land categories; there is no general system for their inventory and accounting. Introduced and approved based on EO data methodology for mapping of peatlands of different types and conditions can be used for various tasks, which need development of regional peatland's GIS.

МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗНАЧЕНИЙ ТАКСАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЛЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСНОЙ ОБРАБОТКИ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ И НАЗЕМНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

Е.Н. СОЧИЛОВА, Д.В. ЕРШОВ

Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН

В работе изучается возможность использования данных оптических спутниковых систем Landsat для определения запасов стволовой древесины, высоты и возраста лиственницы и осины. Анализ проводился методом восстановления регрессионных зависимостей между спектральными яркостями красного канала на изображениях и таксационными характеристиками материалов лесоустройства.

Достоверная актуальная информация о состоянии и динамике лесных ресурсов территории активного лесопользования является важнейшим условием устойчивого и эффективного лесопользования. Работы по лесоустройству носят комплексный характер, а самыми востребованными и затратными являются работы по таксации лесов. В настоящее время эти работы должны выполняться по новейшим, экономически оправданным и оптимальным по соотношению «цена – качество» технологиям с акцентом на преимущественное применение дистанционных способов. Сегодня спутниковые изображения активно используются для картографирования лесного покрова, оценки лесистости территории, сомкнутости древесного полога, санитарного состояния леса, площадей погибших насаждений от лесных пожаров, ветровалов и вырубок. В мире разрабатываются методы определения высоты, диаметра, объема стволовой древесины по данным различных спутниковых систем в комбинации с наземными измерениями (Foody et al., 2003; Franklin, 1986; Jakubauskas, Price, 1997; Roy, Ravan, 1996).

Цель работы - изучить возможность оценки таксационных показателей по спутниковым изображениям Landsat методом восстановления регрессионных зависимостей

между спектральными яркостями на снимках и наземными характеристиками по данным лесоустройства (Сочилова, Ершов, 2012). В качестве исходных материалов используются зимние сцены Landsat-7/ETM+ (24 апреля 2010 года) и база данных по выделам Чунского лесничества Красноярского края (57,7° с.ш., 96,5° в.д.).

Чунское лесничество расположено в восточной части Красноярского края, его территория относится к Приангарскому лесному району и находится в южной части Средне-Сибирского плоскогорья. Лесные массивы Чунского лесхоза располагаются в бассейне реки Чуна (подбассейн Ангары и Енисея) и относятся к южно-таежным лиственнично-сосновым лесам. В Чунском лесничестве в хвойной группе преобладают сосновые (восточная часть) и лиственничные (северная часть) насаждения, а в лиственной группе - березовые и осиновые насаждения. Средняя полнота для хвойных составляет - 0,68, для лиственных - 0,77. Усредненный бонитет - 3 класс. Наиболее разновозрастные древостои наблюдаются у осины, в которых присутствуют и молодняки, и перестойные насаждения X и XI классы возраста. Тестовые площадки выбирались таким образом, чтобы отразить наибольший диапазон значений запасов древесины, высот и возрастов.

Методика исследований включает в себя несколько этапов:

- формирование по данным лесоустройства опорной и контрольной выборок участков лесных пород с различными высотами и запасами стволовой древесины, чтобы отразить наибольший диапазон значений (тестовые участки);
- определения средних значений спектрально-отражательных яркостей по зимней сцене в красном канале для лесных пород на тестовых участках;
- восстановление и анализ регрессионных зависимостей значений спектральных яркостей и таксационных показателей.

Исследования спектрально-отражательных яркостей лесов проводились в красном канале Landsat (0,63 – 0,69 мкм), диапазон которого для живой растительности характеризуется условным названием «хлорофилловая яма», так как именно здесь происходит максимум поглощения хлорофилла. Однако в зимний период, когда листва / хвоя отсутствует в пологом древостое, а земная поверхность покрыта снегом, этот диапазон может использоваться для оценки плотности стволов деревьев за счет интенсивности отраженных от снега солнечных лучей в межкروновых пространствах.

В среднем площади участков составляют $3 \pm 2,5$ га. Были получены уравнения связи между спектрально-отражательными яркостями древесных пород и таксационными запасами стволовой древесины для тестовых площадок внутри однородных участков леса (выделов). Уровень взаимосвязи между данными показателями составил, соответственно, 0,47 (для хвойных пород), 0,83 (для лиственницы) и 0,79 (для осины). Вид взаимосвязи носит экспоненциальный характер (рис.1). На графиках пунктирной линией отражена область значений спектральных яркостей площадок с различными запасами древостоев в границах доверительного интервала 0,95. Наилучшие результаты были получены для листопадных древесных пород с минимальным составом хвойных вечнозеленых насаждений в пологом и под пологом древостоя. В связи с этим исследования были направлены в основном на анализ зависимости спектральной яркости красного канала и запаса стволовой древесины таких пород как лиственница и осина, доминирующие в лесах тестового участка.

Понятно, что такие таксационные показатели, как запас, высота, возраст, исходя из закономерностей роста древостоев, коррелируют друг с другом. Были проведены исследования по выявлению взаимосвязей между яркостями в красном канале Landsat и высотами насаждений (рис.2). Результаты показали, что взаимосвязь существует, носит, как и в случае с запасами, экспоненциальный характер. Величина достоверности аппроксимации равна 0,73 для лиственницы и лиственных пород, и практически отсутствует для темнохвойных пород (0,27). Ситуацию с темнохвойными лесами можно объяснить тем, что все молодые насаждения находятся под верхним пологом, не видны на спутниковых снимках, вследствие чего не удаётся набрать тестовые участки для молодых насаждений.

Для тестового региона были проведены исследования по восстановлению зависимостей между высотами и возрастом, с целью определения последнего (рис.3).

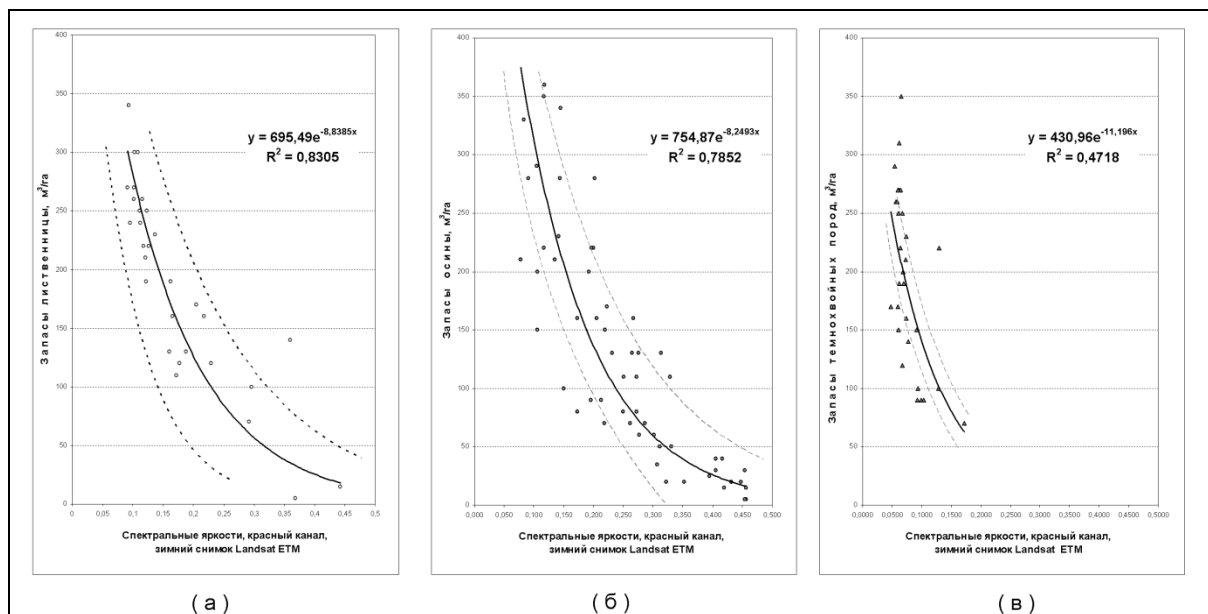


Рис. 1. Зависимость спектральной яркости красного канала Landsat ETM+ и таксационных запасов стволовой древесины (м³/га) для лиственницы (а), осины (б) и темнохвойных пород (в)

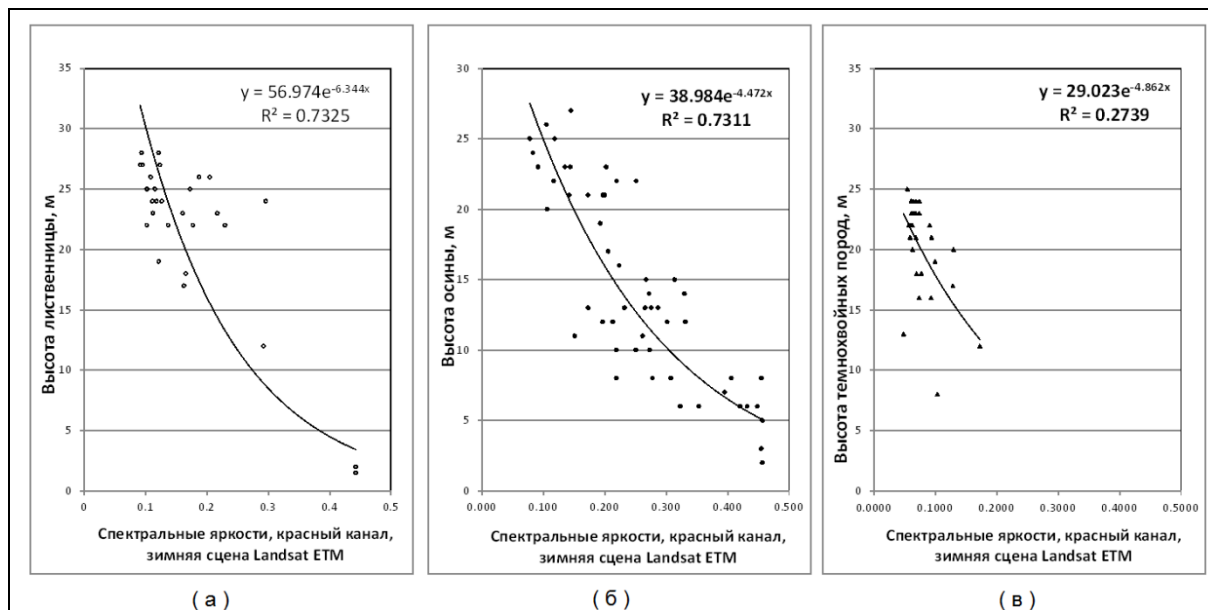


Рис. 2. Зависимость спектральной яркости красного канала Landsat ETM+ и высот древесных пород (м) для лиственницы (а), осины (б) и темнохвойных пород (в)

Коэффициенты уравнений регрессии могут использоваться для пересчета значений спектральной яркости спутникового изображения в запасы стволовой древесины или в высоты. Проверка соответствия пересчитанных запасов лиственницы с таксационными данными показала хороший уровень сходимости результатов (рис.4а).

Для оценки точности определения запаса лиственницы, была построена зависимость среднего отклонения запаса, рассчитанного по спутниковым изображениям Landsat, от ее фактического значения по данным таксации (рис.4б).

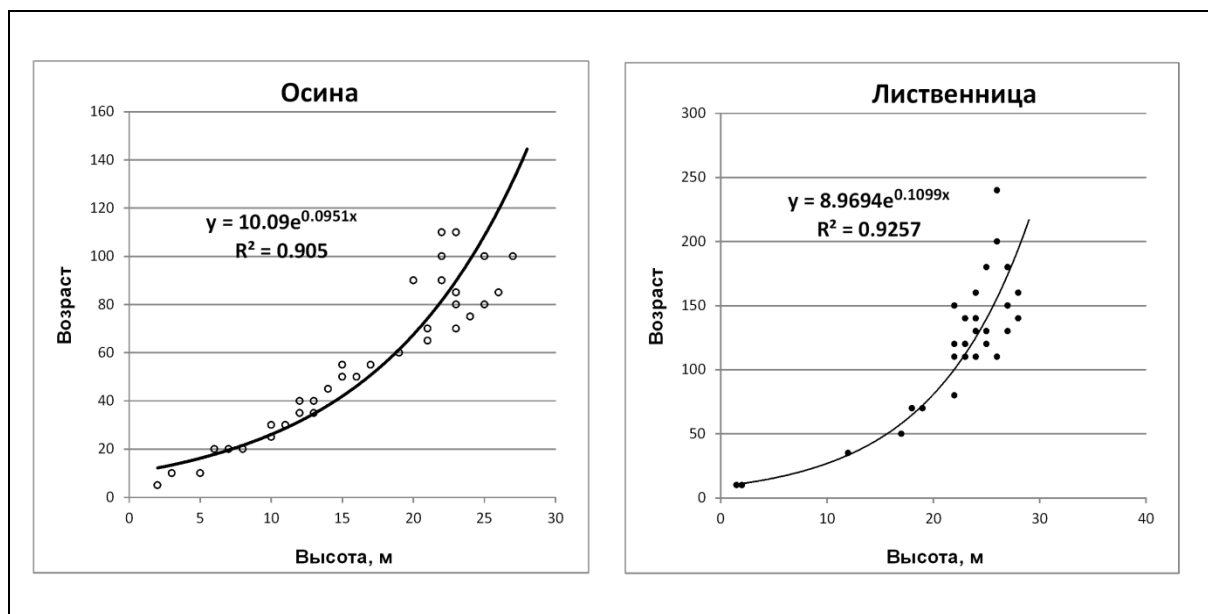


Рис. 3. Взаимосвязь возраста и высоты в насаждениях тестового участка

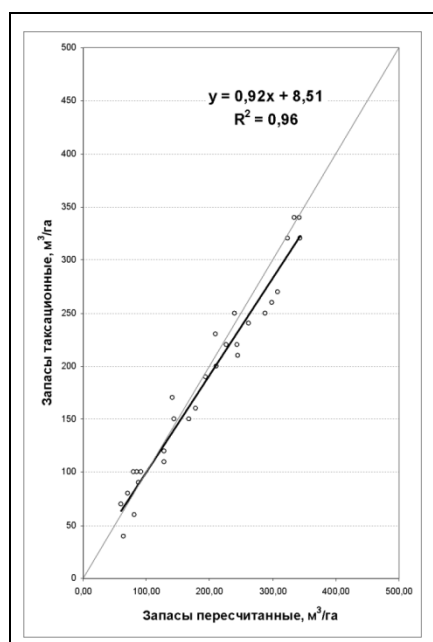


Рис. 4а. Проверка соответствия запасов пересчитанных запасам таксационным для лиственницы

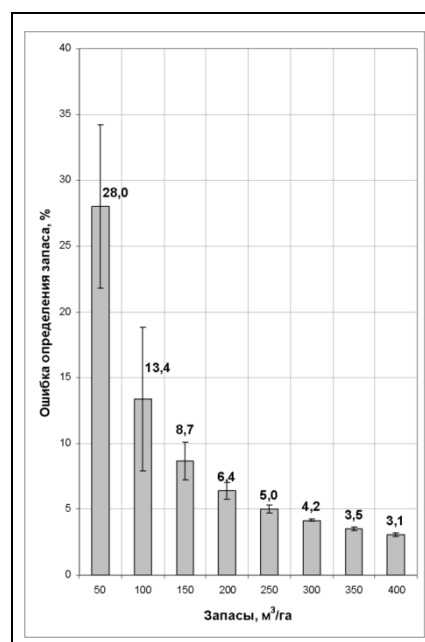


Рис. 4б. Относительная средняя ошибка оценки запасов лиственницы

Полученная зависимость показывает, что при малых значениях запасов (до 50 м³/га) насаждения ошибка составляет 28%±6,2%, что может характеризовать предельные возможности красного канала съемочной системы. Оценка запасов от 50 до 100 м³/га производится с ошибкой 13,4% ±5,4%. Точность определения запасов лиственницы в диапазоне от 100 до 150 м³/га по данным Landsat составляет 8,7%±1,4%. Для запасов более 150 м³/га ошибка не превышает 7%. Таким образом, оценка запасов стволовой древесины лиственных пород и лиственницы от 100 м³/га и выше может проводиться с ошибкой не более 20% по оптическим спутниковым системам в сочетании с данными наземных обследований или материалов лесоустройства. Предпочтительным при этом является использование красного канала спутникового изображения Landsat, полученного до начала таяния снежного покрова. Аналогичные оценки точности проводятся в настоящее время и для возрастной структуры этих пород с целью оценить уровень точности метода и информативность спутниковых данных. Результаты будут приведены в докладе авторов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сочилова Е.Н., Ершов Д.В. Анализ возможности определения запасов древесных пород по спутниковым данным Landsat ETM+ // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т.9. № 3. С.277-282.
2. Jakubauskas M.E., Price K.P., 1997. Empirical relationships between structural and spectral factors of Yellowstone lodgepole pine forests // Photogr. Eng. Remote Sen. 63 (12). P. 1375–1381.
3. Foody G.M., Boyd D.S., Cutler M.J., 2003. Predictive relations of tropical forest biomass from Landsat TM data and their transferability between regions // Remote Sens. Environ. 85. P. 463–474.
4. Franklin J., 1986. Thematic mapper analysis of coniferous forest structure and composition // Int. J. Remote Sens. 7 (10). P. 1287–1301.
5. Roy P.S., Ravan S.A., 1996. Biomass estimation using satellite remote sensing data: an investigation on possible approaches for natural forest // J. Biosc. 21 (4). P. 535–561.

POSSIBILITY ANALYSIS OF VALUES OF TAXATION INDICATORS OF FORESTS ASSESSMENT USING LANDSAT ETM DATA AND FOREST INVENTORY DATA

E. N. SOCHILOVA, D.V. ERSHOV

Center for forest ecology and productivity RAS

We studied the Landsat data using possibilities for stem volume assessment, height and age of such species as larch and aspen. Analysis of relationship was based on correlation definition between forest specie reflectance in a red band of the winter imagery and its stem volume, height and age, derived from forest inventory data.

МЕТОД ОЦЕНКИ СТЕПЕНИ ПОВРЕЖДЕНИЯ ЛЕСОВ ПОЖАРАМИ ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ MODIS

Ф.В. СТЫЦЕНКО, С.А. БАРТАЛЕВ, В.А. ЕГОРОВ, Е.А. ЛУПЯН

Институт космических исследований РАН

В работе представлен метод дистанционной оценки состояния поврежденных пожарам лесов на основе временных рядов спутниковых данных MODIS. В качестве показателя, характеризующего повреждения лесов используется величина, нормированного отклонения постпожарных значений коротковолнового вегетационного индекса от его среднегодовой нормы, полученной на основе спутниковых данных за ряд предшествующих пожару лет. Наличие установленных на основе совместного анализа наземных и спутниковых данных регрессионных зависимостей позволяет оценить средневзвешенную категорию состояния лесов, в качестве характеристики степени повреждения лесов пожарами. Метод позволил произвести оценку последствий воздействия пожаров 2006-2012 года на леса России.

Леса, являясь важным компонентом наземных экосистем, регулярно подвергаются воздействию возмущающих факторов, приводящих к изменениям их характеристик или гибели. К числу наиболее мощных факторов деструктивного воздействия на леса относятся пожары. К настоящему времени данные спутниковых наблюдений активно используются для картографирования поврежденных пожарами территорий, с использованием методов, основанных на выявлении участков, характеризующихся аномально высокой радиояркостной температурой и/или изменениями отражательной способности земной поверхности (Барталев С.А. и др., 2012). Однако использование указанных методов не позволяет получать информацию о степени повреждения лесных экосистем в результате воздействия огня. При этом диапазон возможных последствий воздействия пожаров на лесные экосистемы варьирует в широких пределах - от незначительных кратковременных изменений до полной гибели древостоев. Основным источником информации о

последствиях лесных пожаров в настоящее время являются данные, собранные в ходе наземных лесопатологических обследований, часто сопровождающихся закладкой пробных площадей с определением характеристик состояния насаждений (Руководство..., 2007). При этом показатели состояния насаждений определяются по ряду визуальных признаков, характеризующих дефолиацию и дехромацию крон деревьев. К числу, часто используемых показателей такого рода относится средневзвешенная категория состояния насаждений (СКС). Очевидно, что оценка состояния лесов таким методом требует больших затрат, может быть выполнена лишь выборочно и не позволяет регулярно получать информацию о повреждениях лесов пожарами в масштабах страны.

Вызванное воздействием огня снижение содержание хлорофилла и влажности приводит к снижению отражательной способности в видимой и ближней инфракрасной областях спектра, а также увеличению отражательной способности в средней инфракрасной области (White J.D. et al., 1996). Данные изменения могут детектироваться на основе спутниковых измерений, что дает принципиальную возможность выполнять оценку последствия лесных пожаров дистанционными методами. Спектрорадиометр Terra-MODIS обеспечивает глобальный охват территории при ежедневной периодичности спутниковых наблюдений с пространственным разрешением 250 м и 500 м в различных спектральных каналах видимого, ближнего и среднего ИК диапазонов. Для оценки повреждений лесов пожарами используется ежедневный стандартный продукт MOD09, содержащий, в частности, данные измерений отражательной способности в ближнем (858 нм) и среднем (1640 нм) ИК каналах. Выполняемая на этапе подготовки данных MODIS их предварительная обработка направлена на детектирование участков облаков, их теней, а также снежного покрова (Барталев С.А. и др., 2012). В качестве основных индикаторов состояния леса методом предусмотрено использование коротковолнового вегетационного индекса SWVI (Ceccato P. et al., 2001), а также рассчитанного на его основе относительного разностного индекса RdSWVI (Miller J.D., Thode A.E., 2007; Барталев С.А. и др., 2010):

$$SWVI = \frac{R_{nir} - R_{swir}}{R_{nir} + R_{swir}}$$

где R_{nir} и R_{swir} - значения коэффициента отражения подстилающей поверхности, измеренные в ближнем и среднем ИК каналах соответственно.

$$RdSWVI = \frac{SWVI_{pre} - SWVI_{post}}{\sqrt{SWVI_{pre} + 1}}$$

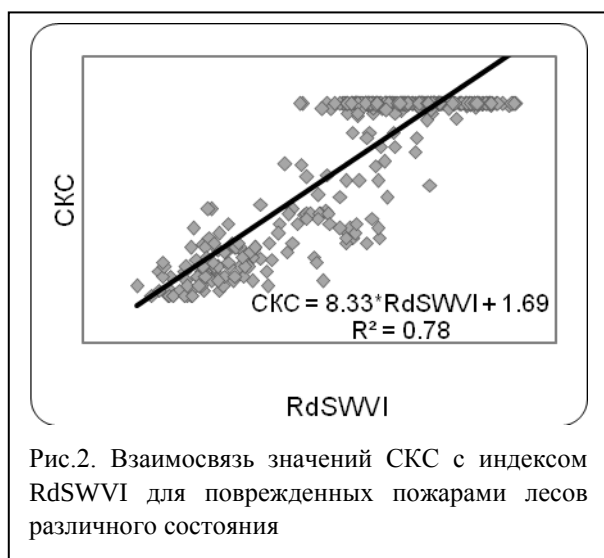
где $SWVI_{pre}$ и $SWVI_{post}$ – значения индекса в моменты предшествующие пожару, и последующие за пожаром соответственно.

Очищенные от влияния мешающих факторов данные ежедневных измерений в ближнем и среднем ИК каналах используются для формирования временных серий SWVI с последующим восстановлением пропущенных значений и фильтрацией шумов (Лупян Е.А. и др., 2011). Полученные временные серии SWVI, а также построенные на их основе многолетние статистические нормы служат основой для оценки степени повреждения лесов пожарами. В качестве вспомогательных данных метод предполагает также использование результатов выявления пройденных огнем площадей (Барталев С.А. и др., 2012) и карты растительного покрова России ((Барталев С.А. и др., 2011). Комбинированное использование указанных данных позволяет выявлять участки затронутых пожарами лесов для оценки степени их повреждения.

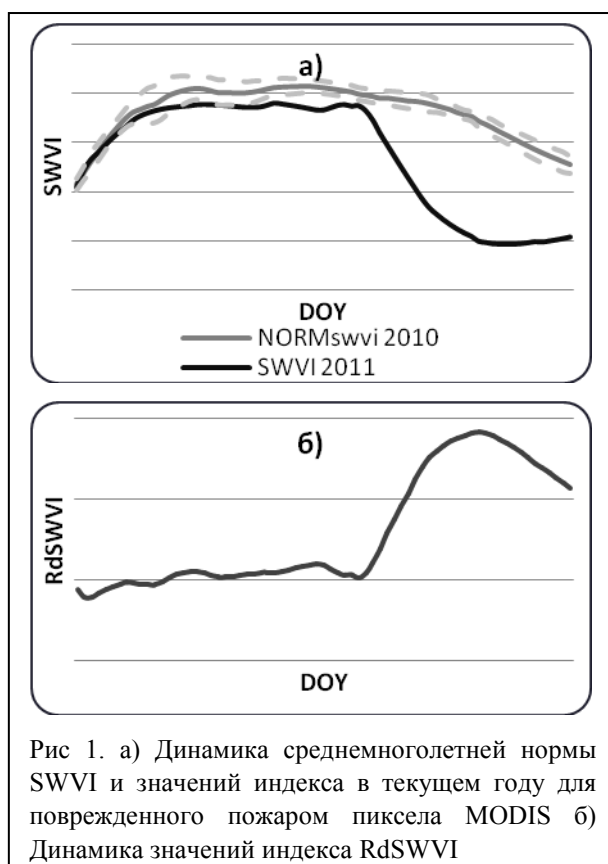
По сравнению с рядом других спектрально-временных вегетационных индексов RdSWVI обладает преимуществами по точности оценки степени повреждения лесов и уровню пространственно-временной инвариантности получаемых оценок в условиях изменяющихся типов и сезонной динамики биофизических характеристик лесов (Miller J.D., Thode A.E., 2007). Выполненные экспериментальные исследования на примере пожаров в Восточной Сибири (Барталев С.А. и др., 2010) подтвердили преимущества использования RdSWVI для оценки степени повреждения лесов. Разработанный метод оценки степени повреждения лесов основан на использовании всех доступных начиная с даты выявления пожара измерений SWVI в сравнении со среднееголетними значениями индекса в соответствующий день года.

На рисунке 1 представлен пример динамики средней многолетней нормы индекса и его значений в текущем году для поврежденного пожаром пиксела, а также рассчитанного на их основе индекса RdSWVI. Значения последнего достаточно стабильны до наступления пожара, после которого начинается рост значений RdSWVI за счет падения значений индекса SWVI в текущем году, вызванного снижением влагосодержания и концентрации хлорофилла.

Метод включает нахождение максимума RdSWVI за вегетационный сезон после даты обнаружения пожара с последующим пересчетом в значения СКК. При этом, в качестве возможных допускаются только сценарии неизменности или дальнейшего повышения степени усыхания древостоя в период после пожара до конца вегетационного сезона. Для расчета СКК на основе значений индекса RdSWVI используется регрессионное уравнение, полученное на основе выборочных наземных данных (рис 2).



пожары 2012 года привели к гибели лесов на площади 3.4 млн. га, что составило около 34% пройденной огнем площади.



Результаты работы метода представляются в виде карты повреждений лесов пожарами с выделением следующих классов древостоев:

- слабоповрежденные/ослабленные ($СКК \leq 2.5$);
- сильно ослабленные ($2.5 < СКК \leq 3.5$);
- усыхающие ($3.5 < СКК \leq 4.5$);
- погибшие ($СКК > 4.5$).

Метод позволяет автоматически оценивать степень повреждения лесов в течении пожароопасного сезона с задержкой в 60 дней. Метод был использован для оценки степени повреждения лесов России пожарами в период 2006-2012 годов. В частности, полученные результаты показывают, что к

Представленные в работе результаты получены при поддержке Министерства образования и науки РФ (Государственный контракт № 14.515.11.0007 на выполнение НИР по теме «Разработка методов дистанционного мониторинга природных пожаров для оценки их воздействия на окружающую среду и прогнозирования техногенных рисков» - Шифр: 2013-1.5-14-515-0039-021)

ЛИТЕРАТУРА

1. Барталев С.А., Егоров В.А., Еришов Д.В., Исаев А.С., Лупян Е.А., Плотников Д.Е., Уваров И.А. Спутниковое картографирование растительного покрова России по данным спектрорадиометра MODIS // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2011. Т.8. № 4. С.285-302.
2. Барталев С.А., Егоров В.А., Ефремов В.Ю., Лупян Е.А., Стыценко Ф.В., Флитман Е.В. Оценка площади пожаров на основе комплексирования спутниковых данных различного пространственного разрешения MODIS и Landsat-TM/ETM+ // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2012. Т. 9. № 2. С.9-27.
3. Барталев С.А., Егоров В.А., Крылов А.М., Стыценко Ф.В., Ховратович Т.С. Исследование возможностей оценки состояния поврежденных пожарами лесов по данным многоспектральных спутниковых измерений // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2010. Т.7. № 3. С.215-225.
4. Лупян Е.А., Савин И.Ю., Барталев С.А., Толпин В.А., Балашов И.В., Плотников Д.Е. Спутниковый сервис мониторинга состояния растительности ("Вега") // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2011. Т.8. № 1. С.190-198.
5. Руководство по проведению санитарно-оздоровительных мероприятий, утвержденные приказом Рослесхоза №523 от 29.12.07.
6. Ceccato P., Flasse S., Tarantola S., Jacquemond S., Gregoire J. Detecting vegetation water content using reflectance in the optical domain // Remote Sensing of Environment, 77, 2001, pp. 22–33.
7. Miller J.D., Thode A.E. Quantifying burn severity in a heterogeneous landscape with a relative version of the delta Normalized Burn Ratio (dNBR) // Remote Sensing of Environment 109, 2007, pp 66–80.
8. White, J.D., K.C. Ryan, C.C. Key, S.W. Running . Remote sensing of forest fire severity and vegetation recovery.// International Journal of Wildland Fire. 6, 1996, pp. 125-136.

POST-FIRE FOREST TREE MORTALITY ASSESSMENT METHOD USING MODIS SATELLITE DATA

F.V. STYTSENKO, S.A. BARTALEV, V.A. EGOROV, E.A. LOUPIAN

Space Research Institute RAS

The study focused on post-fire tree mortality assessment in Russian forests using MODIS data. The method is based on relationship between in-situ and satellite data in near-infra-red (NIR) and short-wave-infra-red (SWIR) ranges of optical spectrum. Method allows post-fire forest dynamics assessment during given vegetation season in comparison to pre-fire multi-annual data. Method was used for fire-caused tree mortality assessment across entire country for years 2006-2012.

ИССЛЕДОВАНИЕ СВЯЗИ МЕЖДУ БИОМЕТРИЧЕСКИМИ ПОКАЗАТЕЛЯМИ ЛЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ БЕЛГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ И ИХ СПЕКТРАЛЬНЫМИ ОТРАЖАТЕЛЬНЫМИ СВОЙСТВАМИ

Э.А. ТЕРЕХИН

**Белгородский государственный национальный исследовательский университет,
Федеральный региональный центр аэрокосмического и наземного мониторинга объектов и
природных ресурсов**

Приведены результаты анализа связи между биометрическими параметрами лесных насаждений Белгородской области с их спектральными отражательными свойствами, выраженными коэффициентами спектральной яркости и спектральными вегетационными индексами. Спектральные отражательные свойства лесных насаждений оценены по материалам космической съемки со спутника Landsat TM.

Одним из перспективных направлений использования спутниковой информации в лесоведении и лесном хозяйстве является совершенствование методов лесного дешифрирования, связанное с моделированием биометрических (таксационных) и дешифровочных характеристик лесов (Сухих, 2008). Развитие данного направления целесообразно проводить для регионов, характеризующихся преобладанием особо ценных лесных пород. Территория Белгородской области основной частью расположена в зоне лесостепи и для нее характерна невысокая лесистость, составляющая 8,3% (Авраменко, 2008). В тоже время более 70% ее лесопокрытых площадей занимает дуб черешчатый, являющийся особо ценной лесной породой, что обуславливает актуальность проведения исследований, связанных с дистанционной оценкой параметров лесов региона. Исследования связи параметров насаждений с их спектральными свойствами показывают влияние не нее породного состава насаждений (Eklundh, 2001; Kajisa, 2009), что определяет актуальность исследований для лесов различного породного состава.

Достоверная количественная оценка связи между таксационными параметрами лесных насаждений и их спектральными отражательными свойствами требует анализа значительного объема информации о параметрах лесных насаждений и соответствующих им спектральных показателей. Под спектральными показателями подразумеваются коэффициенты спектральной яркости, либо вегетационные индексы, рассчитываемые на их основе. В выполненном исследовании из параметров лесных насаждений были исследованы возраст, высота и диаметр стволов, т.е. наиболее важные лесоустроительные характеристики.

Объектом исследования выступали лесные массивы, расположенные в разных частях Белгородской области, аналогичные по совокупности условий произрастания и параметрам насаждений. Общая площадь исследуемых лесных массивов составила около 7000 га. Для получения информации о параметрах насаждений за основу были взяты данные последнего лесоустройства области, проводившегося в 1995 г. На все лесные массивы были получены лесоустроительные карты с границами кварталов и выделов. Все карты были отсканированы, географически привязаны и оцифрованы, после чего было выполнено заполнение полной атрибутивной информации о параметрах насаждений для каждого выдела, общее число которых составило 1492. Значительное суммарное количество таксационных выделов позволило создать репрезентативную выборку из выделов насаждений, отвечающую группе критериев, которые нами были установлены для достоверной оценки влияния параметров лесных массивов на спектральную отражательную способность древостоев:

- минимальная площадь выдела, по которой, исходя из пространственного разрешения снимка, можно проводить достоверную оценку спектральных характеристик – 2 га, установлена экспериментально;
- тип условий местности – дубрава свежая, наиболее характерный тип сочетания условий увлажнения и почвенных характеристик для лесов Белгородской области;
- доминирующая порода в древостое – дуб нагорный высокоствольный.

На основе приведенных критериев из 1492 выделов было отобрано 486, полностью удовлетворяющих всем критериям. Информация о возрасте, высоте и диаметре стволов насаждений с них послужила основой для анализа. Для эффективности обработки выборка по установленным критериям была осуществлена в геоинформационной системе ArcGIS автоматизированным способом.

Спектральные характеристики лесных массивов были получены из материалов съемки Landsat TM, выполненной в год проведения лесоустройства. Дата получения снимка – 25 августа 1995 г., при этом он охватывал территорию всех анализируемых лесных массивов (координаты в системе WRS-2: Path 177, Row 25). Для снимка была проведена атмосферная и радиометрическая корректировка с переводом сырых значений яркости в спектральные коэффициенты отражения. Для создания массива данных о спектральных характеристиках древостоев в каждом выделе полученной выборки таксационных выделов были получены усредненные значения спектральных показателей, в качестве которых применяли значения коэффициентов спектральной яркости (КСЯ) среднего инфракрасного диапазона (1.55-1.75

мкм) и значения 1-й (яркостной) компоненты преобразований Tasseled Cap (TK1). Применение перечисленных спектральных характеристик для анализа параметров лесных насаждений обусловлено их более высокой информативностью по сравнению с другими, чтобы было установлено в ходе специально проведенных исследований (Терехин, 2012). Оба спектральных показателя являются безразмерными величинами. Таким образом, был получен массив данных для количественной оценки связи биометрических параметров насаждений и их спектральных отражательных свойств, обобщенные характеристики которых приведены в таблице 1.

Таблица 1. Основные характеристики анализируемых лесных насаждений

Класс возраста	Количество выделов	Средний возраст выделов, лет	Средняя высота выделов, м	Значение КСЯ 5-го канала	Значение TK1
1	38	9	12.6	0.150	10.699
2	74	35	13.5	0.127	10.674
3	143	53	19.4	0.124	10.665
4	177	71	23.0	0.118	10.651
5	54	86	25	0.114	10.642

*Класс возраста равен 20 годам.

Исследование связи между биометрическими параметрами насаждений и их спектральными свойствами включало оценку динамики спектральных характеристик в зависимости от изменения возраста и высоты насаждений. Графическая оценка показала обратную зависимость между возрастом, высотой насаждений и показаниями обоих спектральных характеристик (табл. 1, рис. 1,2). Из таблицы 1 и рисунков видно, что по мере роста возраста и высоты насаждений прослеживается тенденция уменьшения абсолютных значений спектральных показателей.

Наиболее интенсивное снижение отражательной способности в среднем инфракрасном диапазоне характерно после превышения насаждениями возраста в 20 лет.

После этого снижение продолжает происходить, но более низкими темпами, хотя и

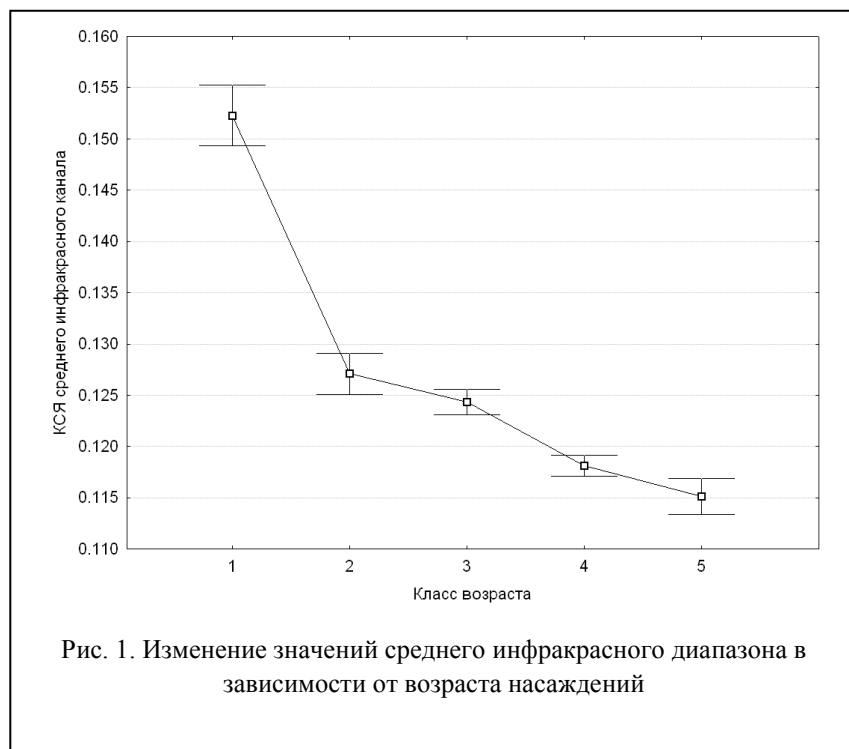


Рис. 1. Изменение значений среднего инфракрасного диапазона в зависимости от возраста насаждений

продолжается до 100-летнего возраста древостоев. Аналогичная ситуация наблюдается при увеличении высоты насаждений. Из рисунка 2 видно, что активное снижение отражательной способности происходит до достижения насаждением высоты 10 м, после чего снижение отражательной способности продолжается, но, как и в случае с возрастом, происходит более медленными темпами (рис. 2). Необходимо отметить, что аналогичная ситуация характерна и для яркостной компоненты преобразований Tasseled Cap, снижение значений которой происходит

по мере увеличения возраста и высоты насаждений. Снижение значений отражательных

характеристик, по всей видимости, обусловлено огрублением растительных тканей по мере роста деревьев, и различной отражательной способностью листвы молодых и взрослых насаждений. Достоверное влияние возраста и высоты насаждений на их отражательную способность дает основание для количественной оценки связи между биометрическо-таксационными параметрами насаждений и их спектральными отражательными свойствами. Результаты линейной и нелинейной регрессии показали приблизительно одинаковую описательную точность уравнений, вычисленных обоими способами. Об этом также свидетельствуют коэффициенты корреляции между параметрами насаждений и спектральными признаками (табл. 2). В анализе участвовали исходные спектральные показатели и трансформированные по методу различных преобразований.

Таблица 2. Коэффициенты корреляции между параметрами насаждений и спектральными признаками

Таксационный параметр	Спектральный показатель	Коэффициент корреляции*	Спектральный показатель	Коэффициент корреляции*
Возраст	TM5	-0.740	TK1	-0.691
	TM5 ²	-0.740	TK1 ²	-0.691
	TM5 ³	-0.736	TK1 ³	-0.691
	SQR TM5	-0.738	SQR TK1	-0.691
	LN TM5	-0.736	LN TK1	-0.691
	LOG TM5	-0.736	LOG TK1	-0.691
Высота	TM5	-0.731	TK1	-0.698
	TM5 ²	-0.739	TK1 ²	-0.699
	TM5 ³	-0.743	TK1 ³	-0.699
	SQR TM5	-0.726	SQR TK1	-0.698
	LN TM5	-0.719	LN TK1	-0.698
	LOG TM5	-0.719	LOG TK1	-0.698

*уровень значимости – 0.05, TM5 – коэффициенты спектральной яркости среднего инфракрасного диапазона, TK1 – значения яркостной компоненты преобразований Tasseled Cap.

Анализ коэффициентов корреляции показал, что нелинейные преобразования не повышают точность оценки связи между параметрами насаждений и их спектральными отражательными свойствами, т.е. линейное и нелинейное описание связи между биометрическими параметрами лесных массивов и их спектральными свойствами характеризуются приблизительно равной точностью.

Исследование выполнено при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, соглашение № 14.A18.21.1151 от 14.09.2012 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Авраменко П. М. Акулов П. Г., Атанов Ю. Г. и др // Природные ресурсы и окружающая среда Белгородской области.; под. ред. С. В. Лукина. Белгород, 2007. 556 с.
2. Сухих В.И. Основные направления развития дистанционных методов изучения лесов и оценки их состояния в России // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2008. Т.5, №2. С.352-357.
3. Терехин Э.А. Анализ каналов спутниковых данных LANDSAT TM для оценки характеристик лесных насаждений Лесостепной провинции Среднерусской возвышенности // Исследования Земли из космоса. 2012. №2. С. 53-61.
4. Eklundh L., Harrie L., Kuusk A Investigating relationships between Landsat ETM+ sensor data and leaf area index in a boreal conifer forest // Remote Sensing of Environment. 2001. V. 78, №3. P. 239-251.
5. Kajisa T., Murakami, T., Mizoue N., Top N., Yoshida S. Object-based forest biomass estimation using Landsat ETM+ in Kampong Thom Province, Cambodia // Journal of Forest Research. V. 14. 2009. P. 203–211.

RESEARCH RELATIONSHIP BETWEEN PARAMETERS OF FOREST STANDS BELGOROD REGION AND THE REFLECTIVE PROPERTIES OF THEIR SPECTRAL ON BASE REMOTE SENSING DATA

E.A. TEREKHIN

Belgorod State University, Federal And Regional Centre For Aerospace Monitoring Of Natural Resources

The results of the analysis of the relationship between the biometric parameters of forest stands of the Belgorod region, with their spectral reflectance properties expressed coefficients of spectral brightness and spectral vegetation index. Spectral reflectance properties of forest stands has been estimated based on satellite imagery from the satellite Landsat TM.

ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗЛИЧНЫХ АЛГОРИТМОВ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАБОЛОЧЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ НА ПРИМЕРЕ СМОЛЕНСКОГО ПООЗЕРЬЯ

Е.М. ТРИФОНОВА¹, В.Р. ХОХРЯКОВ²

¹ОАО НПК «Рекод»

²«Национальный парк «Смоленское Поозерье»

В работе проведена оценка использования некоторых алгоритмов автоматизированного определения болот и заболоченных территорий национального парка Смоленское Поозерье по снимкам с космического аппарата RapidEye.

Сведений о состоянии водно-болотных угодий пограничной с Беларусью территории Смоленской области немного. Отдельные наиболее крупные болота были обследованы в довоенные годы. Но в основном их детальную разведку проводили в послевоенные годы вплоть до конца 1980-х гг. Осуществляла эти работы Смоленская партия по разведке торфяных месторождений института «Гипроторфразведка». В основном были обследованы торфяники площадью более 100 га. Небольшие болота практически никогда не обследовали. Обследования болот области, в том числе и в пределах пограничной территории, проводили в основном с целью использования их для добычи торфа. Сведения о растительности болот были поверхностными. Не определяли функции торфяников, которые они выполняли в естественном состоянии или могли выполнять в перспективе. Одностороннее изучение болот не позволило выявить их природоохранные функции, что привело к нерациональному использованию многих из них и особенно – верховых торфяников, выполняющих важные водоохранные функции. В настоящее время исследований водно-болотных угодий на территории области не проводят.

С 2008 года ОАО «НПК «РЕКОД» и национальный парк «Смоленское Поозерье» реализуют совместный проект под кодовым названием «Космический парк» по созданию типовой системы мониторинга и управления ООПТ РФ. Главной целью данного проекта является создание базовых элементов навигационно-информационной системы мониторинга, управления природопользованием и создания условий для экологического туризма на особо охраняемых природных территориях с использованием результатов космической деятельности. На платформе российской разработки создан большой архив пространственных данных, проведены аэрофотосъемка, подобран и закуплен комплект космоснимков с разрешения от 20 м (Landsat-5) до 0,5 м (GeoEye-1) территорию парка. Необходимость инвентаризации водно-болотных угодий и их труднодоступность послужили толчком для выполнения работ по картированию болот на территории национального парка. В качестве исходных данных при отработке методик выявления заболоченных участков

«Смоленского Поозерья» использовались снимки RapidEye за 16 июля 2010 г. и 27 июля 2011 года.

Работа включала следующие этапы:

- Отбор снимков за летний период.
- Атмосферная коррекция.
- Расчет вегетационного индекса:

Индекс NDVI = $(\text{NIR} - \text{RED}) / (\text{NIR} + \text{RED})$

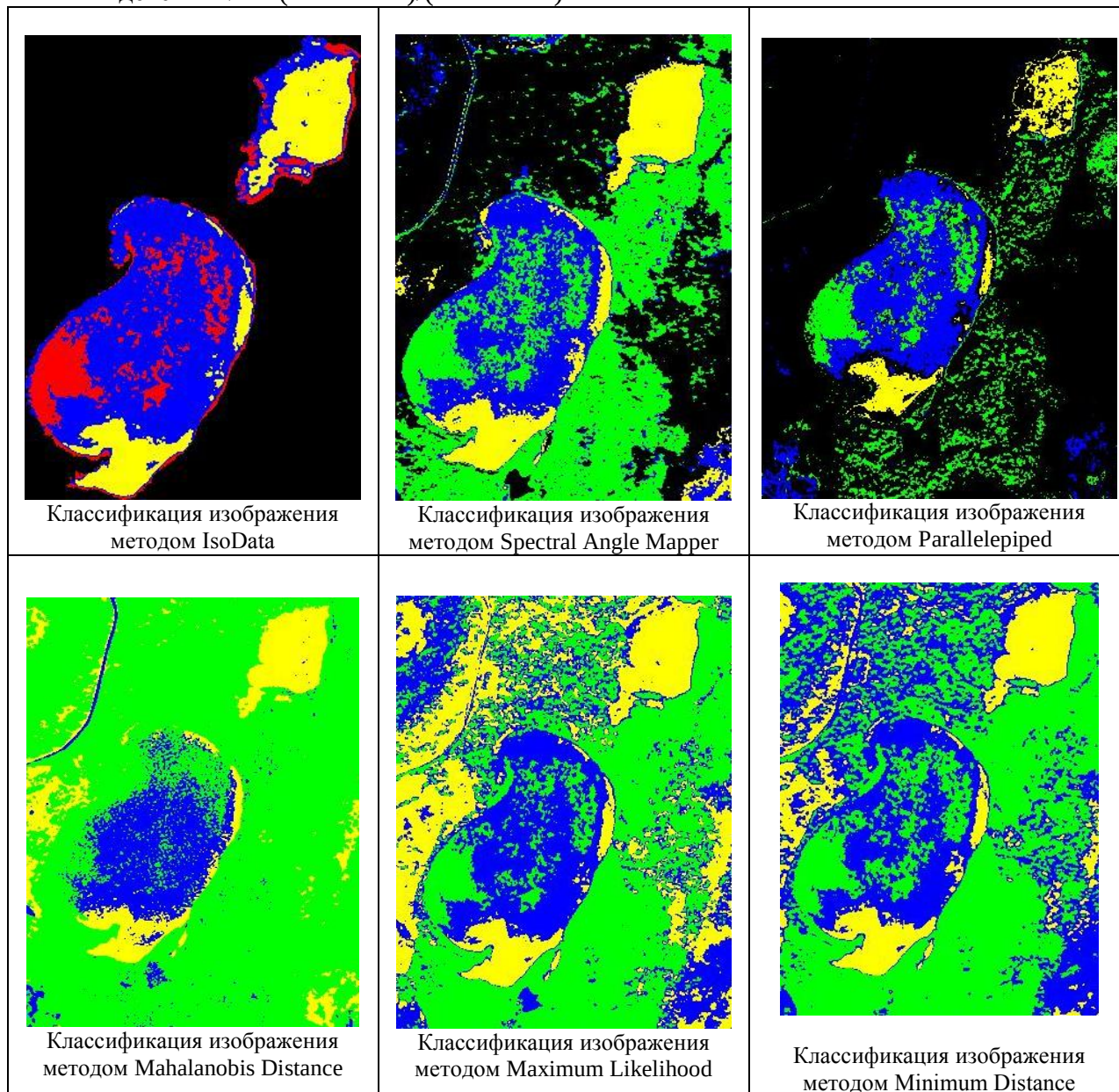


Рис. 1. Результаты классификации снимка КА RapidEye

Болото выделяется как участок с положительными значениями индекса NDVI, лежащим в диапазоне от 0,1 до 0,3, на участках активной вегетации – до 0,5. Для верховых болот наиболее характерны значений в диапазоне от 0,1 до 0,2.

- Классификация методами IsoData, способом параллелепипедов (Parallelepiped), алгоритмом минимального спектрального расстояния (Minimum Distance), алгоритмом расстояния Махаланобиса (Mahalanobis Distance), способом максимального правдоподобия (Maximum Likelihood), классификация с помощью метода спектральной корреляции (Spectral Angle Mapper) и постклассификационная обработка.

- Сравнение полученных данных с результатами наземных исследований.

Сначала производилось выявление потенциальных участков верховых болот. Для этого рассчитывался индекс NDVI и, на основе участков со значением индекса в пределах 0,1 – 0,2, создается маска предполагаемых болот, в пределах которой осуществляется неконтролируемая классификация изображения методом Isodata, разбивающая анализируемую область на 10 классов. Как правило, на верховых болотах получается выделить 3 наиболее значимых класса – лес на болоте, осоково-сфагновое болото и обводненные участки, покрытые ряской. На третьем этапе в пределах полигонов каждого класса болот выделялась обучающая эталонная выборка около 50 пикселей, затем проводилась контролируемая классификация всего снимка.

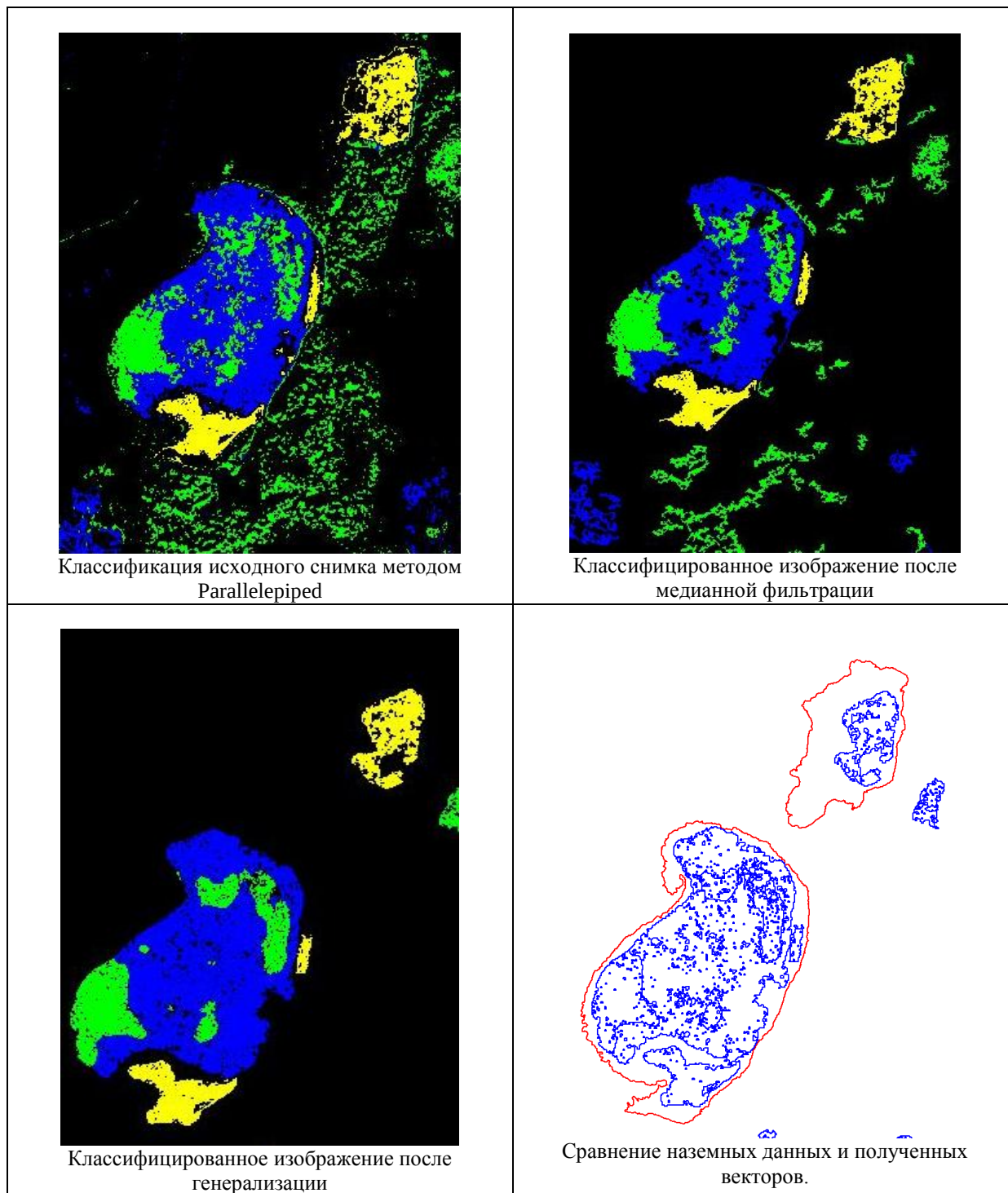


Рис. 2. Результаты постклассификационной обработки

Лучшие результаты классификации, на наш взгляд, были получены при обработке изображения методом Parallelepiped (рис.1). Поэтому эти данные подверглись медианной фильтрации, а результаты обработки – генерализации полигонов по минимальному заданному размеру обучающей выборки. Это позволило исключить из дальнейшего анализа объекты, размер которых не является значимым. Несовпадение полученных контуров болот объясняется несколькими причинами: наличием участков водной поверхности, покрытых ряской, находящейся в активной вегетации; труднодоступность границ болот для оператора с GPS-приемником, необходимостью более тонко выбирать настройки для медианной фильтрации и генерализации. В дальнейшем мы собираемся улучшить методику постобработки результатов классификации.

Сравнение полученных результатов с данными наземных исследований, проведенных на территории Национального парка в 2012 году (рис.2), позволяют говорить о достаточной надежности метода для автоматизированного определения местонахождения верховых болот и их векторизации после отработки механизма постклассификации.

В результате проведенной работы показано, что для автоматизированного выявления болот наиболее удобным методом контролируемой классификации после предварительной обработки являются метод параллелепипедов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кондратьев К.Я., Федченко П.П. Спектральная отражательная способность и распознавание растительности. – Л.: Гидрометеиздат, 1982. С. 216.
2. Рачулик В.И., Ситникова М.В. Отражательные свойства и состояние растительного покрова. – Л.: Гидрометеиздат, 1981. С. 288.
3. Характеристики фонов, фоновых сюжетов, материалов, атмосферы. СПб.: НИЦ-2 4 ЦНИИ МО РФ, 2000. С. 126.
4. Шкалик В. А. Обзор современного состояния водно-болотных угодий Смоленской области на границе Российской Федерации с Беларусью. 2004, С. 43
5. Шкалик В. А., Кошевой В. А. Классификация болот Смоленской области. Динамика природных процессов и проблем комплексного рационального использования естественных ресурсов юго-западного Нечерноземья. Смоленск. 1983, С. 68-88.

INVESTIGATION OF DIFFERENT AUTOMATIC ALGORITHMS OF WETLANDS DEFINITION ON THE EXAMPLE OF SMOLENSK

E.M. TRIFONOVA¹, V.R. KHOKHRYKOV²

¹ PLC SPC "REKOD"

² FSBI "National Park" Smolensk Lakeland "

The research carries out the assessment of using some automatic bogs and wetlands determination procedures in Smolensk Lakeland National Park on the pictures made from the RapidEye spacecraft.

АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ЛЕСОВ НА ОСНОВЕ ДИСТАНЦИОННО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ ВЫДЕЛОВ СРЕДСТВАМИ ОПТИЧЕСКИХ И РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ДАННЫХ ДЗЗ

М.В. ЧЕРЕМИСИН, В.Д. БУРКОВ

ВПО «МГУЛ»

В настоящей статье анализируются существующие принципы работы с данными ДЗЗ при мониторинге лесов. Определяются основные ограничения при их использовании. Предлагается метод мониторинга на основе дистанционно-ориентированных выделов (ДОВ) объединяющий разносенсорные данные оптических и СВЧ данных. Описывается вариант применения метода на тестовом полигоне ОЛХ «Русский лес». Рассматривается вариант программной реализации предложенного подхода.

В вопросах изучения лесов на сегодня особое значение занимают информационные мониторинговые системы глобального или регионального действия, основным отличием которых является масштаб действия и степень детальности предоставляемой информации. На текущий момент можно выделить два основных подхода одновременного сохранения или даже наращивания информативности таких систем и при этом сокращения объёмов обрабатываемой и хранимой информации на ГИС-серверах. Первый подход предполагает оптимизацию каналов ДЗЗ приборов, целевая информация которых представляет наибольший интерес при изучении растительности. Второй подход основан на объектно-ориентированных принципах, при которых анализ и классификация изображений происходят не на уровне пикселей, а на уровне объектов, групп пикселей, объединённых на основе определённой совокупности критериев. На основе второго варианта и исходя из определения лесного выдела в лесоустроительных работах, учёта методов обработки данных ДЗЗ, предлагается создание специально адаптированных для космического мониторинга выделов. Такие выделы предлагается именовать как дистанционно-ориентированные выделы (ДОВ). Их формирование осуществляется по модели отражённой на рисунке 1.

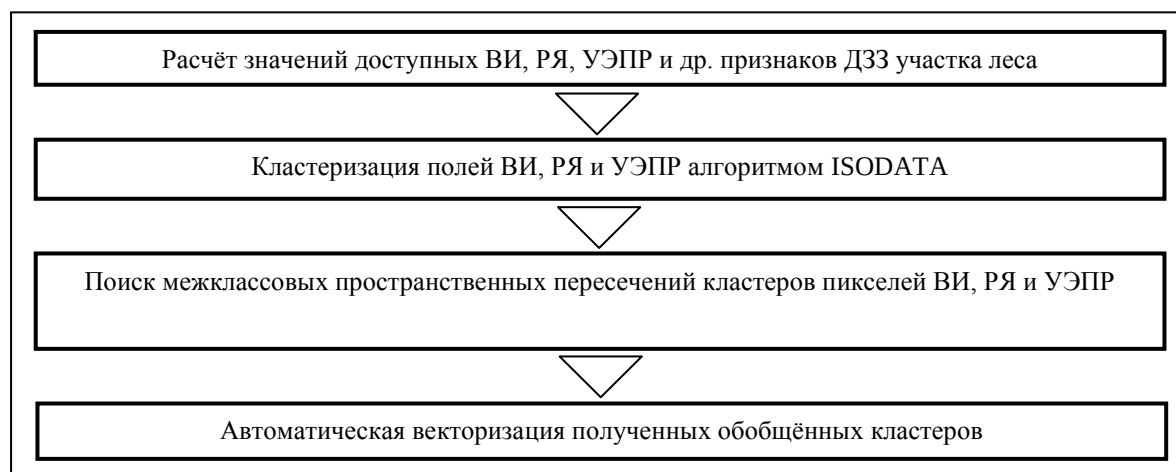


Рис. 1. Модель формирования дистанционно-ориентированных выделов

Они формируются на основе классификации полей значений вегетационных индексов (ВИ), радиояркостных температур (РЯ), удельной эффективной площади рассеивания (УЭПР) и других доступных дистанционных признаков лесного участка без участия эксперта в автоматическом режиме (первый этап).

Процесс объединения однородных групп полей признаков (ВИ, РЯТ, УЭПР) осуществляется на втором этапе с помощью алгоритма кластерного анализа ISODATA.

Таблица 1. Классы признаков формирующие ДОВ

<i>Пиксель (координата)</i>	<i>Класс ВИ1(5)*</i>	<i>Класс ВИ2(4)</i>	<i>.....</i>	<i>Класс УЭПР(4)</i>	<i>Класс РЯТ (4)</i>	<i>Пересечение</i>
54°57'2.67"N, 37°33'26.26"E	2	4		1	3	—
54°53'3.11"N, 37°33'28.46"E	1	1		1	2	3
· ..						
54°53'3.11"N, 37°33'28.46"E	2	1		2	1	2

*Примечание: В скобках обозначено общее число получившихся классов признака в результате кластеризации их значений.

На третьем этапе окончательно сформированные кластеры поля значений ВИ1 запоминаются для поиска пересечений с кластерами полей значений ВИ2, РЯТ и УЭПР, которые формируются аналогично вышеописанной процедуре.

Наполняется таблица классов (табл. 1) признаков (ВИ, РЯТ, УЭПР) для каждого пикселя снимка с поиском их совпадений (пересечений).

Нормировка кластеров различных признаков (формирование общей ранговой шкалы классов) учитывается при непосредственном проведении алгоритма кластеризации ISODATA, однако эвристическое определение некоторых входных параметров алгоритма может привести к несовпадению итогового числа полученных классов. В случае такого несовпадения предусмотрена дополнительная классификация. Кластеры с меньшим числом классов ВИ2(3) проверяются на близость к классам большего ВИ1(5) по показателю дисперсии. Оценка близости выполняется на основании расчёта минимального расстояния r (обычное евклидово расстояние в пространстве значений дисперсий каждого признака). Поочерёдно высчитываются разности дисперсий D по формуле 1, минимальное значение характеризует принадлежность искомого кластера признака ВИ2 к соответствующему классу признака ВИ1.

$$r = \sqrt{\sum_k (D_{ik} - D_{jk})^2}$$

Одновременное совпадение большего числа классов признаков означает их пересечение в пространстве снимка до формирования ДОВ. Формирование ДОВ может быть выполнено после поиска пространственных пересечений большего числа кластеров различных ВИ, однако в этом случае снижается возможность их пересечения для выделения общего участка. В случае отсутствия пространственных пересечений кластеров, ДОВ формируется на основе приоритетного ВИ, который выбирается экспертом.

На заключительном этапе модели формирования ДОВ происходит автоматическая векторизация границ пересечений кластеров. Процесс состоит из двух основных этапов: оконтуривание закрашенных областей с помощью алгоритма «жука» и векторное представление участков ДОВ.

Формирование ДОВ было выполнено на территорию лесного массива тестового полигона ОЛХ «Русский лес» на основе двух вегетационных индексов NDVI и NDII по спутниковому снимку Landsat 7 ETM+ за июль 2010 года и на основе УЭПР радиолокационных данных спутника Alos. В ходе реализации стало понятным, что предложенный способ мониторинга может стать удобным инструментом при многолетнем слежении за изменениями лесов в рамках сформированных дистанционно-ориентированных выделов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абламейко С.В., Лагуновский Д.М. Обработка изображений: технология, методы, применение. Учебное пособие. – Мн.: Амалфея, 2000. – 304 с.
2. Черемисин М.В., Богатырёв В.А., Гусев В.Ф., Рязанцев В.В. Комплексный мониторинг лесов текущими и перспективными средствами ДЗЗ российского сегмента МКС / Материалы 47-х Научных чтений памяти К.Э. Циолковского. Калуга – 2012. – с. 142.
3. Черемисин М.В., Бурков В.Д., Шалаев В.С. Применение методов дистанционного мониторинга в оптическом и СВЧ диапазонах на этапах моделирования лесных экосистем / Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2011. – №3 (79) – с.170-178.

AEROSPACE FOREST MONITORING USING REMOTE-ORIENTED SELECTED MEANS OPTICAL AND RADAR REMOTE SENSING

M.V. CHEREMISIN, V.D. BURKOV

Moscow state forestry university

This article analyzes the current approaches for working with remote sensing data for monitoring forest. Their positive and negative features are discussed. Identifies the major limitations in their use. A method is proposed based monitoring remote-oriented selected (ROS) combining different sensors optical data and microwave data. The option of

applying are described the method to test track "Russian Forest". Considering the option of a software implementation of the approach.

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ КОНТУРНОЕ ДЕШИФРИРОВАНИЕ ЦВЕТНЫХ СИНТЕЗИРОВАННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ С ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА ALOS ПРИ ЛЕСОУСТРОЙСТВЕ

Л.В.ЧЕРНЫХ, Д.В. ЧЕРНЫХ

Поволжский государственный технологический университет

На основе вычислительного эксперимента в среде программного комплекса ENVI выявлен оптимальный алгоритм классификации космических снимков для целей лесоустройства, полученных с космического аппарата Alos. Дана оценка точности контурного автоматизированного дешифрирования по многозональным космическим снимкам высокого пространственного разрешения и аэрофотоснимкам при практическом лесоустройстве.

Введение. Для эффективного управления лесным хозяйством страны специалистам лесного комплекса необходима разнообразная информация о статике и динамике лесных экосистем. Она нужна как для обеспечения устойчивого управления лесными ресурсами, так и для решения экологических, социально-экономических и других задач. На современном этапе космическая и аэросъемка является одним из основных методов получения сведений о земной поверхности. Высокая информативность и точность фотографического (цифрового) изображения в сочетании с универсальностью и экономичностью обеспечили широкое внедрение ее в различные отрасли производства и науки.

Необходимо подчеркнуть, что данные, полученные в результате съемки из космоса, часто невозможно получить никакими другими методами, а в большинстве остальных случаев она является наиболее доступным по стоимости способом получения информации (Сухих В.И., 2005). Для получения требуемых пользователю данных используются предварительно обработанные космические снимки. Основная особенность таких снимков в том, что при их обработке используются изображения одной и той же территории в различных диапазонах излучения электромагнитных волн: ультрафиолетовый, видимый, инфракрасный и радиоволновый, которые, в свою очередь, делятся на поддиапазоны (зоны спектра). После обработки таких изображений получают новый снимок, на котором более четко выделяются требуемые объекты или территории. После этого проводится классификация данных. Целью этой обработки космических снимков является замена визуального дешифрирования снимка интерактивным (Программный комплекс ENVI, 2007). Следующим этапом обработки является объединение данных и их интеграция в геоинформационную систему (ГИС). Перенос данных в ГИС позволяет проводить обработку разновременных данных и хранить графическую информацию в векторном формате, что существенно облегчает отслеживание изменений.

Цель исследований. Оценка точности контурного автоматизированного дешифрирования по многозональным космическим снимкам высокого пространственного разрешения и аэрофотоснимкам.

Решаемые задачи:

изучение, анализ лесоустроительных технологий подготовки планово-картографических материалов к полевым работам;

исследование и освоение программ ENVI, MapInfo Professional, RasterStitch;

подготовка топографической основы, контурное дешифрирование аэрофотоснимков, космической съемки, векторизация выделов;

исследование точности автоматизированного контурного дешифрирования цифровых изображений.

Методика исследований.

Классификация с обучением (контролируемая, Supervised Classification) на данный момент является одним из перспективных методов автоматизированного дешифрирования.

В программном комплексе ENVI представлен широкий набор алгоритмов для проведения классификации с обучением:

В ENVI реализованы следующие алгоритмы:

- классификация с помощью метода спектрального угла (Spectral Angle Mapper, SAM);
- алгоритм минимального спектрального расстояния (Евклидова метрика, Minimum distance, MIND);
- алгоритм расстояния Махаланобиса (Mahalanobis Distance, Mah_D);
- способ максимального правдоподобия (Maximum likelihood, MaxLH);
- отклонение спектральной информации (Spectral Information Divergence, SID).

Для работы, с алгоритмами контролируемой классификации используются эталонные участки (полигоны) (Regions of Interest (ROI)).

Эталонные участки применяются для извлечения статистики при классификации и других операциях.

Нами предложена следующая технология подготовительных работ и контурного дешифрирования цифровых изображений: подготовительная обработка растрового изображения, создание лесоустроительной базы данных в ForestDBS, создание векторного картографического слоя в MapInfo, объединение лесоустроительной базы данных и векторного картографического слоя, создание таблиц выборок из карты с лесоустроительной базой данных по интересующим классам (преобладающей породе, лесорастительным условиям и др), экспорт таблиц выборок в формат *.dxf, импорт таблиц выборок в формате *.dxf в программный комплекс ENVI, создание эталонных участков (ROI) с нужным количеством классов, проведение классификации одним из выбранных методов, оценка результатов классификации.

Интерпретация результатов.

На первом этапе оценим точность автоматизированного контурного интерактивного дешифрирования цифровых изображений (космических снимков, аэрофотоснимков).

Для выявления оптимального алгоритма было проведено пять вычислительных экспериментов по классификации аэрофотоснимков. Используя статистические данные, полученные для каждого способа классификации, были построены линейные регрессионные модели для оценки согласованности результатов. Они позволили оценить алгоритмы классификации древесных пород, используя коэффициент корреляции которые приведены в таблице 1.

Таблица 1. Оценка алгоритмов классификации изображений древесных пород по материалам АФС

Исходные данные	Алгоритм классификации АФС, коэффициент корреляции, ед.				
	Mah_D	MaxLH	MIND	SAM	SID
ЛУ	0,77	0,70	0,78	0,28	0,90

Интервальная оценка регрессии показывает, что с вероятностью 0,90 классификация древесных пород на АФС с использованием метода SID выполняется достоверно. Это подтверждает и коэффициент корреляции (0,90), характеризующий линейное уравнение согласованности материалов лесоустройства и автоматизированной классификации изображений древесных пород.

На втором этапе оценили точность дешифрирования космического снимка «ALOS». Для выявления оптимального алгоритма также было проведено пять классификаций космического снимка. Анализ статистик позволил оценить эффективность алгоритмов классификации древесных пород, используя коэффициент корреляции которые приведены в таблице 2.

Таблица 2. Оценка алгоритмов классификации древесных пород по материалам космической съемки «ALOS»

Исходные данные	Алгоритм классификации КС, коэффициент корреляции, ед.				
	Mah_D	MaxLH	MIND	SAM	SID
ЛУ	0,82	0,54	0,84	0,41	0,80

Интервальная оценка результатов классификации по линейному уравнению показывает, что с вероятностью 0,95 классификация древесных пород на космических снимках с использованием метода Minimum distance выполняется достоверно.

Это подтверждает и коэффициент корреляции (0,84), характеризующий линейное уравнение согласованности материалов лесоустройства и автоматизированной классификации древесных пород по алгоритму Minimum distance.

Для оценки точности классификации выбранных алгоритмов рассчитаны относительные погрешности.

В таблице 3 и 4 приведены показатели точности оценки классификации древесных пород и хозяйств опытного объекта.

Таблица 3. Оценка оптимальных алгоритмов классификации древесных пород по площади

Алгоритм классификации, источник информации	Древесные породы					
	береза	ель	ольха черная	осина	сосна	реки, дороги
Площадь, га						
Minimum Distance (КС)	340,1	310,6	272	163,4	1651,7	406,3
SID (АФС)	1099,8	333,6	444,8	184,6	800,7	280,6
Данные лесоустройства	1022,3	296,9	62	30,6	1625,2	107
Отклонения, %						
Minimum Distance (КС)	-66,7	4,6	338,7	434,0	1,6	279,7
SID (АФС)	7,6	12,4	617,4	503,3	-50,7	162,2

Таблица 4. Оценка оптимальных алгоритмов классификации по хозяйствам, га

Алгоритм классификации, источник информации	Хозяйство		Покрытая лесом площадь
	мягколиственное	хвойное	
Площадь, га			
Minimum Distance (КС)	775,5	1962,3	2737,8
SID (АФС)	1729,2	1134,3	2863,5
Данные лесоустройства	1114,9	1922,1	3037
Отклонения, %			
Minimum Distance (КС)	-30,4	2,1	-9,9
SID (АФС)	55.1	-41.0	-5.7

Оказалось, что удовлетворительную точность классификации (КС) имеют хвойные породы сосна и ель.

По полученным материалам можно сделать вывод, что приемлемый результат показал только алгоритм Minimum Distance (КС) с отклонением 2.1% при определении хвойных насаждений.

Классификация мягколиственных пород дает значительные ошибки -30,4%.

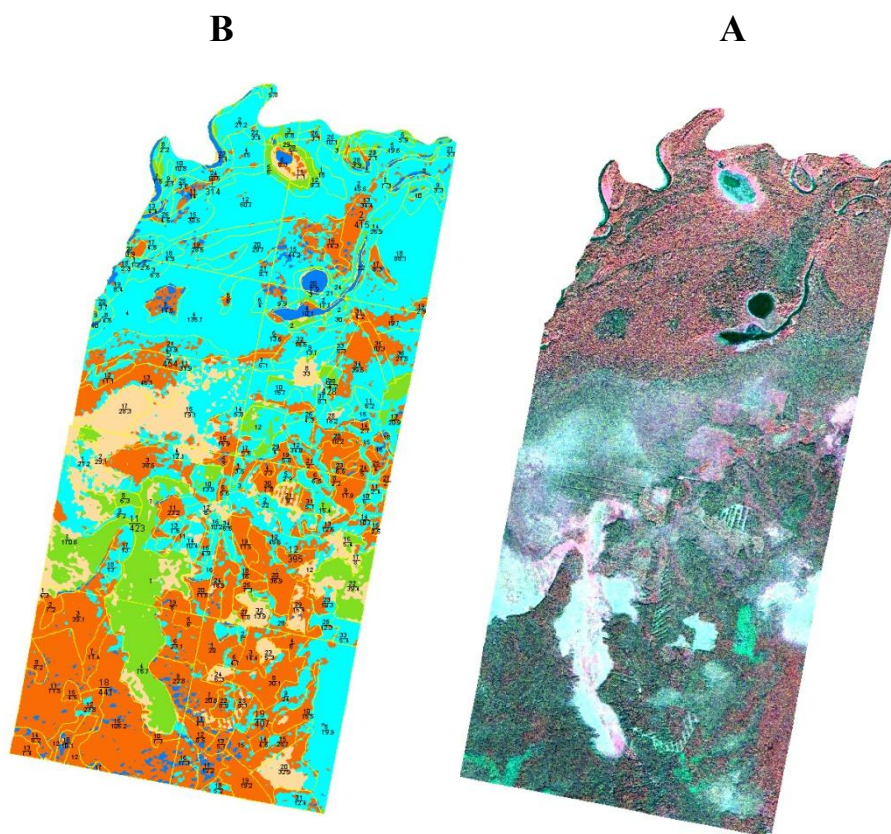


Рис.1. Результаты автоматизированного дешифрирования (В - изображен фрагмент классификации по алгоритму Minimum Distance (КС), А - фрагмент исходного изображения).

Для автоматизированного контурного дешифрирования рекомендуется применять космические снимки. Их преимущество перед аэрофотоснимками доказывается следующим: однородные объекты имеют одинаковую спектрально отражательную яркость, космические снимки имеют географическую привязку, также могут совмещать различные виды съемки, а с экономической точки зрения обладают меньшей стоимостью.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сухих В.И. Аэрокосмические методы в лесном хозяйстве и ландшафтном строительстве: Учебник. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2005. – 392 с.
2. Программный комплекс ENVI: Учебное пособие. - М.: «Совзонд», 2007. - 229 с.
3. <http://www.sovzond.ru/satellites/456/457.html>

CONTOURED AUTOMATED INTERPRETATION OF COLOUR SYNTHESIZED IMAGE MADE FROM AIRCRAFT «ALOS» AT FOREST

L.V.CHERNYH, D.V.CHERNYH
Volga State Technological University

Based on computer simulations in the ENVI environment the optimal algorithm of classification of satellite images for forest management, received from the spacecraft Alos. The estimation accuracy of the contour on automated interpretation of multispectral satellite imagery and high-resolution aerial imagery for practical forest inventory.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БАЗОВЫХ ПРОДУКТОВ ДЗЗ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ЛЕСОУСТРОЙСТВА НА ПРИМЕРЕ РЕСПУБЛИКИ БУРЯТИЯ

**Т.Н. ЧИМИТДОРЖИЕВ¹, А.М. ГАРМАЕВ², И.И. КИРБИЖЕКОВА¹, М.Е. БЫКОВ¹, М.А. ГУСЕВ³,
П.В. ДЕНИСОВ³, Ю.В. ФЕДОРКОВА³**

¹ Институт физического материаловедения СО РАН

² ФГУП «Рослесинфорг», Бурятский филиал

³ НЦ ОМЗ ОАО «Российские космические системы»

В докладе представлены результаты исследования возможностей применения базовых продуктов дистанционного зондирования Земли межведомственного использования для решения лесохозяйственных задач. На примере данных космической съемки территории Мухоршибирского и Куналейского лесничеств Республики Бурятия произведено комплексирование мультиспектральных данных SPOT 5 и радиолокационных данных ALOS PALSAR и RADARSAT-2.

Введение

Все основные проблемы лесного сектора требуют для своего решения актуальной и объективной информации. Для обширных лесных территорий Российской Федерации наиболее эффективен мониторинг с использованием космических снимков.

Решение задачи снабжения российских потребителей информационными продуктами ДЗЗ обеспечивается Оператором российских космических систем ДЗЗ – НЦ ОМЗ ОАО «Российские космические системы» – в рамках Федеральной космической программы России. В настоящее время Оператором создается новый геоинформационный сервис – Банк базовых информационных продуктов ДЗЗ межведомственного использования (ББП). В ближайшей перспективе (ввод в действие планируется на 2013 год) ББП обеспечит регламентированное создание, хранение и предоставление потребителям базовых продуктов ДЗЗ (БП) на основе российских и зарубежных спутниковых данных.

Доступ конечных потребителей БП к банку будет организован через информационный портал Оператора в сети Интернет. Наиболее удобной реализацией доступа является интеграция ББП с ведомственными и региональными информационными системами (ВРИС). Разработанные средства позволяют осуществлять предоставление созданных БП в согласованном формате данных в режиме реального времени в базы данных ВРИС. Дальнейший доступ конечных пользователей к БП осуществляется с использованием интерфейса соответствующей ВРИС.

БП занимают промежуточное место в цепочке продуктов между первичными данными ДЗЗ стандартного уровня обработки и комплексным тематическим продуктом обработки глубокого уровня, проводимой экспертами предметной области применения космической информации.

1. Возможные направления использования БП в задачах лесоустройства

Применение БП позволяет определять места, площади и объемы рубок леса, что позволяет выявлять нарушения положений нормативных правовых актов при организации и осуществлении лесопользования.

Оперативность получения данных является первостепенным фактором при контроле соблюдения основных положений лесного законодательства, правил и нормативов организации лесопользования. Наивысшую оперативность получения ДДЗЗ обеспечивают радиолокационные системы мониторинга, позволяющие вести всепогодную круглосуточную съемку земной поверхности.

В рамках работ по созданию ББП в НЦ ОМЗ разработаны технологии потокового создания базовых продуктов ДЗЗ на основе радиолокационной информации (БПР), предоставляющих информацию как об участках подстилающей поверхности с различным

характером отражения радиоволн, так и о степени произошедших за время между двумя съемками изменений антропогенного или природного характера, например, застройки, вырубок, свалок мусора, ветровалов, подтоплений и др.

2. Практический опыт дистанционного мониторинга лесного хозяйства Республики Бурятия

В 2012 году Бурятским филиалом ФГУП «Рослесинфорг» была проведена разработка средств верификации БПР, предназначенных для классификации и картирования лесного фонда, на основе данных наземного наблюдения лесохозяйственного назначения. Для отработки методики верификации в качестве тестовых полигонов были выбраны территории Куналейского и Мухоршибирского лесничеств Республики Бурятия (РБ).

Разрабатываемые средства предназначены для сравнительного анализа различных методов картирования лесных и безлесных территорий, растительных покровов, оценки биомассы, плотности и сомкнутости древостоя и пр.

2.1. Оценка запасов древесины и общей биомассы по радиолокационным данным Radarsat-2 и ALOS PALSAR

Отражательные свойства лесных и нелесных сред в радиодиапазоне сильно отличаются, что позволяет с высокой точностью определять границы лесных массивов. На рисунке 1а представлен БПР в виде RGB-композиата на основе данных PALSAR/ALOS с четкой цветовой дифференциацией лесных и нелесных территорий и явной зависимостью от рельефа местности. В наименьшей степени в L-диапазоне рельеф местности отражается на отношении интенсивностей отраженного излучения на кросс и согласованной поляризации. На рисунке 1б – трехмерное представление отношения h_v/h_h , свободное от такой зависимости. На рисунке 1в – классификационная карта на основе спектральных характеристик SPOT 5 с наложенным векторным слоем высокой, средней и низкой биомассы, полученным на основе БПР (более плотная штриховка соответствует более высокой биомассе).

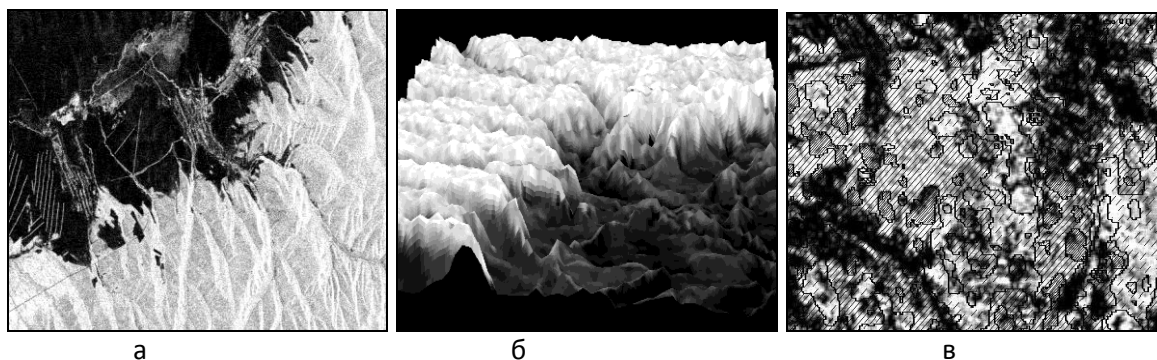


Рис. 1. а) БПР по Мухоршибири; б) трехмерное представление отношения h_v/h_h ; в) фрагмент карты распределения сосны на основе спектральных характеристик SPOT5 и БПР

Для определения более точных количественных биометрических показателей лесной среды необходимы фундаментальные исследования закономерностей процессов отражения и рассеяния радиолокационных волн в сложных условиях гористой местности.

В сантиметровом диапазоне длин волн отраженный сигнал в меньшей степени зависит от рельефа. В случае неплотно сомкнутого лесного покрова величина отношения h_v/h_h характеризует толщину рассеивающего слоя и пропорциональна общей биомассе среды, включая как основные структурные элементы (стволы, ветви), так и более мелкие, формирующие кроны деревьев и сравнимые с длиной волны (5 см). В случае очень плотного лесного полога радиоволны С-диапазона уже не могут проникнуть к нижней границе. Но на исследуемых тестовых территориях таких полностью сомкнутых участков не так много (средняя сомкнутость лесов РБ – 0,6).

На рисунке 2 представлены результаты тематической интерпретации БПР на основе двуполяризационных данных RADARSAT-2, отражающие распределение фитомассы. Для наглядности можно провести кодировку. Тогда по десятибалльной шкале значения от 0 до 5 свойственны участкам почвенного покрова без растительности или слабой низкорослой растительности, значения от 5 до 10 – лесной растительности.

Необходимо отметить, что использование БПР обосновано и целесообразно. Однако для классификации леса по породному составу следует использовать традиционные методы спектрального анализа оптических многозональных изображений.

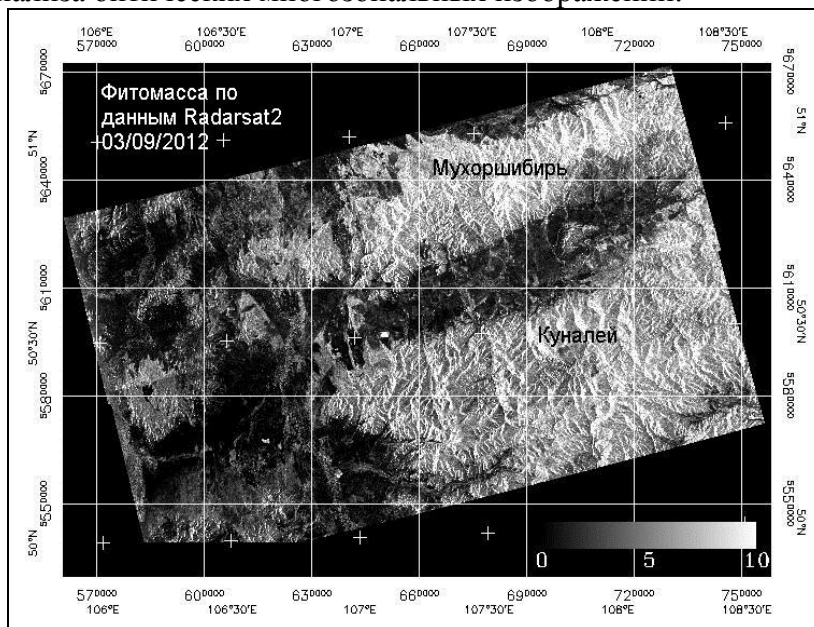


Рис. 2. Распределение фитомассы лесных массивов Мухоршибири и Куналей

2.2. Определение породного состава по мультиспектральным данным SPOT5

Сравнительный анализ результатов обработки мультиспектральных данных высокого разрешения различными методами показал, что для картографирования по типу подстилающей поверхности и разделения на лесные и нелесные территории наиболее применим нормированный дифференциальный индекс растительности NDVI; для выделения вырубок, лесных прогалин и гарей, а также определения их площади, возраста и степени зарастания – RGB-композит текстурных характеристик панхроматического изображения с разрешением не хуже 5 м; для классификации по породному составу – различия спектральных характеристик и субпиксельный метод спектрального анализа.

Для отбора наиболее эффективных методов классификации мультиспектральных снимков использовались несколько критериев: сходимость процесса кластеризации, контроль совпадения границ лесных кварталов и выделов с границами полученных кластеров, соответствие данным таксации отдельных лесных кварталов и панхроматическому снимку. Наиболее эффективным оказалось комбинирование неконтролируемых методов с привлечением элементов спектрального анализа. Выделено 13 кластеров.

Для составления карт породного состава лесных массивов по тестовым лесничествам был применен субпиксельный спектральный анализ. Метод линейного смешивания предполагает, что спектральный профиль каждого пикселя мультиспектрального изображения формируется за счет суммирования вкладов нескольких объектов пропорционально своему присутствию на земной поверхности. Метод очень чувствителен к набору эталонных спектров отдельных компонент. На рисунке 3 представлены фильтрованные результаты выделения и картирования основных лесообразующих

пород/компонент для Куналейского района на 9 сентября 2011 года. Яркость обратно пропорциональна процентному содержанию указанных пород.

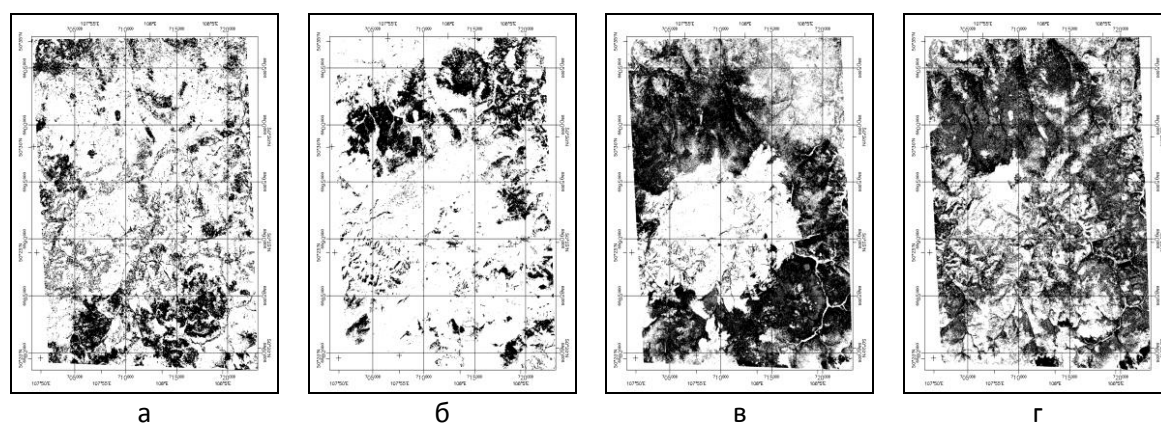


Рис. 3. Карты распределения по породному признаку лесных массивов Куналейского района на основе данных SPOT5: а) сосна, б) лиственница, в) дикорастущие растения и кустарники, г) лиственные деревья (береза, осина)

2.3 Верификация полученных результатов

Для проверки результатов классификации были проведены совместные экспедиции по тестовым участкам представителей местного лесничества, Республиканского агентства лесного хозяйства, Бурятского филиала ФГУП «Рослесинфорг», ИФМ СО РАН. Обследованы несколько кварталов, подтверждена высокая точность классификации за единичными исключениями. Небольшая несогласованность классификации проявилась в одном из кластеров, который охватил участки как с преобладанием соснового, так и смешанного леса. При выезде на место была выявлена причина классификации участка смешанного леса как соснового. Лес на склоне горы имеет двухъярусную структуру, где в нижнем ярусе (15-20 м) преобладают лиственные породы, такие как береза и осина, а в верхнем ярусе (от 20 м) одиночные сосны с мощными кронами, давшие основной вклад в спектр.

Также вопросы возникли по поводу гари пятилетней давности с густым 4–5-летним молодняком, классифицированной как участок леса. Т.е. обнаружение подобных участков по одиночному снимку проблематично.

Таким образом, верификация результатов обработки ДДЗЗ посредством наземной информации должна осуществляться в два этапа:

- непосредственно в процессе обработки – данные таксации леса, сведения о вырубках и гари необходимо использовать в качестве одного из наиболее важных критериев при выборе эффективного метода для решения поставленной задачи;

- в ходе полевых исследований, при проверке предварительных результатов кластеризации, цифровых изображений распределения по тестовым полигонам биомассы, породного состава и т.п. с последующей коррекцией, при необходимости, создаваемого картографического материала.

Заключение

В результате проведения совместных исследований НЦ ОМЗ ОАО «Российские космические системы», Бурятского филиала ФГУП «Рослесинфорг» и ИФМ СО РАН разработана и апробирована методика комплексирования наземных данных и ДДЗЗ высокого разрешения для создания тематических карт леса. В перспективе она может быть применена при проведении инвентаризации лесных фондов. Получаемые картографические материалы можно использовать для планирования хозяйственной и природоохранной деятельности, для оценки предварительной стоимости на аукционах лесных участков, при принятии управленческих решений органами исполнительной власти в области лесных отношений. Также методика обработки ДДЗЗ и полученные материалы могут быть применены при

проведении специальных исследований состояния и динамики лесных сред экологами, биологами, географами, физиками и т.п.

ЛИТЕРАТУРА

1. Арманд Н.А., Чимитдоржиев Т.Н., Ефременко В.В., Захаров А.И., Семенов А.А., Мошков А.В. О возможностях совместной обработки радиолокационных изображений L-диапазона и спектрональных снимков оптического диапазона для классификации лесных массивов // Радиотехника и Электроника. – 1998. – Т. 43. – № 9. – С. 1070-1075.
2. Бондур В.Г., Чимитдоржиев Т.Н. Дистанционное зондирование растительности оптико-микроволновыми методами // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2008. – №6. – С.64–73.
3. Брыксин В.М., Евтюшкин А.В., Филатов А.В. Технология создания комплексного банка космических снимков Земли // Известия Алтайского государственного университета. – 2011. – № 1-1 (69). – С.55–59.
4. Исаев А.С., Сухих В.И., Калашиников Н.Е. и др. Аэрокосмический мониторинг лесов // М.Наука. – 1991.
5. Кирбижекова И.И., Дарижанов Д.Д. Анализ поляриметрических данных SIR-C/X по дельте реки Селенга // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. – 2008. – № 133. – С. 24-29.
6. Кузьменко Е.И., Михеев В.С. Эколого-географические основы комплексного изучения лесов Сибири. – Новосибирск: Академ.изд-во Гео, 2008. – 207 с.
7. Sorochinskii M.V., Zakharov A.I. Application of the linear coprocessing of images to the detection of damaged forestland areas // Journal of Communications Technology and Electronics. – 2005. – V.50. – №.9. – P.994-1001.
8. Neumann, M., Starlinger, F. The significance of different indices for stand structure and diversity in forests // Ecol.Manage. – 2002. V.145. – P. 91–106.
9. Richards J. Remote Sensing, Digital Image Analysis. An Introduction. Second Edition. Berlin: Springer-Verlag. 1993. 340 p.
10. Study on European forestry information and communication system // Report of forestry inventory and survey systems. – Luxembourg, 1997. – V.2 – 860 p.

USING REMOTE SENSING BASIC PRODUCTS FOR SOLVING PROBLEMS OF FOREST MANAGEMENT ON THE EXAMPLE OF THE BURYATIA REPUBLIC

**T.N. CHIMITDORDZHIEV¹, A.M. GARMAEV², I.I. KIRBIZHEKOVA¹, M.E. BYKOV¹, M.A. GUSEV³,
P.V. Ю.В. DENISOV, YU.. V. FEDORKOV³**

¹ Institute of physical material science Sd RAS

² «Roslesinforg», Burianian branch,

³ «Russian space systems»

The report presents the study results of the application of the basic remote sensing products used for forest management interdisciplinary tasks. It have been made the aggregation of SPOT 5 multispectral data and ALOS PALSAR and RADARSAT-2 radar data on the example of space imagery data in Muhorshibirsky and Kunalejsky forestry of the Buryatya Republic.

ИЗМЕНЕНИЕ NDVI ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ СЕВЕРНОГО КАВКАЗА КАК ФУНКЦИИ КЛИМАТА И РЕЛЬЕФА

П.А. ШАРЫЙ¹, Л.С. ШАРАЯ², Д.Л. ПИНСКИЙ¹

¹ Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН

² Институт экологии Волжского бассейна РАН

Современная растительность лесов Кавказа тесно связана с факторами среды, такими как климат и рельеф. При этом современный климат Кавказа тесно связан с рельефом, но в будущем зависящие от времени, климат, и не зависящие, такие как рельеф, факторы среды будут оказывать противоречивое влияние на лесную растительность различных типов. Это противоречие важно учитывать в прогнозных моделях, так как его учет приводит к существенным различиям в картах лесной растительности.

Как известно, лесная растительность следует факторам окружающей среды. Среди этих факторов можно выделить две группы: меняющиеся на протяжении десятилетий (климат) и

не меняющиеся на тех же временах (рельеф). В современной ситуации климат для базового периода в горных условиях сам тесно связан с рельефом. Для прогнозного срока на 2050 год климат изменяется независимо от рельефа по причине глобального изменения первого.

Например, средняя многолетняя (усредненная за 40 лет) температура июля (*Тиюл*) на Северном Кавказе связана с рельефом следующим уравнением регрессии, полученным по данным от 67 метеостанций:

$$T_{июл} = -0.005927 \cdot Z_{-47.69} + 0.000006962 \cdot (X+Y)/2^{1/2}_{+6.39} + 0.04256 \cdot F(35,225)_{+2.93} + 0.2771 \cdot kh^{\Pi}_{+2.53} + 26.00, \\ R^2 = 0.978 \text{ (} Degr = 0.7\% \text{), } P < 10^{-6}, \quad (1)$$

где Z есть высота, $(X+Y)/2^{1/2}$ – расстояние на северо-восток, $F(35,225)$ – освещенность склонов с юго-запада (азимут Солнца 225° , склонение 35°), kh – горизонтальная кривизна, описывающая выпуклые и вогнутые отроги. Морфометрические величины (МВ), такие как kh , и их смысл описаны в (Shary et al., 2002). Нижние индексы есть t -статистики, показывающие здесь, что главной является высота (при подъеме на 1 км *Тиюл* падает на $\sim 6^\circ\text{C}$). Найденный коэффициент детерминации R^2 показывает, что 98% пространственной изменчивости *Тиюл* объясняется рельефом (Z , F и kh) и широтно-долготной переменной $(X+Y)/2^{1/2}$. Верификация показала, что деградация модели *Degr* в новых точках наблюдения мала по критерию $Degr < 50\%$ (Шарый и др., 2011).

Две задачи ставятся здесь авторами: (1) изучить вопрос о том, когда статистические модели линейны по предикторам, а когда нет, и (2) выяснить, какое влияние на закономерности пространственного распределения различных типов леса окажет в будущем конфликт между меняющимися и не меняющимися во времени факторами среды: климатом и рельефом, соответственно. Обе задачи еще не ставились в литературе, и авторы сочли возможным не включать в рассмотрение экологическую инерцию, то есть запаздывание между изменением климата и летним NDVI лесов. По результатам 40-летнего опыта для экотона между лиственными и хвойными лесами (Beckage et al., 2008) в Зеленых горах США, такое запаздывание составило ~ 30 лет, однако для равнинных бореальных лесов оно может быть значительно больше, хотя пока неясно насколько (McGuire et al., 2009).

Для изучения первого вопроса брались выборки по 200 точек наблюдения для сосновых и еловых лесов, как они определены в Электронной карте лесов России (Барталев и др., 2004), редкостой не использовался. Для каждой точки наблюдения в ИКИ РАН были измерены скорректированные значения вегетационного индекса NDVI лета 2001 года при разрешении в плане 500 м. В качестве предикторов использовались рельеф, широтно-долготные переменные и расстояние от каждой точки наблюдения до ледников. Для сосновых лесов использовались три выборки: вдоль хребта Большого Кавказа, поперек него и в промежуточном направлении. Поскольку распределение значений NDVI существенно отклонялось от нормального, вместо NDVI использовалась величина $(NDVI/NDVI_{cp})^5$, распределение которой более близко к нормальному. Результаты регрессионного анализа показали, что нелинейности в связи с предикторами возникают главным образом из-за близости экосистем к маргинальным условиям, например к ледникам. В частности, для сравнительно удаленных от этих условий еловых лесов, связь $(NDVI/NDVI_{cp})^5$ с факторами среды была линейна, т.е. нелинейные члены в регрессии были незначимы, хотя в общем связи демонстрировали существенные нелинейности. Таким образом, нелинейности в статистических связях NDVI с факторами среды возникают главным образом из-за близости лесных экосистем к маргинальным условиям. В общем плане, таковыми могут служить близость к водоемам, к границе природно-климатических зон и т.п.

Отметим еще специфику температурного оптимума для сосновых и некоторых других типов леса (рис.1).

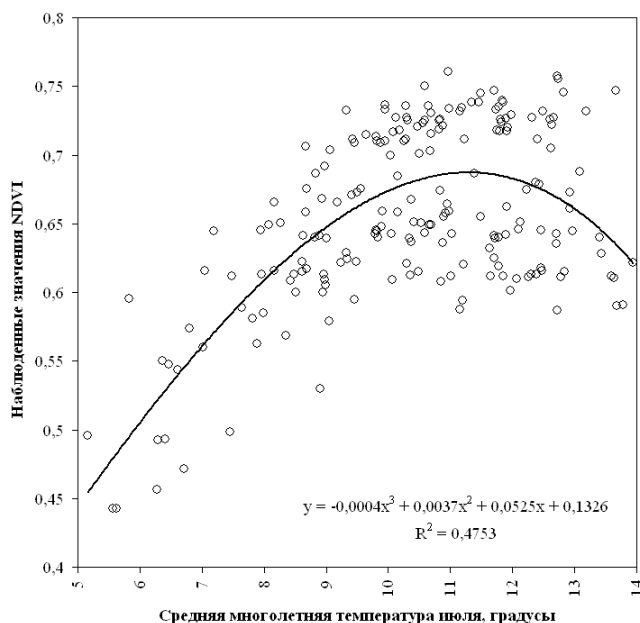


Рис.1. Связь наблюдаемых значений NDVI со средней многолетней температурой июля для сосновых лесов на Кавказе. Кривая показывает кубический тренд.

Полученная кривая асимметрична, ее низкотемпературная ветвь характеризует фундаментальную экологическую нишу (ограничение холодными условиями климата), а теплая – реализованную (ограничение конкуренцией с лиственными лесами).

Рассмотрим теперь, как может влиять конфликт между зависящими, климат, и не зависящими, такими как рельеф, от времени факторами среды на прогнозируемое, будущее пространственное распределение различных типов леса. Заменить 18 описанных в (Shary et al., 2002) МВ на более короткое описание рельефа можно с помощью концепции М.А. Глазовской (1964) о типах местоположений, но эта концепция была целиком основана на профиле склона, в то время как даже небольшие изменения в плане способны резко изменять пространственное распределение почв и растительности (Huggett, 1975); важен был и учет различий разнонаправленных склонов. Этот учет привел к определению модифицированных типов местоположений (Шарая, Шарый, 2009).

Для NDVI широколиственных и сосново-широколиственных (далее для краткости широколиственных) лесов Кавказа имеем уравнение регрессии

$$NDVI_{широк} = -0.364 \cdot (T_{июл} - T_{июл_{ср}})^2 - 0.173 \cdot Z - 0.142 \cdot T_{июл} + 0.957; \quad r_s = 0.72, \quad P < 10^{-6}, \quad (2)$$

где r_s есть ранговый коэффициент корреляции Спирмана. Более половины пространственной изменчивости $NDVI_{широк}$ объясняется здесь факторами среды (климатом и рельефом), поскольку непараметрический коэффициент детерминации $R_s^2 = 0,52$. Это уравнение на базовый период и для ожидаемых в будущем NDVI, по климатическому сценарию модели E GISS на 2050 год (Schmidt et al., 2006), дают карты NDVI (рис.2).

Несмотря на повышение $T_{июл}$ для этих лесов на $2,6^\circ\text{C}$, модель (2) дает снижение их NDVI на 4,7% к 2050 году. Это может быть объяснено (А) нелинейным характером связи с $T_{июл}$, и/или (Б) сложными для освоения лесами условиями высокогорного рельефа, куда смещается температурный оптимум для NDVI. Причина (А) вызывает более жесткую «привязку» или более сильную связь NDVI этих лесов с относительно узким диапазоном $T_{июл}$; смещение температурного оптимума за 50 лет на 440 м вверх по склону «перемещает» эти леса вверх по склонам, где значительно возрастает крутизна, появляются сильно врезанные долины и резко выраженные формы рельефа, причина (Б). Приведенные доводы об изменении характера рельефа найдены анализом статистических свойств матриц рельефа. Таким образом, используемая модель дает не вполне очевидный результат: несмотря на потепление в горах, прогнозируется снижение NDVI основного типа леса Северного Кавказа – широколиственного и хвойно-широколиственного.

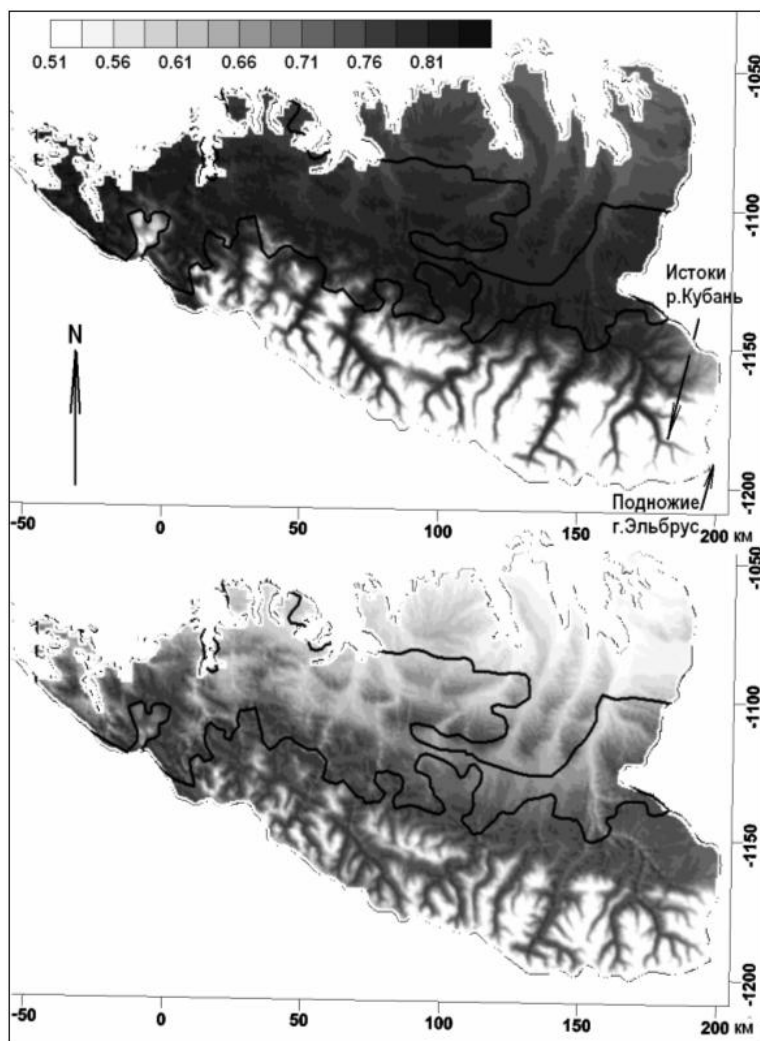


Рис.2. Карты NDVI широколиственных лесов для базового периода (вверху) и для 2050 г. по модели E GISS (внизу), рассчитанные по модели (2). Темная линия – граница современного ареала широколиственных лесов.

Резюмируя можно сказать, что связь летнего NDVI лесов Кавказа с меняющимися и не меняющимися во времени свойствами ландшафта проявляется в «торможении» смещения границы лесов со временем вверх по склонам из-за возрастающей крутизны склонов и более часто встречающихся вверх резко выраженных форм рельефа. При этом связь становится тем более нелинейной по факторам среды, чем ближе условия произрастания лесов к маргинальным.

ЛИТЕРАТУРА

1. Барталев С.А., Ершов Д.В., Исаев А.С., Потапов П.В., Турубанова С.А., Ярошенко А.Ю. Карта лесов Российской Федерации, окрашенная по преобладающим группам пород деревьев и сомкнутости древесного полога. Масштаб 1 : 14 000 000. - Москва: ИКИ РАН, 2004.
2. Глазовская М.А. Геохимические основы типологии и методики исследований природных ландшафтов. - М.: Изд-во МГУ. 1964. - 230 с.
3. Шарая Л.С., Шарый П.А. Связь абиотических и биотических характеристик лесной экосистемы Жигули // Известия Самарского научного центра РАН. 2009. Т.11. С.22-30.
4. Шарый П.А., Рухович О.В., Шарая Л.С. Методология анализа пространственной изменчивости характеристик урожайности пшеницы в зависимости от условий агроландшафта // Агрохимия. 2011. №2. С.57-81.
5. Beckage B., Osborne B., Pucko C., Gavin D.G., Siccama T., Perkins T. A rapid upward shift of a forest ecotone during 40 years of warming in the Green Mountains of Vermont // Proceedings of the National Academy of Sciences (USA). 2008. V.105. P.4197-4202.
6. Huggett R.J. Soil landscape systems: a model of soil genesis // Geoderma. 1975. V.13. P.1-22.
7. McGuire A.D., Anderson L.G., Christensen T.R., Dallimore S., Guo L., Hayes D.J., Heimann M., Lorenson T.D., Macdonald R.W., Roulet N. Sensitivity of the carbon cycle in the Arctic to climate change // Ecological Monographs. 2009. V.79. P.523-555.

8. Schmidt G.A., Ruedy R., Hansen J.E., Aleinov I., Bell N., Bauer M., Bauer S., Cairns B., Canuto V., Cheng Y., Del Genio A., Faluvegi G., Friend A.D., Hall T.M., Hu Y., Kelley M., Kiang N.Y., Koch D., Lacis A.A., Lerner J., Lo K.K., Miller R.L., Nazarenko L., Oinas V., Perlwitz J.P., Perlwitz Ju., Rind D., Romanou A., Russell G.L., Sato Mki., Shindell D.T., Stone P.H., Sun S., Tausnev N., Thresher D., Yao M.-S. Present day atmospheric simulations using GISS Model E: Comparison to in-situ, satellite and reanalysis data // *Journal of Climate*. 2006. V.19. P.153-192.
9. Shary P.A., Sharaya L.S., Mitusov A.V. Fundamental quantitative methods of land surface analysis // *Geoderma*. 2002. V.107. P.1-32.

CHANGES IN NDVI OF NORTHERN CAUCASUS FOREST ECOSYSTEMS AS RELATED TO CLIMATE AND TOPOGRAPHY

P.A. SHARY¹, L.S. SHARAYA², D.L. PINSKY¹

¹ **Institute of physicochemical and biological problems in soil science, RAS**

¹ **Institute of Volga-basin ecology, RAS**

Modern forest vegetation of Caucasus is tightly correlated to environmental factors, such as climate and topography. The modern climate of Caucasus is highly correlated to topography, but forthcoming dependent and independent on time environmental factors will have contradictive impacts on forest vegetation of various types. This contradiction is important to take into account in prognostic models, because it results in essential distinctions in maps of forest vegetation.

КАРТОГРАФИРОВАНИЕ И ГИС-ТЕХНОЛОГИИ В ЛЕСОВЕДЕНИИ, ЛЕСНОМ ХОЗЯЙСТВЕ И ЭКОЛОГИИ

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ FIELD-MAP В ИССЛЕДОВАНИИ СТРУКТУРЫ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ

А.А. АЛЕЙНИКОВ

Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН

Продемонстрирован опыт использования измерительного комплекса Field-Map в изучении структурной организации пихто-ельника высокотравного. В результате проведенных исследований получены уникальные данные о составе, пространственной структуре древостоя, распределению подроста и микросайтной организации сообщества.

Стремительное развитие информационных технологий позволяет получать качественную разностороннюю информацию о разных уровнях организации экосистем. Наиболее трудоемкими исследованиями, требующими значительного времени и людских ресурсов, на протяжении длительного времени оставались комплексные работы по исследованию состава, строения и пространственной структуры лесных экосистем. Использование технологии Field-Map дает возможность получать связанную картографическую и атрибутивную информацию по основным компонентам лесного сообщества.

Цель работы – продемонстрировать возможности измерительного комплекса Field-Map в исследовании структуры пихто-ельника высокотравного.

Главное преимущество измерительного комплекса Field-Map состоит в том, что он совмещает в себе ГИС, работающую в реальном времени с электронным оборудованием для картирования и дендрометрических исследований. В состав комплекса входят: GPS, планшетный компьютер и лазерный дальномер-высотомер. Такой минимальный набор оборудования позволяет снимать основные дендрометрические характеристики каждого модельного дерева, а комбинация лазерного дальномера, электронного угломера и электронного компаса – картографировать различные линейные (валежины), точечные (деревья, пни) и полигональные (проекции крон, куртины подроста и т.д.) объекты (рис. 1).

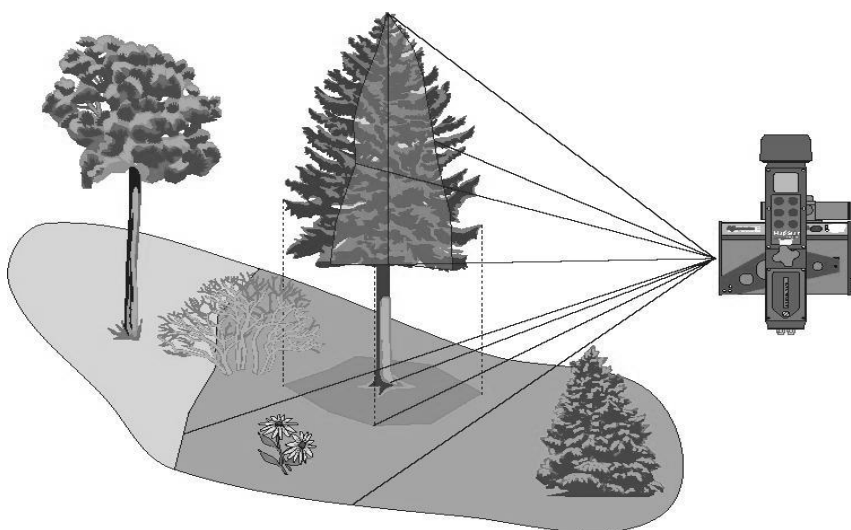


Рис. 1. Типичное применение комплекса Field-Map – картирование, измерение высот деревьев, измерение верхних диаметров дерева, измерение профиля ствола, картирование проекции кроны, определение профиля кроны(источник: www.field-map.ru).

Одно из главных достоинств комплекса – сочетание электронно-измерительных устройств со средствами хранения и обработки данных в полевом компьютере. Кроме того, измерение вертикальных и горизонтальных углов позволяет получать данные о высоте/длине дерева, протяженности живой и мертвой кроны и многих других показателях, в зависимости от задач исследования.

С 2008 года на территории Печоро-Илычского заповедника (Северное Предуралье) начаты комплексные исследования лесного покрова. В качестве модельной территории был выбран бассейн реки Большая Порожня, правого притока реки Печоры (Смирнова и др., 2011; Смирнова и др., 2012). Выбор территории обусловлен предварительными исследованиями, которые показали, что этот район отличается высоким биологическим и ландшафтным разнообразием. Последующий анализ исторических и архивных материалов подтвердил предположение о том, что последние несколько столетий эта территория не была вовлечена в интенсивную хозяйственную деятельность: отсутствовали постоянные поселения, велось слабоинтенсивное лесное хозяйство с выборочными рубками. По всей видимости, на протяжении длительного времени пожары оставались единственным фактором, влияющим на леса этой территории. Поиск углей в почве и пожарных подсушин на стволах старых кедров показал, что пожарами в значительной степени была затронута территория, прилегающая к р. Печоре. С удалением от реки следы пожаров постепенно исчезают.

В результате анализа космоснимков высокого и сверхвысокого разрешений и маршрутного обследования территории в 2007-2008 годах выделены сообщества с различной степенью нарушенности. К наименее нарушенным сообществам отнесены крупнопоротниковые и высокотравные леса, расположенные на правом берегу р. Б. Порожня, в которых следы пожаров обнаружены не были (Алейников, Бовкунов, 2011; Алейников, Лазников, 2012). В 2011-2012 годах с помощью измерительного комплекса Field-Mar заложены постоянные пробные площади размером 1 га. На этих пробных площадях проведен сплошной перебор деревьев с $D_{1.3m} > 2$ см., определены их основные морфометрические и биологические показатели (Методические..., 2010), закартированы основания стволов и горизонтальные проекции крон. Кроме того, на всех площадях закартированы и описаны элементы ветровального (валежины, пни) и ветровально-почвенного (валежины, ямы, бугры) комплексов. Описан и закартирован подрост, начиная с раннего имматурного состояния.

На подготовительном этапе в программе Field-MapProjectManager был разработан проект. В проекте были созданы несколько слоев для последующего заполнения атрибутивной информацией в полевых условиях:

- 1) Слой «Деревья», содержащий пространственную привязку и информацию о виде, высоте, диаметре, протяженности живой и мертвой крон, онтогенетическом состоянии, жизненности и повреждениях каждого дерева на пробной площади.
- 2) Слой «Валежины», содержащий сведения о пространственной привязке, виде, размерах, степени разложения и застарелости, характере гибели (слом/вывал) и др.
- 3) Слой «Подрост», содержащий информацию о виде, онтогенетическом состоянии, жизненности, повреждениях и микросайте, на котором произрастает
- 4) Слой «Элементы ВПК», содержащий информацию о ямах и буграх, образованных вследствие вывала деревьев.

В качестве примера приведем основные результаты использования комплекса Field-Mar в исследовании древостоя и подроста, а также микромозаичной организации пихтового леса высокотравного. Краткая характеристика пробной площади представлена в таблице 1.

В этом сообществе древостой характеризуется сложной структурой и строением: разновозрастной, разновысотный, без четко выраженных ярусов. Парцеллы деревьев перемежаются с открытыми полянами. Проективное покрытие травяно-кустарничкового яруса – 70-90%, который состоит из трех и более подъярусов. В верхнем подъярусе преобладают виды бореального высокотравья: *Aconitum septentrionale*, *Actaea erythrocarpa*,

Cacalia hastata, *Crepis sibirica*, *Delphinium elatum*, *Paeonia anomala* и другие, в среднем подъярусе – неморальные, нитрофильные и лугово-опушечные: *Milium effusum*, *Stellaria holostea*, *St. nemorum*, *Ranunculus propinquus*, *Vicia sepium* и другие; в нижнем – бореальные кустарнички и бореальное мелкотравье (Смирнова и др., 2011).

Таблица 1. Характеристика постоянной пробной площади в пихто-ельнике высокотравном.

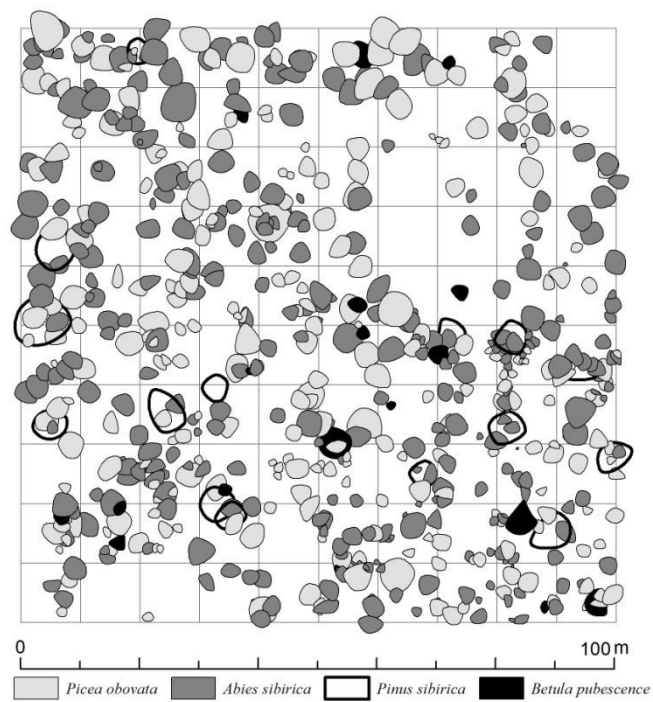
Тип леса	Площадь, га	Высота н.у.м	Уклон, экспозиция	Почва	Состав древостоя
Пихто-ельник высокотравный	1,0	315–320	3°, восточная	буроземы грубогумусный на элюво-делювии горных пород	5,7Е2,8П1,4К0,1Б

В древесном ярусе представлены 4 вида: *Picea abies*, *Abies sibirica*, *Pinus sibirica* и *Betula pubescence* (рис. 2, а). Как по числу стволов (94,5% от всех стволов), так и по суммам площадей поперечного сечения (85,1% от общей суммы) доминируют *Abies sibirica* и *Picea obovata*. *Pinus sibirica* и *Betula pubescence* по числу стволов примерно одинаковы, а вот по сумме площадей поперечного сечения преобладает кедр. Распределение деревьев пихты и ели по ступеням толщины характерно для разновозрастных лесов – непрерывное бимодальное с максимумом деревьев на низших и средних классах толщины. Диапазон диаметров деревьев пихты – от 2,6 см до 47,0 см, ели – от 2,4 см до 76,3 см. У ценопопуляции кедра распределение прерывистое, правостороннее ассиметричное со значительным преобладанием деревьев в высших размерных классах. Ценопопуляция березы характеризуется прерывистым левосторонним ассиметричным распределением. Онтогенетические спектры ценопопуляций древесных видов сходны с распределениями по диаметру. И у пихты, и у ели полночленные онтогенетические спектры. Ценопопуляция кедра характеризуется фрагментарным (отсутствуют im_1 , v_2 и g_3 особи) спектром с преобладанием генеративных деревьев. Ценопопуляция березы тоже имеет фрагментарный спектр с незначительным преобладанием молодых растений над взрослыми.

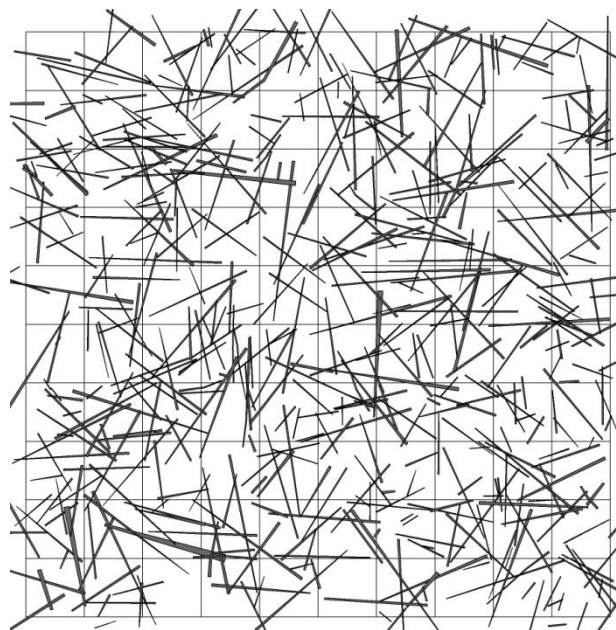
Особый фактор, влияющий на возобновление древесных видов, а, следовательно, и на динамику сообщества – мощный травяной покров высотой до 1,5 м от поверхности почвы. Такой покров создает неблагоприятные условия освещенности, негативно влияя на возобновление древесных видов. При этом особые, более благоприятные условия образуются на различных элементах микрорельефа – микросайтах, сформированных в результате жизни и смерти деревьев, среди которых значительную роль играет валеж разных стадий разложения (Алейников, Ефименко, 2012). Картирование валежа позволило оценить его запас и видовую структуру (рис. 2, б). Плотность валежа составила 500 шт./га, среди которых доминируют валежины ели и пихты (98,2%), единично встречаются кедр (1,2%) и береза (0,6%). Общий запас валежа – 253 м³/га. Распределение по классам разложения показало, что в сообществе присутствуют валежины всех стадий разложения (от неразложившихся до полностью разложившихся).

Плотность подроста в изучаемом сообществе не очень высокая и составляет 1168 ос./га, среди которых преобладает ель (875 ос./га), значительно меньше пихты (170 ос./га), кедр (33 ос./га) и березы (90 ос./га). Видовой состав подроста: 75Е14П8Б3К. Подрост имеет неравномерное и групповое расположение. Такая пространственная структура объясняется тем, что большая часть подрост приживается на микросайтах разных типов.

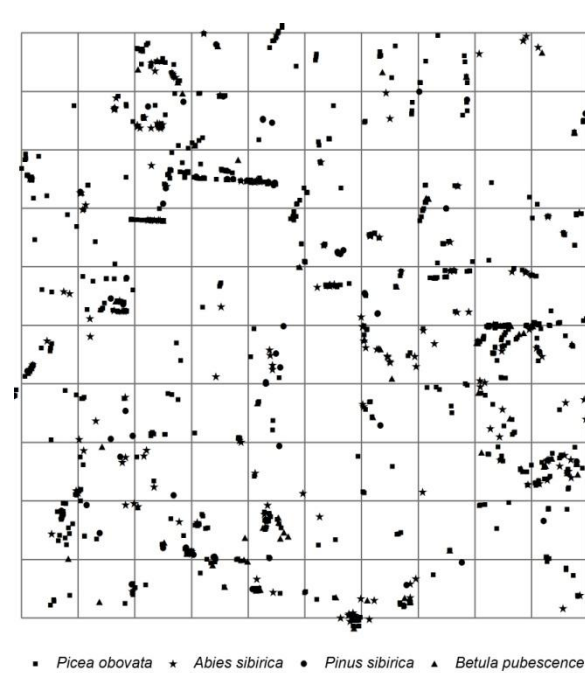
Таким образом, использование измерительного комплекса Field-Map позволило получить разномасштабную информацию о структурной организации пихто-ельника высокотравного. Главные достоинства технологии, на наш взгляд, состоят в возможности картирования пространственной структуры различных компонентов сообщества, а также в совмещении картографической и атрибутивной информации.



а)



б)



в)

Рис. 2. Пример использования измерительного комплекса Field-Mar: а) горизонтальные проекции крон; б) валежины; в) подрост.

Работа выполнена при поддержке фонда РФФИ (проекты № 13-04-01491а и № 12-04-01786а) и гранта Президента РФ (проект МК-2102.2012.4).

ЛИТЕРАТУРА

1. Алейников А.А., Бовкунов А. Д. Микромозаичная организация крупнопоротниковых и высокотравных пихто-ельников Печоро-Илычского заповедника // Известия ПГПУ им. В. Г. Белинского. 2011. № 25. С. 38-46.
2. Алейников А. А., Ефименко А. С. Характеристика естественного возобновления кедра сибирского (*Pinussibirica*) в крупнопоротниковых и высокотравных лесах Северного Предуралья // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. 2012. Т.92. № 9. С. 52-57.
3. Алейников А.А., Лазников А. А. Популяционная структура древесных видов разновозрастных елово-пихтарников Северного Предуралья // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. 2012. № 2. С. 32-37.
4. Методические подходы к экологической оценке лесного покрова бассейна малой реки / Отв. ред. Л.Б. Заугольнова, Т.Ю. Браславская. – М.: 2010. 383 с.
5. Смирнова О. В., Алейников А. А., Семиколенных А. А., Бовкунов А. Д., Запрудина М. В., Смирнов Н. С. Пространственная неоднородность почвенно-растительного покрова темнохвойных лесов в Печоро-Илычском заповеднике // Лесоведение. 2011, № 6, с. 67-78.
6. Смирнова О. В., Алейников А. А., Семиколенных А. А., Бовкунов А. Д., Запрудина М. В., Смирнов Н. С. Типологическое и структурное разнообразие среднетаежных лесов Урала / Разнообразие и мониторинг лесных экосистем России. Под ред. акад.А.С. Исаева, 2012 (в печати)

THE STUDY OF FOREST ECOSYSTEMS STRUCTURE USING FIELD-MAP TECHNOLOGY

A. A. ALEYNIKOV

Centre of forest ecology and productivity problems, CEPL RAS

Using practice of Field-map measuring complex in tall herb fir and spruce forest structure study was demonstrated. The unique data on community composition, tree synusia spatial structure, undergrowth distribution and microsites organization was gathered.

БАСЕЙНОВЫЙ АНАЛИЗ ТЕРРИТОРИИ ГОРНОГО УЧАСТКА ПЕЧОРО-ИЛЫЧСКОГО ЗАПОВЕДНИКА

А. А. АЛЕЙНИКОВ, К. А. КОВГАНКО, В. С. СЕНЬКО

Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН

Дано обоснование выбора речного бассейна как территориальной единицы исследования лесного покрова горного участка Печоро-Илычского заповедника. Описана методика автоматического выделения речных бассейнов на основе данных ASTER GDEM. На территории горного участка заповедника выделены бассейны разных иерархических уровней.

На протяжении всей истории человечества лес был и остается одним из основных ресурсов, однако, по мере развития цивилизации его площадь постепенно сокращается. Сокращение площади лесов приводит к различным последствиям, среди которых наиболее важные: изменение климата и гидрологического режима, потеря почвенного плодородия, уменьшение биологической продуктивности и сокращение видового и ландшафтного разнообразия. Современное состояние лесов вынуждает общество принципиально изменить стратегию лесопользования. Для организации экологически обоснованного лесопользования, направленного на сохранение лесным покровом всех экосистемных функций, необходимо детальное изучение закономерностей существования природных лесов, не затронутых антропогенными воздействиями или природными катастрофами.

Исследования природных закономерностей осложняется в связи с малой долей сохранившихся в мире крупных лесных массивов. В бореальных лесах Европейской России

практически единственным таким массивом остается территория Печоро-Илычского заповедника, включенного в Список объектов Всемирного наследия ЮНЕСКО. Заповедный режим на этой территории установлен в 1930 году, однако в 1951 году его площадь была сокращена и частично вырублена. Сохранившиеся после интенсивных послевоенных рубок участки лесов (современная территория заповедника) вновь стали заповедными с 1959 года. Главное преимущество заповедника состоит в том, что часть его территории на протяжении многих столетий развивалась в спонтанном режиме и на ней наиболее четко проявляются природные закономерности функционирования лесов, а на другой части представлены леса на разных стадиях восстановительных сукцессий (гари разных лет, зарастающие пашни и территории бывших деревень).

В нашей работе, в соответствии с последними методическими рекомендациями (Методические..., 2010) для последующей оценки сукцессионного статуса и полноты реализации экосистемных функций в качестве естественных пространственно-функциональных структур выбраны бассейны рек. Такой подход позволяет членить лесной покров исследуемой территории на подсистемы различного иерархического уровня: от бассейнов малых рек до бассейнов крупных рек. Для комплексного изучения биогеоценотического покрова горных и предгорных территорий целесообразно рассматривать крупные и средние бассейны, при этом мы осознаем, что, чем крупнее бассейн реки, тем сложнее его структура.

Цель работы – разделить территорию горного участка Печоро-Илычского заповедника на крупные и средние речные бассейны и определить какие из них могут быть использованы в качестве элементарных территориальных единиц в дальнейших исследованиях.

В качестве исходной информации для выделения бассейнов разного уровня использовалась ЦМР ASTER GDEM второй версии. На этапе предварительной обработки ЦМР была отредактирована в среде ERDAS, для того чтобы исключить из процесса обработки участки, исходные значения которых отсутствуют или имеют некорректные значения высот. Далее, для удаления всех незначительных ошибок и неточностей специальными инструментальными средствами пространственного анализа, входящими в состав дополнительного модуля Spatial Analyst геоинформационной системы ArcGIS (ESRI), было произведено заполнение локальных понижений, главным образом ячеек с неопределенным направлением стока. Таким образом, имея в качестве основы обработанные данные, следующим шагом было произведено построение целочисленного раstra направления стока (в формате grid). Значением каждого пикселя полученного растрового изображения послужило направление из каждой ячейки до ближайшей соседней ячейки вниз по склону наибольшей крутизны. На основании данных о направлении стока и с использованием соответствующего инструмента Spatial Analyst, были выделены водосборные бассейны в рамках окна анализа путем определения линий хребтов (водоразделов) между бассейнами.

На рисунке 1 представлена вся цепочка вышеописанных процессов, которая заключалась в анализе раstra направления стока с целью поиска всех связанных ячеек, которые принадлежат к одной и той же водосборной области.

Горный участок заповедника расположен в бассейне реки Печоры (река I порядка). Для решения поставленных задач в пределах этого участка нами выделены два крупных речных бассейна: собственно Печоры и ее крупного правого притока Илыча (река II порядка). Большая часть (491,8 тыс. га или 70%) территории горного участка оказалась в бассейне Илыча и меньшая часть (213,4 тыс. га или 30%) – в бассейне Печоры. Бассейны такого размера очень неоднородны по геологическому строению, рельефу, почвообразующим породам, растительности и предшествующим антропогенным воздействиям. Поэтому для последующей работы нами выделены бассейны следующего иерархического уровня – наиболее крупных притоков Печоры (реки II-го порядка) и Илыча (реки III-го порядка) (рис. 2). Большая часть выделенных бассейнов полностью расположена в пределах заповедника, за исключением бассейнов рек Кожима (приток Илыча) и Кедровки (приток Печоры), только

часть территории которых относится к заповеднику, а часть – к землям лесного фонда. Характеристика выделенных бассейнов приведена в таблице.

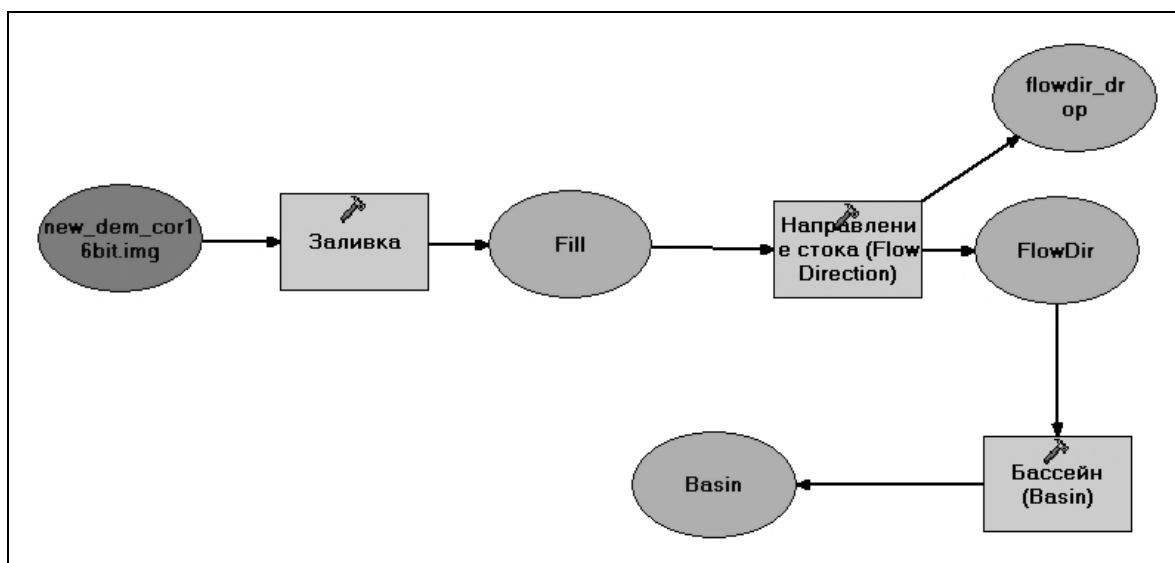


Рис. 1. Блок-схема выделения бассейнов

Таблица . Бассейны крупных рек – притоков Печоры и Илыча горного участка Печоро-Илычского заповедника.

Номер на карте	Главная река	Бассейны		
		река	порядок	площадь, га
1	Печора	Кедровка	II	2754
2	Печора	Большая Шайтановка	II	5075
3	Печора	Большой Шижим	II	4164
4	Печора	Малый Шижим	II	1581
5	Печора	Большая Порожня	II	2726
6	Печора	Малая Порожня	II	881
7	Илыч	Итчет-Анью	III	928
8	Илыч	Ыджид-Анью	III	1903
9	Илыч	Шежимью	III	4605
10	Илыч	Большой Кушшор	III	1783
11	Илыч	Ыджид-ляга	III	9698
12	Илыч	Итчет-ляга	III	3688
13	Илыч	Ыджид-Сотчемьель	III	1123
14	Илыч	Укью	III	9559
15	Илыч	Пырсью	III	6485
16	Илыч	Кожим	III	3916

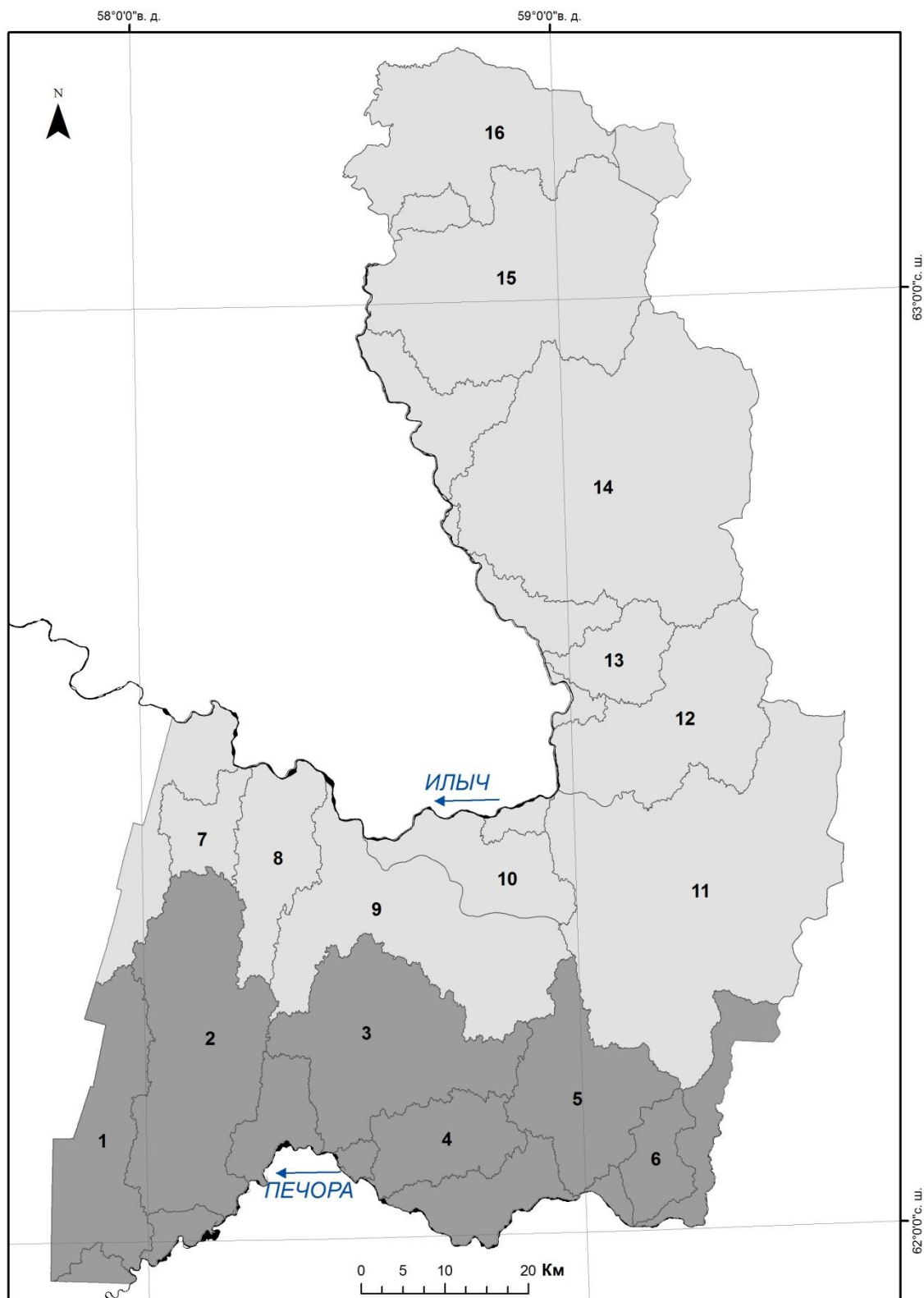


Рис. 2. Речные бассейны горного участка Печоро-Илычского заповедника. Темным цветом выделен бассейн реки Печоры, светлым – бассейн реки Илыч. Цифрами на карте обозначены бассейны средних рек. Названия рек приведены в таблице 1 под соответствующими номерами.

Таким образом, в результате анализа цифровой модели рельефа горного участка Печоро-Илычского заповедника выделены 14 бассейнов средних рек, полностью расположенных на территории заповедника, которые в дальнейшем могут рассматриваться

как элементарные территориальные единицы при комплексных исследованиях биогеоценотического покрова.

Работа выполнена при поддержке фонда РФФИ (проекты № 13-04-01491а и № 13-04-01521а) и гранта Президента РФ (проект МК-2102.2012.4).

ЛИТЕРАТУРА

1. Методические подходы к экологической оценке лесного покрова бассейна малой реки / Отв. ред. Л.Б. Заугольнова, Т.Ю. Браславская. - М.: 2010. 383 с.

BASIN ANALYSIS OF THE MOUNTAIN SECTION OF PETCHORO-ILITCHSKIY RESERVE

A. A. ALEYNIKOV, K.A. KOVGANKO, V.S. SENKO

Center for forest ecology and productivity RAS

The justification of choosing a river basin as a unit for investigation of the forest cover of mountain section in Petchoro-Ilitchskiy reserve was given. The method of automated detection of river basins using ASTER GDEM data was described. Basins of different hierarchical levels were detected at the mountain section.

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ФОРМЫ ПОВЕРХНОСТИ РЕЛЬЕФА НА СТРУКТУРУ И ПРОДУКТИВНОСТЬ ЛЕСНЫХ ЛАНДШАФТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ 3D МОДЕЛИРОВАНИЯ НА БАЗЕ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ (НА ПРИМЕРЕ ЛИСИНСКОГО УЧЕБНО-ОПЫТНОГО ЛЕСХОЗА)

А.С. АЛЕКСЕЕВ, А.А. НИКИФОРОВ

ВПО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова»

На примере участков лесного фонда, расположенных на территории Лисинского учебно-опытного лесхоза Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета, проведена ее классификация и изучено количественное влияние формы поверхности рельефа на структуру и продуктивность лесного растительного покрова. Исследование проведено на основе 3D моделирования и ГИС-технологий. Предложены направления практического использования результатов проведенных исследований.

В настоящее время в ландшафтной экологии считается общепризнанным значительное, а во многих случаях и определяющее, влияние рельефа на структуру и продуктивность лесного растительного покрова (Громцев А.Н., 2008; Киреев Д.М., 2007). Рельеф местности представляет собой постоянно действующий косвенный экологический фактор, в значительной мере детерминирующий энерго-массо-обмен в лесных экосистемах (Алексеев А.С., Черниховский Д.М., 2001; Лисино..., 2009, Черниховский Д.М., Алексеев А.С., 2003) и таким образом характеристики их растительного компонента.

Объектом исследования являются территориальные природные комплексы Лисинского учебно-опытного лесхоза Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета. С точки зрения изучения влияния рельефа на структуру и продуктивность лесного растительного покрова этот объект представляет определенный интерес, так как рельеф здесь выражен слабо, перепады высот не превышают 30-40 метров и в соответствии с лесоустроительной инструкцией территория лесхоза классифицируется как равнина. Поэтому в случае обнаружения сильного влияния рельефа на лесную растительность на территории этого объекта исследований можно ожидать еще более значительного его влияния на других территориях, с более выраженным рельефом местности.

Методика исследования основана на создании многослойной специализированной ГИС на территорию Лисинского учебно-опытного лесхоза в составе информационных слоев,

описывающих рельеф местности, гидрографию, горные породы, таксационные характеристики лесного фонда. ГИС создана в среде MAPINFO PROFESSIONAL 6.0 на основе данных лесоустройства о характеристиках лесного фонда, топографической карты масштаба 1: 100 000, геологической карты Б.Ф. Землякова (Черниковский Д.М., Алексеев А.С., 2003).

Картографические материалы различной тематической нагрузкой были отсканированы по отдельным листам формата А3. Сканирование выполнялось на сканере с высокой разрешающей способностью. В дальнейшем отсканированные листы были «сшиты» и полученные растровые основы были зарегистрированы с использованием проекции Широта/Долгота. Координаты для регистрации изображений были получены в полевых условиях с помощью прибора спутниковой навигации глобальной системы позиционирования GPS.

Векторизация картографических материалов осуществлялась вручную в среде MAPINFO PROFESSIONAL 6.0. В результате были созданы цифровые планы лесонасаждений, состоящие из следующих слоев: границы лесхоза, дач и лесничеств, квартальная сеть, слой лесотаксационных выделов, слой дорожной сети, гидрология и населенные пункты. Цифровой план территории лесхоза в горизонталях и карта геологических пород. Тематическая нагрузка использованных картографических материалов, после тщательной проверки была присоединена к соответствующим информационным слоям.

3D поверхность рельефа территории лесхоза создана методом TIN (Triangulation with smoothing) при помощи программного модуля Vertical Mapper

Анализ 3D модели поверхности рельефа лесхоза показывает наличие четырех частей в составе территории лесхоза по площади соответствующих рангу ландшафтных местностей и различающихся высотой над уровнем моря. Правомерность такого выделения ландшафтных местностей анализировалась с помощью их совмещения с картой представленности горных пород Б.Ф. Землякова (см. рис.1).

Анализ карты представленности горных пород показывает, что три из них: валунные суглинки, ленточные глины и торф занимают наибольшую часть площади лесхоза и закономерно различаются по представленности в четырех выделенных территориальных единицах. Таким образом, с увеличением высоты над уровнем моря закономерно сокращается площадь ленточных глин (с 89 % площади до 0 %), растет представленность валунных суглинков (с 2 % до 57 %) и торфа (с 3 % до 27 %). Также с увеличением высоты над уровнем моря растет представленность песков (валунных с 0,2% до 10% и озерных с 0% до 5%) и убывает площадь аллювиальных отложений (с 5% до 0%).

Геологические особенности выделенных территориальных единиц влияют на тип и плодородие почв и, как следствие, на структуру и продуктивность лесного растительного покрова. Был проведен анализ продуктивности покрытых лесом площадей в зависимости от высоты над уровнем моря. Были рассмотрены две группы выделов, первая – высокопродуктивная, включающая насаждения 1-3 классов бонитетов и, вторая – низкопродуктивная, включающая насаждения 4-5 классов бонитетов. Результаты анализа представлены на рис. 2.

С увеличением высоты над уровнем моря происходит сокращение процента площади занимаемой насаждениями высоких классов бонитета (с 92 % до 74 %) (рис. 2а), соответственно растет процент площади низкобонитетных насаждений (с 8 % до 26 %), так как при этом увеличиваются доли площади с бедными почвами и верховых болот (рис. 2б). Эта закономерность подтверждается соответствующим изменением среднего общего запаса на 1 га покрытой лесом площади (рис.3).

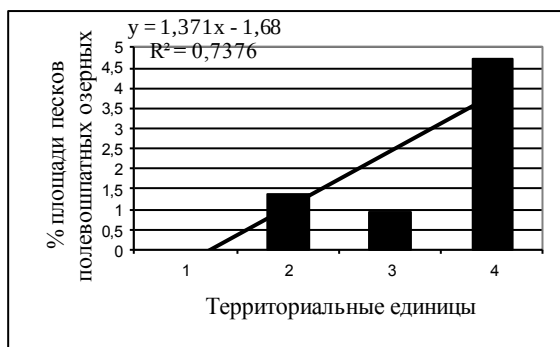
Как видно из рисунка 3 средний общий запас на гектар покрытых лесом площадей закономерно уменьшается с ростом высоты над уровнем моря соответствующих территориальных единиц (с 225 до 202 м³/га).



а)



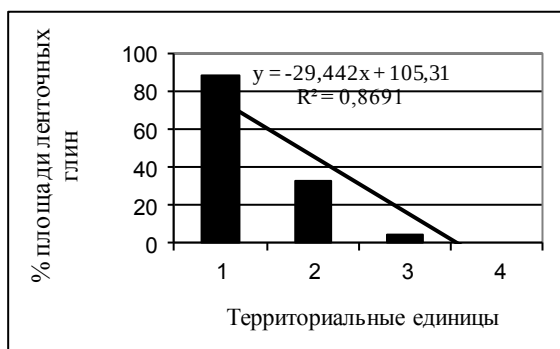
б)



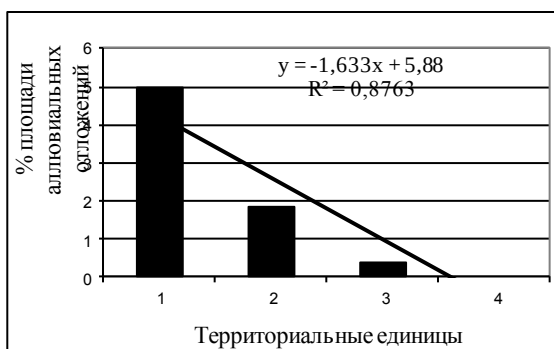
в)



г)



д)



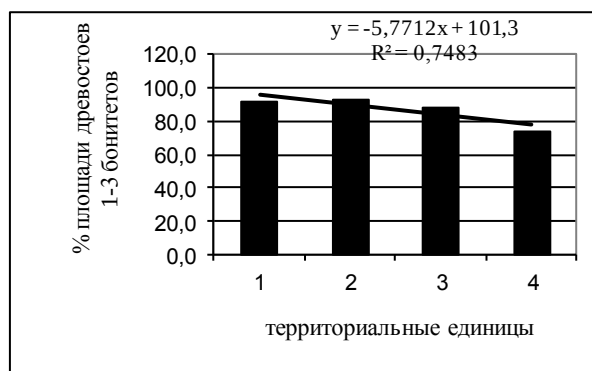
е)

Рис. 1. Распределение площади горных пород по территориальным единицам. а) валунных суглинков, б) валунных песков, в) песков пологошпатных озерных, г) торфа, д) ленточных глин, е) аллювиальных отложений (% от площади территориальной единицы).

В результате проведенных исследований территория была классифицирована на четыре территориальных единицы, каждая из которых различается по высоте над уровнем моря, геологическим породам, типам условий местопроизрастания и как следствие по преобладающим породам, запасам, бонитетам. Выполненный анализ подтверждает гипотезу о важности рельефа местности как косвенного, постоянно действующего экологического фактора, который в значительной, иногда в решающей, степени определяет структуру и продуктивность лесного растительного покрова.

Полученные закономерности могут быть использованы при проведении планового лесоустройства, рекомендуется закрепить выявленные территориальные единицы в качестве постоянных учетно-хозяйственных ландшафтных единиц и разработать для них набор лесохозяйственных мероприятий по использованию, воспроизводству, охране и защите лесов на ландшафтно-экологической основе.

Исследование выполнено при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, соглашение 14.B37.21.1248.



а)



б)

Рис. 2. Распределение площади лесов с разными классами бонитета по территориальным единицам: а) древостой 1-3 класса бонитета, б) 4-5 класса бонитета (% от площади территориальной единицы).

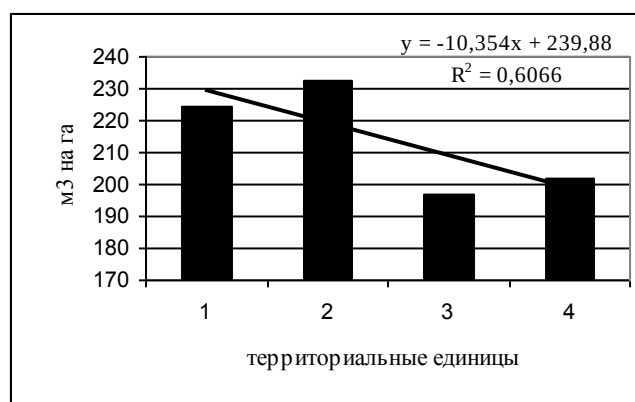


Рис. 3. Распределение среднего общего запаса на 1 га покрытой лесом площади по территориальным единицам

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев А.С., Черниковский Д.М. Структура и продуктивность лесов в связи с формами рельефа Карельского перешейка // Лесоведение. 2001. №3 . С. 23-30.
2. Громцев А.Н. Основы ландшафтной экологии Европейских таежных лесов России. Петрозаводск 2008. 238 с.
3. Киреев Д.М. Лесное ландшафтоведение. Санкт-Петербург. 2007. 540 с.
4. Лисино. 200 лет служения лесам России / Под ред. А.В. Селиховкина. СПб.: СПбГЛТА. 2009. 224 с.
5. Черниковский Д.М., Алексеев А.С. Влияние формы поверхности рельефа на структуру и продуктивность лесных ландшафтов (на примере заповедника Верхне-Тазовский Ямало-Ненецкого АО) // Лесоведение. 2003. №5. с. 10-17.

ANALYSIS OF RELIEF SHAPE INFLUENCE ON STRUCTURE AND PRODUCTIVITY OF FOREST LANDSCAPES USING 3D MODELING AND GIS TECHNIQUE (CASE STUDY FOR LISINO TRAINING AND EXPERIMENTAL FOREST OF LENINGRAD REGION)

A.S. ALEKSEEV, A.A. NIKIFOROV

Saint-Petersburg State forest Technical University

Significant influence of relief shape and elevation on structure and productivity of forest land was revealed using 3D modeling and GIS technique methods for Lisino training and experimental forest of Saint-Petersburg State Forest Technical University. As a data source for analysis inventory data was used as well as geological and topographical maps. It was proved that relief statistically reliable determines the geology, soils, site characteristics, species composition, productivity and growing stock of the forests. Revealed regularities first of all are valuable for forest management planning and inventory as well as for organization of forestry operations including wood harvest.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ В СОВРЕМЕННОМ БОЛОТОВЕДЕНИИ (НА ПРИМЕРЕ БОЛОТ КАРЕЛИИ)

В.К. АНТИПИН^{1,2}, П.Н. ТОКАРЕВ¹

¹Институт биологии Карельского научного центра РАН

²ФГБУ Национальный парк «Водлозерский»

ГИС -технологии активно используются для изучения болот региона. Приводится структура локальной ГИС «Болота Карелии», разработанной на основе лицензионной программы MapInfo. В базе ГИС хранятся преобразованные в цифровой формат данные научных публикаций, архивные и фондовые материалы, материалы современных полевых исследований болот лаборатории болотных экосистем. Важнейшей составной частью ГИС является цифровая картограмма «Заболоченность Карелии». На ее основе разработаны электронные картограммы ресурсов клюквы болотной и морошки на болотах республики.

ГИС-технологии в Карелии базируются на большом научном потенциале, накопленном лабораторией болотных экосистем Института биологии КарНЦ РАН за 63 года ее существования. Сведения о болотах республики имеются в классических работах таких выдающихся отечественных болотоведов, как Г.А. Благовещенский, И.Д. Богдановская-Гиенэф, Ю.Д. Цинзерлинг, Е.А. Галкина, Н.И. Пьявченко, В.Д. Лопатин, М.С. Боч, Г.А. Елина, Т.К. Юрковская.

Болота занимают в Карелии пятую часть ее территории – 3,6 млн. га. Они характеризуются высоким разнообразием на различных уровнях их организации – от флоры до типов болотных массивов и болотных систем. Каждому из них соответствует свой уровень структурной организации, изучение которой предполагает применение разных методов. Болота республики играют важную роль в функционировании и устойчивости ландшафтов региона, являются объектами рекреации и природного туризма, местами сбора ягодных и лекарственных растений. В составе их флоры более 50 видов лекарственных и пищевых растений. Ресурсы ягод клюквы составляют в зависимости от погодных условий от 4 тыс. тонн до 20 тыс. тонн, морошки от 4,4 до 66 тыс. тонн, листьев вахты болотной до 5-6 тыс. тонн, багульника болотного до 7 тыс. тонн.

Для ориентации в пространственном размещении разнообразия болот, их ресурсов и охраны актуальны тематические карты, созданные на основе современных геоинформационных технологий (космические снимки, настольные ГИС и др.). Их использование впервые началось в Карелии в конце 90 годов при изучении болот Национального парка «Водлозерский» (Антипин, Токарев, 2001; Антипин и др., 2005). В начале 2000 года была разработана методика визуального дешифрирования болотной растительности на космических снимках (Spot и Landsat), на ее основе составлялись первые цифровые карты типов болот Карелии (Токарев, 2005). ГИС-технологии стали широко применяться при исследовании торфяно-болотного фонда региона (Токарев, 2001), геоботаническом картировании восстановленной растительности и палеорастительности голоцена (Юрковская, Елина, 2009), составлении карт охраняемых болот Карелии (Токарев, 2005), создании банка геоданных по торфяным ресурсам и запасам углерода на болотах республики (Елина, Токарев, 2010).

В 2006-2011 годах наши исследования были направлены на формирование картографических баз данных и составление цифровых обзорных карт растительных ресурсов, а также карт прогнозной урожайности ягод клюквы на болотах Карелии (Антипин, Токарев, 2008, 2010).

Базы данных и цифровые карты формируются и составляются в среде локальной ГИС «Болота Карелии», разработанной в лаборатории на основе лицензионной программы MapInfo (Токарев, 2005). В ГИС хранятся преобразованные в цифровой формат данные научных публикаций, архивные и фондовые материалы, материалы современных полевых исследований болот лабораторией болотных экосистем. Сюда входят следующие материалы:

- цифровые тематические слои (гидрография, изолинии высот, дорожная сеть, населенные пункты и административные границы) векторной карты Карелии (масштаб 1: 1 000 000, ГП «Аэрогеодезия»);
- цифровая карта торфяных месторождений Карелии (4 714 контуров торфяных объектов, общей площадью 26 тыс. км²);
- растровые многозональные космические снимки Landsat и Spot с различной степенью разрешения,
- эталоны изображений основных типов болотных участков на аэро- и космоснимках,
- растровые изображения геоботанических описаний 482 наземно исследованных болот,
- 955 геопозиционированных (зарегистрированных в системе географических координат) растровых крупномасштабных (1:25000, 1:50000) карт растительности болот, отдешифрованной в 1950-1960-е годы Галкиной Е.А., Елиной Г.А., О.П. Хромцовой, Козловой Р.П. и Юрковской Т.К.,
- цифровые топографические карты Карелии (масштаб: 1:200 000 и др.);
- цифровые карты ключевых (модельных) территорий, созданные для разработки методики картирования растительных ресурсов болот.

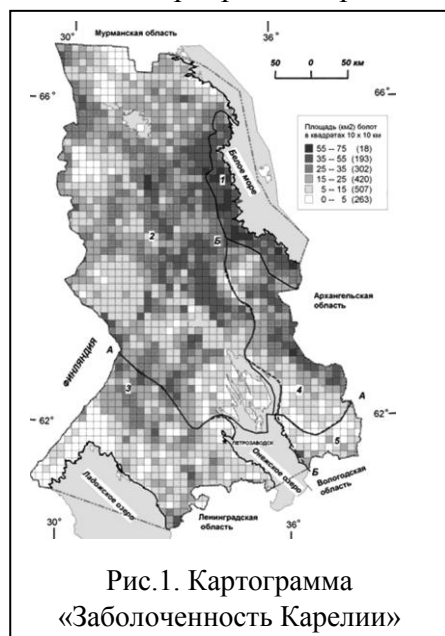


Рис. 1. Картограмма «Заболоченность Карелии»

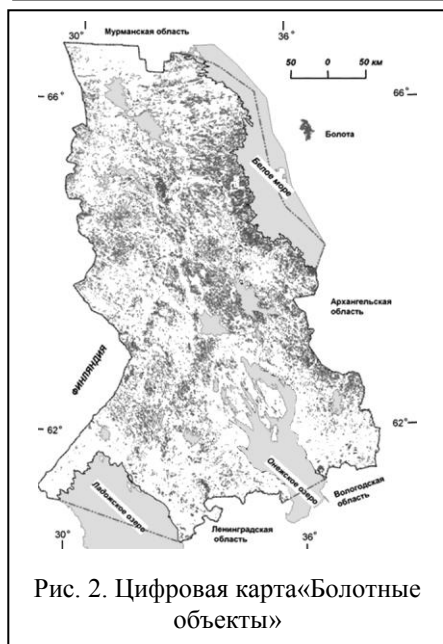


Рис. 2. Цифровая карта «Болотные объекты»

Важнейшей составной частью картографической базы данных ГИС является цифровая картограмма «Заболоченность Карелии» (рис. 1).

На ее основе составлены электронные картограммы ресурсов клюквы болотной и морошки на болотах республики (Антипин, Токарев, 2009). Она представляет собой мелкомасштабную (1: 3 500 000) обзорную карту пространственного распределения ресурсов клюквы по территории Карелии. Эта карта насыщена большим объемом информации о ягодоносных болотных участках, на которых обильно произрастает клюква болотная, географическом характере распределении ресурсов ягод на таких участках. Вместе с тем она является дополнительным источником ресурсоведческой информации. На картограмме видно как неравномерно ресурсы клюквы распределены по территории Карелии. Запасы клюквы сосредоточены в центральной и южной части республики, а на севере они невелики. В тоже время, в наиболее населенных южных районах, особенно вблизи берегов Ладожского и Онежского озер, есть места, где ресурсы клюквы практически отсутствуют. Общий запас ягод клюквы на болотах Карелии, рассчитанный по картограмме с помощью ГИС-технологий, составляет 11,2 тыс. тонн. По картограмме можно также оценить ресурсы клюквы любого административного района Карелии и более мелких территориальных единиц.

В 2010 – 2012 картографическая база ГИС «Болота Карелии» пополнилась новыми оригинальными цифровыми картами и картограммами.

Карта «Болотные объекты Карелии», созданная на основе растровой топографической карты (масштаб 1:200 000), содержит 13 674 оцифрованных по контуру болотных объектов, общей площадью 19,3 тыс. км² (рис. 2). Структура таблицы карты содержит следующие поля:

1. AreaKM – площадь (кв. км) болотного объекта;

2. Troph – тип водно-минерального питания болот: 1 – омбротрофный, 2 – минеротрофный;

3. Veget - Тип болота (по: Елина, Токарев, 2010): 1 – печеночно-лишайниково-сфагновый грядово-озерковый; 2 – сфагновый грядово-мочажинный; 3 – сосново-кустарничково-сфагновый и 4 - пушицево-сфагновый; 5 – травяной и травяно-гипновый; 6 – травяно-моховой грядово-мочажинно-озерковый (аапа); 7 – травяно-моховой слабо структурированный, 8 – кустарничково-осоково-сфагновый, облесенный сосной и березой, 9 – древесно-травяной (лесной).

Карта визуально и количественно отражает пространственное распределение болотных объектов по территории Карелии. Она является основой для картирования типологического разнообразия болот региона.

Следует также отметить, что использование ГИС-технологий позволяет осуществлять мониторинг болотной биоты, оценивать с помощью космических снимков современное состояние болот Карелии, в том числе выявлять сильные воздействия на болота антропогенных и других негативных факторов (например, их осушения или подтопления).

ЛИТЕРАТУРА

1. Антипин В.К., Тарасенко В.В., Токарев П.Н. Тематическая база данных «Болотные экосистемы» геоинформационной системы национального парка «Водлозерский»// Биоразнообразие, динамика и ресурсы болотных экосистем Восточной Финноскандии. Труды Карельского научного центра РАН. Вып. 8. Петрозаводск, 2005. С. 79-93.
2. Антипин В.К., Токарев П.Н. Разработка методики компьютерного выявления разнообразия болотных участков с использованием аэрокосмических материалов Водлозерского национального парка// Биоразнообразие Европейского Севера: теоретические основы изучения, социально-правовые аспекты использования и охраны. Материалы Международной конференции. Петрозаводск 3-7 сентября 2001. - Петрозаводск, 2001. С. 13-14.
3. Антипин В.К., Токарев П.Н. Разработка методики составления электронных картографических баз данных растительных ресурсов болот Карелии // Труды Карельского научного центра РАН. Серия: биогеография. Вып. 12. Петрозаводск, 2008. с. 7-8.
4. Антипин В.К., Токарев П.Н. Создание Электронных оценочных карт ресурсов клюквы // Успехи современной биологии, 2009. Т. 129. № 6. с. 588-597.
5. Антипин В.К., Токарев П.Н. Ягодные растения болот // Мониторинг и сохранение биоразнообразия таежных экосистем Европейского Севера России / Под общей редакцией П.И. Данилова. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2010. С. 36-46.
6. Елина Г.А., Токарев П.Н. Закономерности аккумуляции органики и углерода в болотных экосистемах Карелии // Труды Карельского научного центра РАН. Серия: биогеография. Вып. 10. Петрозаводск, 2010. С. 34-51.
7. Токарев П.Н. Разработка методики компьютерного выявления типов болотных участков по наземным (геоботаническим) и дистанционным признакам на основе современных геоинформационных технологий // Школа-конференция «Актуальные проблемы геоботаники. Современные направления исследований в России: методологии, методы и способы обработки материалов». Материалы Всероссийской Школы-конференции. Петрозаводск 22-26 октября 2001. - ПГУ. С.19-23.
8. Токарев П.Н. Разработка методики дешифрирования на космоснимках основных типов болотных участков Карелии с использованием материалов наземных и дистанционных исследований на основе ГИС-технологий // Труды Карельского научного центра РАН. Вып. 8 Биоразнообразие, динамика и ресурсы болотных экосистем восточной Финноскандии. Петрозаводск, 2005. С. 65-78.
9. Юрковская Т. К., Елина Г. А. Восстановленная растительность Карелии на геоботанической и палеокартах. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2009. 136 с.

USING GIS-TECHNOLOGIES IN THE STUDY MIRES (FOR EXAMPLE OF KARELIA)

V.K. ANTIPIN^{1,2}, P.N. TOKAREV¹

¹ *Institute of Biology, Karelian Research Centre RAS*

² *National Park "Vodlozersky"*

GIS technologies are widely used to study the region's mires. The structure of the local GIS "Mires of Karelia", developed based on the licensed program in MapInfo GIS database is stored in digital format data from scientific

publications, archival and library materials, materials of modern field research. The most important part is the digital GIS cartogram "Swamped Karelia." Based on it were designed electronic resources cartograms cranberry bog in the swamps and cloudberry.

ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В УПРАВЛЕНИИ ОСОБО ОХРАНЯЕМЫМИ ПРИРОДНЫМИ ТЕРРИТОРИЯМИ НА ПРИМЕРЕ НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «БРАСЛАВСКИЕ ОЗЕРА»

Н.А. АРХИПЕНКО¹, А.А. ПУШКИН²

**¹Государственное природоохранное учреждение «Национальный парк
«Браславские озера», Браслав**

²Учреждение образования «Белорусский государственный технологический университет», Минск

Геоинформационные технологии позволяют управлять информацией по природно-территориальным комплексам особо охраняемых природных территорий на новом, более качественном уровне. Это позволяет принимать более обоснованные управленческие решения на основе баланса экологических и хозяйственных функций. В работе представлены результаты разработки геоинформационной системы Национального парка «Браславские озера», ее функциональные возможности и направления использования.

Использование геоинформационных систем (ГИС) и связанных с ними технологий в системе управления особо охраняемыми природными территориями является наиболее совершенной методологией хранения, накопления, анализа и представления данных. Это обусловлено, прежде всего, тем, что ГИС позволяют осуществлять совместную обработку, как пространственных данных, так и связанных с ними атрибутивных табличных данных, характеризующих различные виды земель. Такой подход интегрированного использования пространственных и атрибутивных данных в информационной системе позволяет наилучшим образом анализировать информацию и наиболее эффективно ее использовать.

В лесохозяйственных учреждениях Республики Беларусь, главным образом, используется геоинформационная система «Лесные ресурсы», предназначенная для учета текущих изменений, подготовки рабочих планов лесохозяйственных мероприятий и решения других лесохозяйственных задач. Однако область деятельности Национальных парков гораздо шире и, кроме хозяйственной деятельности на территории экспериментального лесохозяйственного хозяйства (ЭЛОХ), она еще включает проведение научных исследований и туристическую деятельность. В этой связи для Национальных парков и Березинского заповедника созданы специализированные геоинформационные системы на платформе Arc GIS 10. Создание данных систем выполнено в рамках государственной программы развития системы особо охраняемых природных территорий Республики Беларусь.

Разработка и использование геоинформационных систем для управления особо охраняемыми природными территориями выполняется, прежде всего, с целью обеспечения хранения, накопления информации, ее анализа, а также поддержки принятия управленческих решений и мониторинга природно-территориальных комплексов Национальных парков и заповедников.

Опыт разработки ГИС НП «Браславские озера» показывает, что можно выделить три основных направления деятельности Национальных парков, в которых целесообразно применение геоинформационных технологий: лесохозяйственная деятельность, научно-исследовательская работа, туристическая деятельность. В области лесохозяйственной деятельности ГИС может выполнять задачи учета лесного фонда и текущих изменений, планирования хозяйственных мероприятий, осуществления анализа показателей лесного фонда и многое другое. В научно-исследовательской работе на ГИС возлагаются задачи по ведению специализированных баз данных опытных объектов и мониторинга экосистем,

планирования экспериментов и проведения геоинформационного анализа данных. В области туристической и экскурсионной деятельности ГИС способна решать задачи по созданию планово-картографических материалов и Интернет-приложений, популяризирующих туристическую деятельность парка, ведению баз данных туристических объектов, проведению расчетов по оптимизации положения туристических стоянок и маршрутов.

Создание ГИС НП «Браславские озера» выполнялось с учетом вышеизложенных особенностей деятельности парка. Разработка системы выполнена на основе базовой геоинформационной системы ArcGIS 10, а также системы управления базами данных Ms Access. Известно, что функциональные возможности ГИС определяются, главным образом, тремя основными компонентами: программные функции пользователя, состав и структура пространственных данных, состав и структура атрибутивных данных.

Геоинформационная система ArcGIS 10, как и другие полнофункциональные ГИС, имеет ряд базовых программных функций: управление картографическими слоями; создание, редактирование картографических объектов и атрибутивных данных; поддержка внешних баз данных; функции геоинформационного анализа данных и др. Однако для практического использования ГИС в конкретной предметной области зачастую необходимы специальные, наиболее удобные для пользователя программные функции. Данная задача решается путем разработки дополнительных пользовательских приложений. При разработке ГИС НП «Браславские озера» выполнена доработка программных функций пользователя в части идентификации объектов карты, формирования именованных запросов и тематических карт пользователя, создания отчетных документов и анализа атрибутивных данных. Для этого разработано соответствующее программное приложение с использованием среды программирования Visual C⁺⁺. Дополнительные программные функции позволяют выполнять идентификацию объектов и осуществлять запросы к связанным таблицам, отображая при этом только значащие поля атрибутивных таблиц, формировать лесные тематические карты по запросу пользователя, создавать отчетные документы по атрибутивным характеристикам объектов в Ms Excel.

Эффективное использование геоинформационных технологий не представляется без систем глобального позиционирования. В деятельности НП «Браславские озера» в настоящее время выделены два направления использования данных технологий: осуществление навигации по территории и проведение GPS-съемки. В первом случае ГИС устанавливается на мобильное устройство (планшет) и используется для установления границ объектов в натуре, а также идентификации объектов местности и просмотра их характеристик. GPS-съемка используется для актуализации картографической информации и насыщения базы геоданных. При этом достаточно использование базовых программных функций геоинформационной системы ArcGIS 10.

Все используемые в ГИС НП «Браславские озера» пространственные и атрибутивные данные (за исключением растровых слоев) помещены в единую базу геоданных ArcGIS 10, что упрощает администрирование и доступ.

Учитывая особенности ведения хозяйственной и природоохранной деятельности, пространственные и атрибутивные данные ГИС НП «Браславские озера» созданы отдельно на территорию непосредственно самого Национального парка и экспериментального лесохозяйственного хозяйства. При этом пространственные данные включают три базовых компонента: лесные карты, карты специальных обследований, материалы космической съемки. Все данные находятся в единой системе координат WGS 84, что облегчает в последующем использование материалов космической съемки и данных GPS-съемки.

Используемые в ГИС лесные карты получены в результате проведения базового лесоустройства и включают стандартный перечень картографических слоев (границы кварталов, выдела, дороги, населенные пункты, административные границы, гидрография и др.). Карты специальных обследований получены в результате проведения дополнительных обследований территории Национального парка и содержат слои туристических объектов, мест обитания редких животных и произрастания редких растений, глубин озер,

функционального зонирования территории, пунктов мониторинга и др. Создание данных карт осуществлялось путем векторизации объектов по ранее созданным картографическим материалам. Данные космической съемки представлены снимками со спутников QuickBird, RapidEye и предназначены для увеличения информативности картографических данных. Пространственные данные также содержат детальные схемы туристических стоянок, подключаемые к объектам цифровой карты.

К картографическому слою таксационных выделов предусматривается подключение повыдельной лесотаксационной базы данных, полученной в результате проведения базового лесоустройства. Таблицы атрибутивных данных также подключаются к ряду картографических слоев специальных обследований: дополнительные ограничения хозяйственной и рекреационной деятельности, туристические объекты, места обитания редких животных, места произрастания редких растений, функциональные зоны и др. Наличие подключенной к картографическим слоям атрибутивной информации позволяет пользователям создавать запросы, формировать тематические карты и отчетные документы, проводить геоинформационный анализ данных.

Атрибутивные данные ГИС НП «Браславские озера» включают два основных компонента: повыдельные лесотаксационные данные, полученные при базовом лесоустройстве, а также атрибутивные данные, характеризующие картографические слои специальных обследований. Повыдельная база данных, формируемая РУП «Белгослес» в результате лесоустройства, имеет достаточно сложную структуру, закодированные показатели и ее непосредственное использование в ГИС не представляется возможным. В этой связи при создании ГИС НП «Браславские озера» выполнялось преобразование данных с использованием ряда специализированных SQL-запросов в MS Access. В результате проведенных преобразований повыдельная база данных содержит две связанных между собой таблицы. Первая таблица содержит показатели, характеризующие таксационный выдел в целом (площадь, бонитет, тип леса, преобладающий древесный вид и др.), вторая – показатели, характеризующие элементы леса (для покрытых лесом земель). С целью формирования отчетных документов с использованием программных функций MS Access непосредственно в базе геоданных разработан ряд запросов, позволяющих создавать формы по учету лесного фонда (форма 1, форма 2). При этом перечень форм отчетных документов может быть расширен пользователем на основе содержащейся в базе данных информации.

В целом, внедрение ГИС в НП «Браславские озера» позволило уже на начальном этапе систематизировать имеющуюся информацию, полученную в результате различных обследований территории, перевести все данные на единую платформу, что позволяет обеспечить совместный анализ данных разных источников. В настоящее время ГИС НП «Браславские озера» на основе базовых и разработанных программных функций, а также созданной базы геоданных, позволяет решать задачи по формированию запросов и созданию тематических карт, созданию отчетной документации по запросу пользователя, использованию средств глобального позиционирования, подготовки планово-картографических материалов, ведению специализированных баз данных и проведения геоинформационного анализа информации.

GIS-TECHNOLOGIES IN THE MANAGEMENT OF PROTECTED NATURAL AREAS ON THE EXAMPLE OF NATIONAL PARK «BRASLAV LAKES»

N.A. ARCHIPENKO, A.A. PUSHKIN

¹State environmental agency National Park «Braslav Lakes», Braslav

²Belarusian State Technological University, Minsk

GIS technologies allow managing information on environmental systems of protected areas in the new, more qualitative level. This allows us to make more informed management decisions based on a balance of ecological and economic

functions. The paper presents the results of the development of geographic information system of the National Park «Braslav Lakes», as well as its functional features and direction of practical use.

БОРЕАЛЬНЫЕ ЛЕСА СИБИРИ И МОНГОЛИИ НА ЮЖНОЙ ГРАНИЦЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ И ПРОБЛЕМЫ ИХ КАРТОГРАФИРОВАНИЯ

М.В. БОЧАРНИКОВ, Г.Н. ОГУРЕЕВА

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

Бореальные леса Сибири и Монголии на своей южной границе распространения имеют региональные различия в структуре и разнообразии в зависимости от типа поясности и положения в спектре высотных поясов растительности. Общей чертой является экспозиционный характер распространения. Мозаичный растительный покров исследуемой территории обуславливает использование гетерогенных единиц при геоботаническом картографировании.

Бореальные леса на южной границе своего распространения образуют прерывистую полосу в горных районах от Западного Алтая и Восточного Казахстана до Хэнтэя в Монголии и восточных границ распространения на севере Китая. В зоне контакта с горностепным поясом горные бореальные леса распространены в соответствии с экспозиционной структурой склонов, чередуясь со степями. Они занимают, как правило, более увлажненные склоны северной и западной экспозиций различной крутизны и имеют разное положение в спектре высотно-поясных подразделений (лесостепной, горнотаежный, псевдотаежный пояса), что связано с различным положением горных массивов в системе гор Северной Азии. Здесь развиты следующие группы типов поясности субаридного класса: *Монголо-Алтайская группа* (Тувинно-Юго-Восточно-Алтайский, Монголо-Алтайский типы), *Хангайская группа* (Западно-Хангайский, Центральнo-Хангайский, Северо-Восточно-Хангайский, Юго-Восточно-Хангайский типы), *Хэнтэйская группа* (Хэнтэйский тип). Каждый тип поясности характеризуется своими географическими вариантами бореальных лесов и разным положением в структуре высотных поясов (рис. 1).

Лесостепной пояс или пояс оробореальной лесостепи Сибири формируется в биоклиматических условиях со средними годовыми температурами от -4 до $+2^{\circ}$, $\sum t > 10^{\circ} = 1200-1600^{\circ}$, и годовой суммой осадков 300-800 мм. Пояс расположен на Северном Алтае и Хакасии на высотах 600-800 м, в центральном Алтае и Туве – 800-1200 м, в Хангае и западном Хэнтэе на высотах 800-1300 м, поднимаясь до 1850-2100 м в Западном Хангае.

Для пояса характерны экспозиционные сочетания лиственничных (*Larix sibirica*), березово-лиственничных, местами сосновых (*Pinus silvestris*) остепненных разнотравно-осоково-злаковых (*Calamagrostis krylovii*, *Geranium pseudosibiricum*, *Iris ruthenica*, *Carex pediformis*, *C. macroura*, *C. amgunensis*, *Poa sibirica*, *Trollius asiatica*) лесов и луговых степей (*Helictotrichon altaicum*, *Phleum phleoides*) с петрофитноразнотравно-злаковыми степями (*Stipa capillata*, *Koeleria cristata*, *Agropyron cristatum*) и зарослями кустарников. В северо-восточной части Хангая, в бассейне р. Онон сосновые, сосново-лиственничные и березовые леса (*Pteridium pinetorum* ssp. *sibiricum*, *Carex macroura*) развиты на высотах 1000-1500 м. В западной части Хангая лиственничные, местами с кедром, разнотравные, осоково-разнотравные, вейниково-разнотравные (*Carex amgunensis*, *Calamagrostis krylovii*) леса развиты в пределах 1850-2100 м. Верхняя граница леса проходит на высоте 1700-2000 м на Алтае, на высоте 2000-2200 м в Монгольском Алтае и на Хангае.

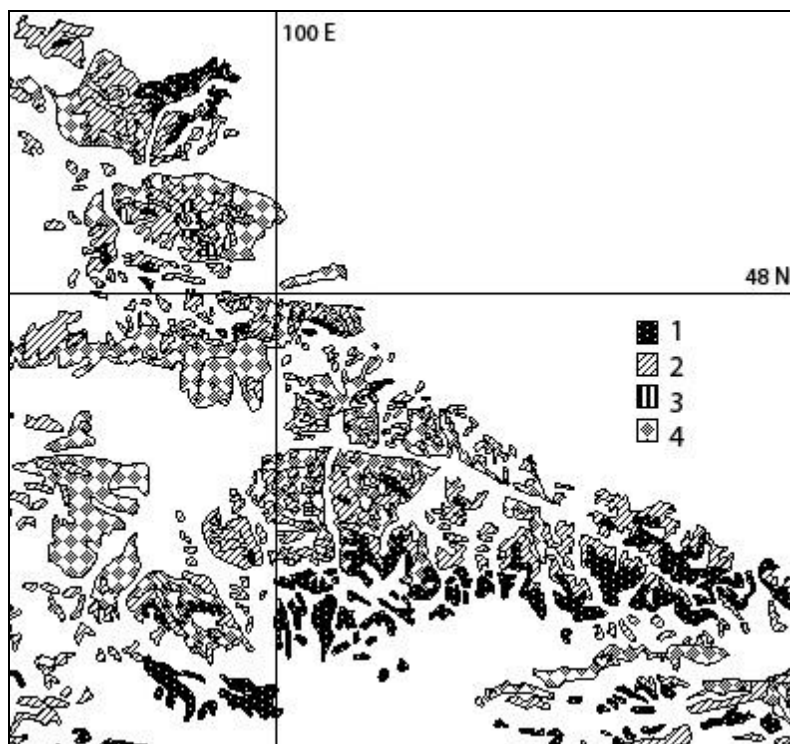


Рис. 1. Леса на юге бореальной области (Центральный Хангай, Монголия). 1 – леса подгольцового пояса; 2 – псевдотаежные леса; 3 – горнотаежные леса; 4 – леса лесостепного пояса.

Горнотаежные лиственничные и кедрово-лиственничные леса у южной границы встречаются на Хэнтэе и Восточном Прихубсугулье (изредка с участием пихты сибирской) на высотах 2000-2300 м. Леса кустарничково (*Vaccinium vitis-idaea*, *V. myrtillus*) – зеленомошные, бадановые, разнотравно-брусничные. Отдельные массивы горной тайги встречаются в северных районах Хангая, где они расположены на склонах северных экспозиций на высоте 1200-1900 м. На Западном Хангае на северном склоне на высоте 1850-1900 м встречаются лиственничные с участием кедра зеленомошные, бруснично-зеленомошные, злаковые (*Festuca altaica*, *Poa sibirica*) леса.

Псевдотаежные леса широко развиты в Центральном Хангае, фрагментарно встречаются в Монгольском Алтае, Юго-Восточном Алтае и на юге Тувы (Коротков, 1976). Они развиваются в экстремально-континентальных холодных условиях высокогорий (годовая сумма осадков – до 300 мм, среднегодовая температура – до -5°) на лесных мерзлотных грубогумусовых почвах в пределах 1800–2400 м и контактируют с подгольцовыми лесами.

Псевдотаежные лиственничные леса с *Larix sibirica* занимают склоны северных экспозиций. Это реликтовые лиственничники плейстоценового комплекса. В их составе участвуют альпийские, разнотравные, степные виды и почти отсутствуют таежные бореальные. Характерен моховой покров, определяющий их специфику (*Rhytidium rugosum*, *Abietinella abietina*) и виды разнотравья (*Geranium pseudosibiricum*, *Aconitum barbatum*, *Lathyrus humilis*, *Thalictrum minus*, *Poa sibirica*, *Festuca altaica*). Развиты осочковые (*Carex pediformis*, *Carex amgunensis*, *Trisetum sibiricum*), бруснично-мшистые (*Vaccinium vitis-idaea*), рододендроново-бруснично-зеленомошные типы леса. На склонах южных экспозиций отмечаются петрофитные варианты луговых (*Carex pediformis*), ковыльковых, карагановых степей монгольского типа. На северном склоне Хангая на высотах 2400-2500 м находится узкая полоса подгольцовых лиственничных с участием кедра бруснично-моховых с ритидиумом редколесий.

Подгольцовые редкостойные лиственничные и кедрово-лиственничные леса формируются в условиях холодного и влажного воздуха высокогорий у верхней границы

леса (2300-2600 м) на мерзлотно-таежных торфянистых почвах в Монгольском Алтае, Юго-Восточном Алтае, Туве и Хангае в условиях сухого и холодного субаридного климата монгольского типа ($\sum t > 10^\circ$ до 800°).

Отмечается строгая экологическая локализация подгольцовых лесов, приуроченность к склонам северных экспозиций. Преобладают криофитные ерниковые, бруснично-голубично-аулакомниевые, овсяницево-аулакомниевые, кустарничково-моховые, кобрезиевые и дриадовые (*Carex pediformis*, *Bistorta vivipara*, *Festuca kryloviana*, *Cobresia myosuroides*, *Pachypleurum alpinum*) лиственничные леса в сочетании с криофитными степями (*Festuca tschujensis*, *Poa attenuata*, *Oxytropis eriocarpa*, *Artemisia frigida*). Для лиственничных, кедрово-лиственничных редколесий и редин характерно участие тундрово-альпийских видов: *Betula rotundifolia*, *Salix glauca*, *S. reticulata*, *Arctous alpina*, *Dryas oxyodonta*, *Festuca altaica*, *Pedicularis verticillata*, *Dracocephalum grandiflorum*, *Hedysarum alpinum*, *Cobresia bellardii*. На Монгольском Алтае на моренных отложениях развиты сложные сочетания лиственничных редколесий, ерников и остепненных вариантов кобрезиевых лугов и тундр. На высотах 2300-2400 м развиты редкие несомкнутые древостои лиственницы с подлеском из рододендрона, алтайской жимолости, круглолистной березки.

Особое внимание при картографировании горной растительности необходимо уделить закономерностям пространственной структуры растительного покрова высотно-поясных подразделений. В соответствии с представлениями о структурно-динамическом единстве растительного покрова (Сочава, 1979), высотно-поясные различия могут диагностироваться как гомогенными, так и гетерогенными единицами, состав и характер размещения по территории которых имеет внутривысотную специфику. Важными диагностическими критериями высотной поясности растительности выступают биоклиматические параметры. Они используются для построения гидротермических ареалов растительных сообществ (Базилевич и др., 1986; Назимова и др., 2006) в системе координат важнейших факторов (радиационный баланс, увлажнение, сумма активных температур). Данные параметры прочно вошли в аналитические работы по структуре высотной поясности растительности гор, в том числе и при картографировании растительного покрова (Букс, 1976).

При картографическом изучении сложно устроенного в пространственной организации растительного покрова на юге бореальной области следует учитывать экотонный характер этой территории. В данном случае рассматривается макроуровень (зоноэкотон в трактовке Walter, Vox, 1976), в котором формируется макромозаичный растительный покров. Важную роль в его исследовании играет специфика геоморфологических процессов горных склонов и их структуры, под которой понимается упорядоченное в типологическом отношении разнообразие рельефа. На важнейших связях форм рельефа и растительности построены классификационные системы растительности горных территорий и районов с проявлением склоновых процессов. В качестве примеров стоит привести классификации фитогеоморфологических комбинаций в горах Южной Сибири Б.Б. Намзалова (1991), территориальных единиц растительного покрова для тундровой зоны А.Е. Катенина (1988), типов фитокален Юго-Западного Алтая (Огуреева, 1994), гетерогенных типов структур растительности Восточной Монголии (Огуреева и др., 2011).

В конечном счете, при различии подходов к анализу высотно-поясной структуры растительного покрова на разных уровнях детализации, она связана с ландшафтными условиями определенной системой абиотических и биотических факторов. На ландшафтном уровне раскрывается все многообразие компонентов высотно-поясных структур и факторов дифференциации растительности. На данных позициях для горных территорий основывается геосистемная организация и раскрывается глубокая взаимосвязь структурных и динамических свойств растительности (Сочава, 1978).

Среди факторов дифференциации пространственной структуры растительного покрова ключевую роль играют биоклиматические, определяющие высотно-поясные подразделения, и лито-эдафические условия, воздействующие на закономерности внутривысотного распределения растительности в соответствии с экологическими условиями крутых и

пологих, теневых и световых, наветренных и подветренных склонов. Склоновая дифференциация определяет структуру растительного покрова юга бореальной области. Леса образуют сложные пространственные сочетания со степями и тундрами в зависимости от занимаемого высотного пояса. Раскрытие данной структуры возможно при разномасштабном картографировании. На картах крупного масштаба фрагменты лесов правомочно показывать как гомогенные единицы. В этом случае каждый выдел представляет определенный иерархический уровень классификации растительности. Карты среднего масштаба позволяют выявить на фоне общих географических особенностей растительности региональные черты ее пространственной структуры. На них возможен показ гетерогенных структур растительного покрова. Наиболее характерны для территорий юга бореальной области будут экспозиционные сочетания фитокаATEN, представляющие собой гетерогенные единицы растительного покрова, сформированные в условиях горного рельефа при закономерном чередовании склонов разных экспозиций. Различия в составе и структуре растительных сообществ связано с перераспределением экологических факторов. Мезоклиматические условия теневых и световых склонов являются наиболее характерными факторами дифференциации растительности при выделении экспозиционных сочетаний.

ЛИТЕРАТУРА

1. Базилевич Н.И., Гребеников О.С., Тишков А.А. Географические закономерности структуры и функционирования экосистем. М.: Наука. 1986. 296 с.
2. Букс И.И. Методика составления и краткий анализ корреляционной эколого-фитоценотической карты Азиатской России, м. 1: 7 500 000 // Геоботаническое картографирование. 1976. Л., 1976. С. 44-51.
3. Катенин А.Е. Классификация неоднородных территориальных единиц растительного покрова на примере растительности тундровой зоны // Бот. журн. 1988. Т. 73. № 2. С. 186-197.
4. Коротков И.А. Географические закономерности распределения лесов в Монгольской Народной Республике // Бот. журн. 1976. Т. 61. № 2. С. 145-153.
5. Назимова Д.И., Андреева Н.М., Поликарпов Н.П., Софронов М.А. Концепция лесорастительной зоны как структурной части биогеоценотического покрова // Лесоведение. 2006. № 1. С. 3-13.
6. Намзалов Б.Б. Опыт крупномасштабного картирования растительности гор юго-восточного Алтая // Геоботаническое картографирование. 1991. СПб., 1992. С. 46-63.
7. Огуреева Г.Н. Структурно-динамические категории в растительном покрове горных территорий // Бюлл. МОИП. Отд. биол., 1994. Т. 99. Вып. 2. С. 76-85.
8. Огуреева Г.Н., Микляева И.М., Бочарников М.В., Дудов С.В., Тувшинтогтох И., Жаргалсайхан Л. Пространственная организация и разнообразие степей Восточной Монголии // Аридные экосистемы. 2011. Т. 17. № 46. С. 14-25.
9. Сочава В.Б. Введение в учение о геосистемах. Новосибирск: Наука. 1978. 292 с.
10. Сочава В.Б. Рубежи на геоботанических картах и буферные растительные сообщества // Геоботаническое картографирование. Л.: Наука. 1979. С. 3-11.
11. Walter H., Box E. Global classification of natural terrestrial ecosystems // Vegetatio. 1976. V. 32. N. 2. P. 73-81.

BOREAL FORESTS OF SIBERIA AND MONGOLIA ON THE SOUTH BORDER OF DISTRIBUTION

M.V. BOCHARNIKOV, G.N. OGUREEVA

Lomonosov Moscow state university

Boreal forests of Siberia and Mongolia on the south border of distribution have regional distinctions. The structure and a diversity of forests depends on type of high zonality and situation in a range of high-rise belts of vegetation. Common feature is expositional type of distribution. The mosaic vegetation cover of the studied territory causes use of heterogeneous units at geobotanical mapping.

БАЗА ДАННЫХ ПО МНОГОЛЕТНЕЙ ДИНАМИКЕ ДРЕВОСТОЕВ НА ПОСТОЯННЫХ ПРОБНЫХ ПЛОЩАДЯХ В ЛЕСНЫХ СООБЩЕСТВАХ ПОДМОСКОВЬЯ

Т.Ю. БРАСЛАВСКАЯ¹, А.В. АБАТУРОВ², А.П. КУЛЕШОВ³

¹ Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН

² Институт лесоведения РАН

³ ФГКУ «Территориальное управление лесного хозяйства Минобороны РФ»

В базе систематизированы данные многолетних наблюдений за древостоями, проводившихся в северном Подмоскowie с 1975 г. по настоящее время на 23 пробных площадях (от 600 до 1850 деревьев на одной площади в начале исследований). Обсуждается круг задач, для решения которых может быть использована база, и приводятся примеры уже опубликованных обработок данных.

Систематические исследования лесов Подмоскowie (в границах лесопаркового пояса г. Москвы) были начаты Институтом лесоведения РАН (тогда – Лаборатория лесоведения) в середине 1970-х годов. Несколько десятков пробных площадей (0,25-2,25 га) были заложены и в северном Подмоскowie – в Лосино-Погонном, Лосиноостровском, Алексеевском, Красногорском и Хлебниковском лесопарках (первые три из них входят в состав государственного национального парка «Лосиный остров», организованного в 1983 г.); среди исследованных сообществ – ельники, березняки, сосняки, липняки. Программа, методика и первые результаты их изучения ранее публиковались (Речан С.П. и др., 1993). После заложения и первого обследования пробных площадей в дальнейшем раз в несколько лет проводились повторные обследования древостоя (вплоть до 2010-2012 гг.) и живого напочвенного покрова (до 2003 г.). Результаты этих многолетних наблюдений за динамикой типичных лесных сообществ подтаежной подзоны тоже опубликованы (Абатуров, Антюхина, 2000; Абатуров, Меланхолин, 2004; Абатуров, Кулешов, 2009; Браславская и др., 2009).

В ходе этих исследований основой изучения древостоев была маркировка живых и сухих деревьев с диаметром ствола от 2 см (на высоте 1,3 м) постоянными номерами и подеревное картирование каждой ППП (с нанесением проекций крон), измерение диаметров деревьев при первом обследовании. При повторных обследованиях выполнялись проверка сохранности и подновление маркировки на деревьях с опорой на план древостоя, учет отмерших деревьев, измерение диаметров и определение категории санитарного состояния у живых деревьев, а также маркировка, измерение и нанесение на план древостоя деревьев, достигших учетного размера в период между обследованиями. В ряде случаев был проведен учет экземпляров лесообразующих видов с диаметром ствола менее 2 см.

Перевод данных всех обследований в электронную форму был начат в 1980-е годы. Создание полноценной базы данных, аккумулирующей результаты проведенных наблюдений, было начато в 2006 г. База реализована на платформе MsAccess. Структура базы включает несколько соподчиненных основных таблиц. Реестр пробных площадей (23 записи) содержит информацию об их местонахождении, размере, типе леса, методике обследований, публикации обработанных данных. Ему подчинена ведомость всех обследований, которая содержит 121 запись; указаны год и исполнители обследования (для разных пробных площадей число обследований составило к настоящему времени от 2-х с интервалом 35 лет до 7-8-ми с интервалами 3-7 лет). Следующий уровень подчинения представлен таблицами с информацией о конкретных деревьях. Общая по всем обследованиям учетная ведомость живых и сухих деревьев (всего 29162 записей – от 600 до 1850 деревьев в одном обследовании) содержит номера деревьев, информацию об их расположении на пробных площадях (декартовы координаты в локальной системе отсчета каждой пробной площади), площадь проекции кроны в момент составления плана древостоя, результаты каждого обследования – диаметр ствола, категорию санитарного состояния, характеристику особенностей роста и повреждений ствола и кроны. С общей ведомостью

деревьев связана ведомость модельных деревьев, изучавшихся более подробно (с измерением высоты и протяженности живой кроны, определением календарного возраста). Ряд справочных таблиц используется для стандартизированного заполнения полей с качественными характеристиками в ведомости деревьев.

Оцифровка планов древостоев была частично проведена при подготовке ряда публикаций (Абатуров, Меланхолин, 2004).

Аккумулятивные материалы ориентированы на решение различных задач лесной экологии, таких как сравнительный анализ закономерностей роста и конкурентных отношений лесообразующих видов (Браславская и др., 2009; Абатуров, Галицкий, 1995) в чистых и смешанных по составу древостоях, изучение и моделирование спонтанных возобновительных процессов и смены поколений в древостоях (Абатуров, Кулешов, 2009; Браславская и др., 2009). В начале наблюдений возраст древостоев на заложенных пробных площадях составлял от 70 до 100 и более лет, а в настоящее время эти древостои начинают распадаться – быстро или медленнее, под влиянием возраста, ветровала и бурелома, вредителей и болезней. Данные многолетних наблюдений позволяют судить о перспективах спонтанного формирования древостоев следующего поколения, а в связи с этим – оценивать эффективность различных лесохозяйственных мероприятий, направленных на воспроизводство леса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Речан С.П., Малышева Т.В., Абатуров А.В., Меланхолин П.Н. Леса Северного Подмосквия. М.: Наука, 1993. 314 с.
2. Абатуров А. В., Антюхина В.В. Динамика ельников на территории лесопаркового защитного пояса Москвы // Динамика хвойных лесов Подмосквия. М.: Наука, 2000. С. 86-109.
3. Абатуров А.В., Меланхолин П.Н. Естественная динамика леса на постоянных пробных площадях в Подмоскovie. Тула: Гриф и К, 2004. 336 с.
4. Абатуров А.В., Кулешов А.П. Мониторинг естественно-произрастающих древесных пород // Мониторинг природного наследия. Сборник статей. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2009. С. 70-104.
5. Браславская Т.Ю., Нагаев Б.Э., Харитонова Т.А., Худяков И.С. Многолетняя динамика ценопопуляций древесных видов в ходе распада старовозрастного березняка // Научные труды нац. парка «Лосиный остров». М.: ВНИИЛМ, 2009. Вып. 2. С.46-60.
6. Абатуров А.В., Галицкий В.В. О машинной обработке планов древостоев // Экология. 1995. № 3. С. 184-192.

A DATABASE ON LONG-TERM DYNAMICS OF TREE STANDS WITHIN PERMANENT PLOTS (MOSCOW REGION)

T.YU. BRASLAVSKAYA¹, A.V. ABATUROV², A.P. KULESHOV³

¹ Center for forest ecology and productivity RAS

² Forest science Institute, ILAN RAS

³ Territorial forest department of Defence Ministry

The worked out database accumulates results of tree stand observation in Moscow region within 23 permanent plots since middle 1970s until now. Such data are useful for modeling of tree growth and competition in stands, assessment of regeneration perspectives in course of forest succession.

КАРТОГРАФИРОВАНИЕ ПОПУЛЯЦИЙ ИНВАЗИВНЫХ РАСТЕНИЙ НА ГОРОДСКИХ ООПТ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДЗЗ (НА ПРИМЕРЕ ЗАКАЗНИКА «ВОРОБЬЁВЫ ГОРЫ»)

О.Д. ВАСИЛЬЕВ¹, А.И. МИХЕЕВА¹, Н.Г. КАДЕТОВ^{1,2}

¹Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

²Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН

В границах региональной особо охраняемой природной территории, расположенной в пределах крупного города, были комплексно закартографированы все популяции ряда наиболее опасных инвазивных видов растений. Составлена тематическая база данных. Проведена оценка численности и активности внедрения этих видов в фитоценозы. Отработанная методика выступает основой мониторинга популяций инвазивных видов на локальном уровне.

В настоящее время инвазии (внедрение) чужеродных видов растений представляют собой одну из актуальнейших проблем природопользования. При внедрении в естественные сообщества инвазивные виды способны вызвать полное изменение их состава и структуры, там самым сокращая возможность нормального функционирования экосистем и снижая их устойчивость. Некоторые виды представляют угрозу здоровью человека. Неконтролируемое их распространение приводит к крупным экономическим потерям.

Большая часть известных инвазивных видов обладает крайне высокой биологической активностью и способна внедряться во многие естественные фитоценозы. Управление их популяциями – одна из важнейших нерешённых проблем, стоящая перед современным хозяйством. В связи с этим особую актуальность представляют вопросы ведения кадастров популяций инвазивных видов, их картографическое сопровождение и мониторинг, а также выработка приемлемых мер борьбы с ними (Виноградова и др., 2010; Морозова, Борисов, 2010).

Целью исследования, проведённого летом и осенью 2012 г., было картографирование всех популяций наиболее опасных инвазивных видов на локальном уровне в условиях крупного города (на примере природного заказника «Воробьёвы горы») и оценка степени их опасности.

В рамках полевого обследования территории были закартографированы все популяции наиболее агрессивных травянистых инвазивных видов: борщевика Сосновского (*Heracleum sosnowskyi*), недотроги железистой (*Impatiens glandulifera*), рейннутрии (*Reynoutria japonica*, *R. x bohemica*). Оценена доля присутствия в древесном ярусе инвазивного клёна ясенелистного (*Acer negundo*), подобраны материалы для эталонного дешифрирования.

На основе полученных полевых данных и материалов ДЗЗ (космический снимок *Ikonos* июля 2009 г., пространственное разрешение 0,6 м) составлены карта актуальной растительности заказника, карты распространения травянистых инвазивных видов и карта максимальных долей присутствия в древесном ярусе клёна ясенелистного. Для дешифрирования растительных сообществ был выбран визуальный метод как наиболее достоверный для данной задачи. Границы растительных сообществ на схеме дешифрирования были уточнены в поле.

В результате выявлен характер биотопической приуроченности наиболее агрессивных видов, проведена оценка их численности и активности внедрения в растительные сообщества заказника.

В большинстве случаев наиболее многочисленные группы изучаемых видов приурочены к наименее стабильным участкам: бровки крутых склонов, ложбины близ водотоков. Борщевик Сосновского массово представлен на участках, испытавших в недавнем прошлом антропогенную трансформацию (склон ниже здания Президиума РАН). Рейннутрия наблюдается в схожих условиях, а также в липовых и кленовых, часто с примесью клёна

ясенелистного, насаждениях. Благодаря высокой способности к вегетативному размножению она образует мощные заросли, занимающие сравнительно значительную площадь. Нами отмечено, что заросли этого вида имеют практически моновидовой состав. Основные группы недотроги железистой приурочены к сырым ложбинам (участки разгрузки грунтовых вод) и окрестностям водотоков. Чаще всего их формирование отмечено под пологом ольхи чёрной, ясеней и липы. В большинстве локусов недотрога выступает как доминант или содоминант травяного яруса.

Для каждого из этих видов составлена база данных, содержащая сведения о численности вида в каждом отмеченном локусе, жизненности, фитоценозе, возможных угрозах со стороны вида и предлагаемых для данного локуса мер по контролю численности вида или его уничтожению.

Ряд популяций в заказнике находится в непосредственной близости к популяциям редких и охраняемых растений (Кадетов, 2011), а также к наиболее ценным с природоохранной позиций сообществам (дубово-липовые с вязом леса, черноольшаники), тем самым представляя угрозу их сохранности. В ряде случаев (как, например, в восточной части заказника, вблизи Первой экологической тропы, или в северной части неподалёку от комплекса резиденций МИД) уже произошло внедрение недотроги железистой и рейнвуртии в подобные сообщества.

На основе полученных материалов возможна выработка наиболее эффективных и приемлемых для каждой конкретной популяции мер борьбы и мониторинг их состояния.

ЛИТЕРАТУРА

1. Виноградова Ю.К., Майоров С.Р., Хорун Л.В. Чёрная книга флоры Средней России: чужеродные виды растений в экосистемах Средней России. М.: ГЕОС. 2010. 512 с.
2. Кадетов Н.Г. Редкие виды растений города Москвы во флоре природного заказника «Воробьёвы горы» // Роль ботанических садов и охраняемых природных территорий в изучении и сохранении разнообразия растений и грибов: Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием (13-16 октября 2011 г., Ярославль). – Ярославль, Изд-во ЯГПУ. 2011. С. 131-133.
3. Морозова О.В., Борисов М.М. Веб-ориентированная геоинформационная система по чужеродным видам растений Европейской России // Российский журнал биологических инвазий. 2010. № 2. С. 47-55.

MAPPING OF INVASIVE PLANT SPECIES POPULATIONS ON URBAN NATURAL PROTECTED AREAS WITH USE OF REMOTE SENSING DATA (ON AN EXAMPLE OF “VOROBYOVY GORY” NATURAL RESERVE)

O.D. VASILYEV¹, A.I. MIKHEEVA¹, N.G. KADETOV^{1,2}

¹ Lomonosov Moscow State University

² Center for forest ecology and productivity RAS

All populations of several most dangerous invasive plant species on the territory of urban natural protected area were mapped with estimation of their abundance and invasive activity. Information about this populations was presented as a thematic database. The used approach may be the basis for monitoring of invasive plant species' populations on the local level.

ПРИМЕНЕНИЕ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ НАПРЯЖЕННОСТИ ПОЖАРООПАСНЫХ СЕЗОНОВ НА ПРИМЕРЕ ТЕРРИТОРИИ ЕВРЕЙСКОЙ АВТОНОМНОЙ ОБЛАСТИ И ХАБАРОВСКОГО КРАЯ

В.А. ГЛАГОЛЕВ, Р.М. КОГАН

Институт комплексного анализа региональных проблем Дальневосточного отделения РАН

По данным наземного и спутникового мониторинга за пожарами растительности в Еврейской автономной области и Хабаровском крае с 1997 по 2012 гг. Проведен пространственно-временной анализ появления особо напряженных пожароопасных сезонов и участков территории.

В настоящее время России, США, Канаде и Европе геоинформационные системы (ГИС) используются для оценки, кратко- и среднесрочного прогноза показателей (индексов) метеорологической пожарной опасности, моделирования распространения пожаров растительности в режиме реального времени и прогноза вероятности их возникновения; для долгосрочного (на пожароопасный сезон) прогнозирования с использованием ансамблевых сезонных гидродинамических прогнозов осадков и температуры воздуха по моделям ПЛАВ (Россия) и CFS (США) с суточным разрешением и эмпирических прогностических зависимостей между нарастанием показателей и температурой воздуха (Khan, 2012).

Целью данной работы является использование геоинформационных технологий для создания методик оценки напряженности пожарной опасности, необходимых для разработки программ долгосрочных лесоохранных мероприятий.

Для этого необходимо решение следующих задач: 1. Разработка методики оценки напряженности пожароопасных сезонов; 2. Создание атрибутивной и пространственной баз данных (БД); 3. Проектирование архитектуры ГИС «Оценка напряженности пожароопасных сезонов» («ОНПС»); 4. Создание алгоритмов и модулей системы; 5. Верификация системы на территории Еврейской автономной области (ЕАО) и Хабаровского края.

Разработана авторская методика оценки напряженности пожарной опасности, которая выполняется последовательными этапами: расчет ежедневных показателей пожарной опасности; выбор метода их восстановления на участках растительной территории, находящихся вне зоны влияния ГМС; определение координат центров горельников, расчет показателей пожарной опасности по условиям погоды, при которых возникли пожары (ПкО); определение суммы классов пожарной опасности (КПО) для оценки суровости сезонов или периодов; расчет продолжительности пожароопасных периодов и сезонов по природным и природно-антропогенным факторам; определение плотности фактической горимости растительности; комплексный расчет напряженности пожароопасных сезонов с учетом выбранных показателей; анализ динамики напряженности для выделения территории со следующими ситуациями: устойчивая, с повышающейся или понижающейся напряженностью.

Для реализации методики необходимы массивы метеорологических (БМД) данных и сведений о пожарах растительности (БДПР) за базовый период (30-40 лет). БМД представлена многомерной реляционной моделью данных ROLAP топологии "StarScheme" (Глаголев, 2009); в ней помимо фактических и прогнозных метеоданных, содержатся статистические сведения авиаотделений о продолжительности пожароопасных сезонов (дата схода и появления снежного покрова, первого и последнего пожара), и количестве пожаров за каждый месяц пожароопасного сезона.

БДПР содержит атрибутивную и пространственную информацию. В первом случае для хранения используется реляционная модель данных, а в другом - векторные слои в заданной системе координат инструментальной ГИС (проекции «план схема» или Пулково 1942). Пространственные данные векторного слоя связаны «один-к-одному» с атрибутивной информацией посредством географического ключа ID_MAPINFO. Разработано два варианта БДПР: для наземного и дистанционного мониторинга. В первом из них идентификация местоположения пожара растительности производится по указанию горевших кварталов в филиалах лесничеств или в операционно-территориальных единицах (ОТЕ) нелесного фонда по данным наземного мониторинга, а во втором - по координатам (долгота/широта) пожаров растительности согласно проекции спутникового снимка.

Предложена архитектура ГИС, состоящая из взаимосвязанных 4-х блоков: "Ввод метеоданных и пожаров растительности" - позволяет загружать ежедневные метеоданные и сведения о фактической горимости в СУБД ГИС в ручном и автоматическом режимах;

"Хранение метеоданных и сведений о пожарах растительности" - предназначен для хранения пространственных и атрибутивных данных, интегрированных в СУБД MySQL и Microsoft Access; "Обработка метеоданных и сведений о пожарах растительности"; "Построение электронных карт напряженности пожароопасных сезонов" - предназначен для построения тематических карт.

Спроектированы алгоритмы и реализованы следующие модули:

1. Расчет показателей пожарной опасности в зоне влияния ГМС.

Входными данными являются номер ГМС, метеоданные (температура воздуха и точки росы °С в 13-15 ч. дня, суточный объем осадков мм/сут.), методика оценки ПкО. В центре кварталов, удаленных на расстояние 30 км от ближайшей ГМС, рассчитываются показатели засухи.

Результат - электронные карты распределения ПкО.

2. Восстановление показателей пожарной опасности на удаленных от ГМС участках растительности.

Входными данными являются координаты ГМС, значения показателей засухи и суточного объема осадков этой станции на день расчета. В центре удаленных участков (выдел, квартал участковых лесничеств, ОТЕ) интерполяционным методом производится восстановление значений показателей. Затем вычисляется комплексный показатель (КП) с учетом суточного объема осадков, определяемого по данным ГМС, зона влияния которых определена по полигонами сети Тиссена.

Результат - электронные карты распределения ПкО.

3. Расчет суровости пожароопасных сезонов по условиям погоды.

Входными данными являются базовый период, месяц, номер ГМС, методики оценки пожарной опасности, экстремальные КПО. Алгоритм заключается в определении зависимости между суммой дней с экстремальными КПО и количеством пожаров растительности на каждый год базового периода.

Результат передается в модуль 4.

4. Определение тенденций изменения суровости сезонов или периодов.

Определяются углы отклонения линейных трендов ежегодной зависимости суммы дней с экстремальными КПО от среднееголетнего значения по всем ГМС и месяцам пожароопасного сезона.

Результат - электронные карты тенденций изменения суммы дней с экстремальными КПО.

5. Определение продолжительности пожароопасных периодов и сезонов по природным и природно-антропогенным факторам.

Входные данные: номер ГМС, продолжительность пожароопасных и периодов. Алгоритм построен на SQL-запросах, позволяющих получать усредненные даты начала и окончания пожароопасных сезонов, экстремальных и вегетационных периодов, и определять фактическую горимость в этих периодах.

Результат - электронные карты распределения продолжительности периодов и сезонов, и плотности фактической горимости растительности.

6. Вероятность появления природной и антропогенной пожароопасной нагрузки на участки растительности.

Входные данные - местоположение кварталов участковых лесничеств, ОТЕ, горельников, населенных пунктов и дорожной сети. Пространственным анализом рассчитываются частота и вероятность появления пожара в буферных зонах населенных пунктов и дорожной сети по погодным условиям и антропогенной нагрузке по всем близлежащим источникам воздействия.

Результат - электронные карты распределения вероятностей появления источников огня.

7. Комплексная оценка напряженности сезонов и периодов.

Входные данные - электронные карты модулей 4, 5, 6. Оверлейным анализом осуществляется объединение электронных карт с учетом коэффициента их значимости в итоговую карту комплексной оценки напряженности сезонов и периодов.

С помощью созданной ГИС проведена верификация разработанной методики и системы на территории ЕАО и Хабаровского края. Материалами являются метеоданные 27 ГМС ДВР с 1960 -2012 гг., сведения о пожарах растительности по данным наземного и спутникового мониторинга с 1997 по 2012 гг., полученные 18 авиаотделениями КГУ «ДВ авиабаза» и ОГБУ «Лесничество ЕАО» и с сайтов NASA <http://rapidfire.sci.gsfc.nasa.gov> и ФГУ «Авиалесоохрана» <http://aviales.ru>.

В состав лицензионного и общедоступного программного обеспечения входит: среда программирования RAD Studio Delphi 2010; инструментальная ГИС MapInfo Proffessional 8.5; сервер баз данных MySQL 4.12.

Расчет ПкО выполнялся по методике В.Г. Нестерова (1968), оптимальной для территории ДВР (Глаголев, 2006). Проверка возможности использования методов интерполяции для восстановления показателей в удаленных участках растительности оценивалась по двум критериям: среднеквадратическая ошибка (*RMSE*) и коэффициент эффективности (*E*) (Копнов, 2007). Выбрано три метода: обратно -взвешенные расстояния, локальная полиномиальная интерполяция (Flannigan,1999), базисные рациональные функции (Sirayanone,1995). Анализ восстановленных ПкО на территории ЕАО на каждый день сезона 2010 г. показал, что из значения в полной мере соответствуют шкале возгорания основных растительных формаций при заданных погодных условиях Т.В. Костыриной (Телицын,1988). Установлена высокая достоверность прогноза: при вероятности 0,95 она равна $(79 \pm 18)\%$.

Для выбора показателей оценки суровости пожароопасных сезонов исследовано распределение пожаров растительности на территории ЕАО по дням и суммам дней с I-V классами КПО. Наибольший коэффициент корреляции получен при учете суммы дней с IV-V классами ($R=0,67$). По этому показателю рассчитаны средняя многолетняя суровость каждого месяца и сезона в целом за базовый период (1961-1990 гг.).

Предложены интервалы ранжирования изменения суровости сезонов по величине угла отклонения суммы дней с IV –V классами от среднего многолетнего значения. Показано, что на севере ДВР пожароопасность увеличивается в течение всего пожароопасного сезона, в центральной части - с июля по октябрь, на юге существует бимодальное распределения максимумов горимости: май и сентябрь.

Появление природно-антропогенной пожароопасной нагрузки определялась по сведениям наземного мониторинга о возникших лесных пожарах с 1997 по 2004 г.г. на территории ЕАО. В течение этого периода возникло 910 лесных пожаров, из них близи населенных пунктов 68,4%, а остальные (31,6 %), вблизи дорожной сети; пожаров от природных источников огня (молний) в этот период не наблюдалось. Найдена зависимость вероятности появления антропогенных источников огня от расстояния от центра квартала до населенного пункта и дорожной сети.

Продолжительность пожароопасных сезонов по антропогенным факторам изменяется с севера на юг от 59 до 197 дней; она является функцией географической широты ГМС. Оценен ее вклад в общую продолжительность пожароопасных сезонов: в малоосвоенных северных районах он составляет 30-50 %, в центральных – 50-70%, а в южных - 70%.

Полученные данные репрезентативны для оценки напряженности сезонов и периодов по комплексу природных и антропогенных факторов, определяющих пожарную опасность территории.

Работа выполнена при поддержке гранта ДВО РАН №12-1-0-09-013 и РФФИ № 12-07-31070.

ЛИТЕРАТУРА

1. Flannigan M., Wotton B. A study of interpolation methods for forest fire danger rating in Canada. Canadian J. of Forest Research. 1999. Vol. 19. No.8. P.1059-1066.
2. Khan V.M. Long-range Forecasting of Forest Fire Danger Based on the SLAV Model Seasonal Ensemble Forecasts // Russian Meteorology and Hydrology, 2012, Vol. 37. No. 8. P. 505–513.
3. Sirayanone S., Hardy R. The Multiquadric -biharmonic Method as Used for Mineral Resources, Meteorological, and Other Applications // J. of Applied Sciences and Computations. 1995. Vol. 1. P. 437-475

4. Глаголев В.А., Коган Р.М., Соколова Г.В. Методика автоматизированного прогноза пожарной опасности Приамурья и оценка ее эффективности // Метеорология и гидрология. 2006. № 12. С. 45 – 53.
5. Глаголев В.А., Коган Р.М. Геоинформационная система прогноза возникновения пожаров растительности в условиях муссонного климата средних широт // Геоинформатика. 2009. №4. С.8-16.
6. Копнов М.В., Ковин Р.В. Восстановление двумерных геополей: проблемы и решения // Известия ТПУ. 2007. Т.311. № 5. С.72-75.
7. Нестеров В. Г., Гриценко М. В., Шабунина Т. А. Использование температуры точки росы при расчете показателя горимости леса // Гидрология и метеорология. — 1968. № 9. С.102-104.
8. Телицын Г.П. Лесные пожары, их предупреждение и тушение в Хабаровском крае / Г.П. Телицын. – Хабаровск: Хабар. кн. изд-во, 1988. 96 с.

THE USE OF GIS TECHNOLOGY TO ESTIMATION OF THE FIRE SEASON, THE EXAMPLE OF THE JEWISH AUTONOMOUS REGION AND THE KHABAROVSK TERRITORY

V.A. GLAGOLEV, R.M. KOGAN

Institute for Complex Analysis of Regional Problems ICARP FEB RAS

According to the terrestrial and satellite monitoring of vegetation fires in the Jewish Autonomous Oblast and Khabarovsk territory from 1997 to 2012. Conducted a space-time analysis of the appearance especially severe fire seasons and parts of the territory.

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА И УПРАВЛЕНИЯ ЛЕСНЫМИ РЕСУРСАМИ

А.Т. ГУРЬЕВ¹, Р.А. АЛЕШКО¹, И.С. ВАСЕНДИНА¹, К.В. ШОШИНА¹

¹Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова

Разработана ГИС-система лесных ресурсов на основе открытого программного обеспечения. Построена система мониторинга и управления лесными ресурсами на основе интеграции ДДЗ и ГИС-системы. Предложена технология дешифрирования снимков лесных участков с элементами автоматизированного определения атрибутивных и пространственных характеристик. Предложена концепция создания информационной среды в сфере управления лесным хозяйством и лесопользованием.

Современные методы лесоустройства предполагают широкое использование ГИС-технологий, аэрокосмических снимков, алгоритмов тематической обработки снимков лесных территорий.

В лесном хозяйстве используются различные программные продукты. Они облегчают работу лесоустроителям, работникам лесхозов при решении типовых задач.

Однако, опыт использования подобных систем не только в лесном секторе экономики, но и других предметных областях, связанных с обработкой пространственных данных и оперативным использованием ДДЗ, показывает, что эксперименты по интеграции геоинформационных технологий в предметную область, как правило, заканчиваются реализацией пилотных проектов и получением лишь «визуально-презентационного эффекта» и не доводятся до промышленного внедрения. Анализируют основные причины неэффективности промышленного внедрения технологий мониторинга и управления территориями, основными из которых являются слабое встраивание систем ДДЗ-мониторинга в текущие бизнес-процессы управления и отсутствие законодательной базы по использованию космических снимков в предметных областях (Чернов, 2010).

Системы, ориентированные на управление предприятием и регионом, должны базироваться на ГИС, СУБД и интегрироваться с корпоративными ИС.

Разрабатываемая система должна обеспечивать следующие возможности:

1. распределенность (информация должна находиться как на сервере, так и на удаленных узлах, т.е. у лесничеств храниться копия БД данного участка);
2. совмещение атрибутивной и пространственной информации (хранение картографической и атрибутивной информации в виде единого набора данных, управляемого одной специализированной СУБД);
3. репликация БД (приведение узловых и центральной БД в идентичное состояние);
4. клиентское приложение:
 - понятный пользовательский интерфейс;
 - возможность просмотра картографической и атрибутивной информации (возможность отбора данных по критериям);
 - создание форм лесного реестра, соответствующих действующей нормативной документации;
 - формирование отчетной документации лесничеств.

В последние годы наблюдается тенденция разработки корпоративных ИС на основе открытого программного обеспечения. Определение открытого программного обеспечения разработано организацией Open Source Initiative и используется для определения соответствия лицензии на программное обеспечение стандартам открытого ПО. Основные особенности открытого ПО: свободное распространение, доступный и сходный код, разрешение на модификацию этого исходного кода (http://ru.wikipedia.org/wiki/Определение_Open_Source).

PostgreSQL—свободная объектно-реляционная система управления базами данных(СУБД). Существует в реализациях для множества UNIX-платформ, MacOS, а так же для Microsoft Windows. Сильными сторонами PostgreSQL считаются: поддержка БД практически неограниченного размера; мощные и надёжные механизмы транзакций и репликации; расширяемая система встроенных языков программирования; наследование; легкая расширяемость (Дубинин, Рыков, 2010). PostgreSQL полностью поддерживает механизм транзакций, вложенные запросы, триггеры, представления, функциональные индексы ссылочную целостность по внешнему ключу, различные типы блокировок и многое другое. PostgreSQL поддерживает большой набор встроенных типов данных, в том числе геометрические примитивы и сетевые типы, также пользователь может самостоятельно создавать новые требуемые ему типы.



Рис. 1. Архитектура ИС на основе открытого ПО

QuantumGIS(QGIS) – свободная геоинформационная система, доступная для большинства современных платформ (Windows, MacOS X, Linux) и совмещающая поддержку векторных и растровых данных, а также способная работать с данными, предоставляемыми различными картографическими веб-серверами и многими распространенными пространственными базами данных. Функциональность QGIS может быть развита посредством создания модулей расширения на Python. QGIS имеет одно из наиболее развитых сообществ в среде открытых ГИС, при этом количество разработчиков постоянно увеличивается, чему способствует наличие хорошей документации по процессу разработки и удобная архитектура (<http://www.postgresql.org/>).

На основе этих программных продуктов в Институте информационных технологий Северного (Арктического) федерального университета разработана архитектура (рис.1) и пилотный проект ГИС-системы – АрхлесГИС. Этот программный комплекс позволяет создавать базы картографических и атрибутивных данных о лесах, обновлять их по результатам ежегодных хозяйственных мероприятий и природных процессов, а также актуализировать старые данные при появлении финансовых и материальных возможностей в рамках отдельных лесничеств или лесных участков средствами современных информационных технологий (дистанционное зондирование, автоматизированное дешифрирование космо- и авиафотоснимков, корректировки картографических данных средствами глобального позиционирования и др.).

Функционал программного комплекса «АрхлесГИС» позволяет получать формы государственного лесного реестра на любой контур лесов: арендованный лесной участок, участковое лесничество, территориальное лесничество, часть лесничества, регион. Также с его помощью можно осуществлять информационную поддержку всех управленческих решений, в частности, проектирование лесных участков и подготовку аукционной документации для передачи их в аренду.

На основе программного комплекса «АрлесГИС» построена система мониторинга и управления лесными ресурсами (Рис. 3), которая состоит из модулей: ГИС-система, тематическая обработка, каталог снимков и отчетность. Здесь центральное место в системе мониторинга и управления отводится системе тематической обработке спутниковых

снимков. Технология дешифрирования лесов на основе данных дистанционного зондирования отличается от традиционных методик лесоустройства.

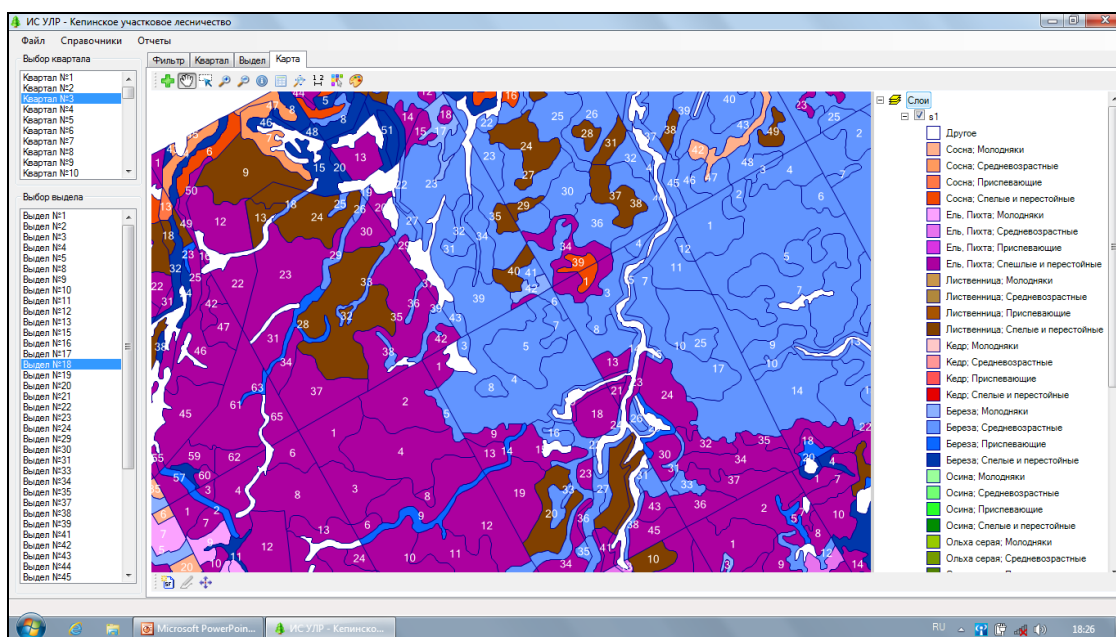


Рис. 2. Форма работы с пространственными данными в информационной системе

На основе выполненных исследований предложена технология тематической обработки данных о лесах с использованием спутниковых снимков различного пространственного и спектрального разрешения. Определены возможности использования алгоритмов автоматизированного и автоматического дешифрирования лесных участков (Гурьев, 2013).

Для осуществления эффективного управления всем многообразным комплексом естественных и антропогенных процессов, происходящих в сфере лесопользования, требуется определенная информационная среда. Она должна включать информацию о наличных лесных ресурсах, их состоянии, пространственном и временном размещении, их принадлежности и юридическом статусе, товарной ценности и коммерческой привлекательности, транспортной доступности, последовательности возможного вовлечения их пользованию, а также данные о многих других факторах, определяющих социально-экономическую эффективность лесопользования. Предлагаемая система мониторинга и управления лесными ресурсами может являться основой создания информационной среды (Гурьев, 2012) для решения задач управления лесного хозяйства, лесопользования, проектирования и эксплуатации сети лесовозных дорог, ликвидации и оценки лесных пожаров.

Преимущества предлагаемой системы:

1. Разработка на основе открытого программного обеспечения, без использования коммерческих продуктов.
2. Реализация технологий тематической обработки спутниковых снимков лесных территорий, интегрированной с ГИС-системой.
3. Разработка алгоритмов автоматизированного дешифрирования спутниковых снимков на основе интеллектуальных методов обработки данных.
4. Реализация технологии распределенной обработки, хранения и использования данных.

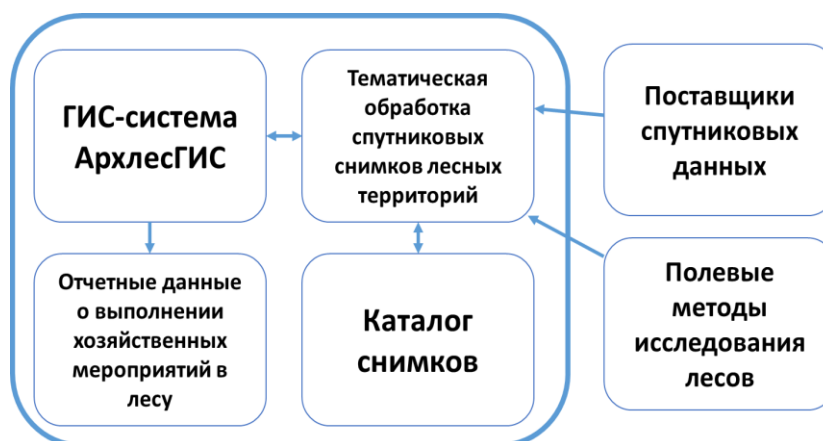


Рис. 3. Концептуальная схема системы мониторинга и управления лесными ресурсами

ЛИТЕРАТУРА

1. Чернов А.В. Мониторинг с помощью ДДЗ и практика регионального управления,- Земля из космоса – наиболее эффективные решения. Выпуск 7, осень 2010, с. 19-27.
2. Определение OpenSource, http://ru.wikipedia.org/wiki/Определение_Open_Source.
3. Дубинин М.Ю., Рыков Д.А. 2010. Открытые настольные ГИС: обзор текущей ситуации. Геопрофиль, март-апрель 2010. С.34-44.
4. Официальный сайт PostgreSQL, <http://www.postgresql.org/>
5. Гурьев А.Т., Алешко Р.А., Торхов С.В., Трубин Д.В. Тематическая обработка спутниковых снимков лесных территорий на основе структурных моделей. – Архангельск: Северный (Арктический) федеральный университет (САФУ), 2013. – 150 с.
6. Гурьев А.Т. Структурное моделирование лесопромышленного комплекса: монография / А.Т. Гурьев; Сев. (Арктич.) федер. ун-т им. М.В. Ломоносова. – Архангельск: ИПЦ САФУ, 2012. – 93 с.

INFORMATION SYSTEM FOR MONITORING AND MANAGEMENT OF FOREST RESOURCES

A.T. GURIEV¹, R.A. ALESHKO¹, I.S. VASENDINA¹, K.V. SHOSHINA¹

¹Northern (Arctic) federal university named after M.V. Lomonosov

GIS system of forest resources which based on open source software is developed. Moreover, system of monitoring and management of forest resources through the integration of remote sensing data and GIS system is build. We also present technology of forest area image interpretation with elements of the automated determination of attribute and spatial characteristics. We offer the concept of creating the information environment in the forestry and forest use.

ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ЗАРУБЕЖНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ЛЕСОИНВЕНТАРИЗАЦИИ В ЛЕСНОМ ФОНДЕ СЕВЕРО-ВОСТОКА СТРАНЫ

В.М. ЖИРИН, С.П. ЭЙДЛИНА, С.В. КНЯЗЕВА, Т. А. ЗОЛИНА

Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН

В докладе рассмотрены вопросы применения элементов технологии национальной инвентаризации Канады в условиях резервных лесов России (зоны метода фотостатистической инвентаризации лесов). Обсуждается возможность использования данных ETM+/Landsat7 вместо выборочных наземных измерений и результатов дешифрирования материалов аэрофотосъемки в узлах сети лесоинвентаризации.

Основной принцип национальной инвентаризации лесов Канады заключается в интеграции данных выборочных наземных измерений и результатов дешифрирования материалов аэрофотосъемки и (или) спутниковой информации.

Используются два основных типа выборочных единиц наблюдения: 1) простая систематическая выборка точек по территории всей страны с закладкой пробных площадей в каждой точке и 2) простая случайная выборка наземных пробных площадей, совмещенных с пробными площадями первого типа.

Стандартная национальная сеть наблюдений размером 4х4 км образована в Канаде для оценки природных ресурсов или проведения мониторинга в интересах различных отраслей народного хозяйства.

Для организации в границах экорегионов простой систематической выборки первого типа при проведении национальной инвентаризации лесов используется сеть наблюдений размером 20х20 км, т.е. каждый пятый горизонтальный и вертикальный ряды стандартной сети наблюдений. Цель этого типа выборки заключается в получении информации о состоянии лесов в узлах сети 20х20 км на основе дешифрирования по космическим снимкам с пространственным разрешением 30 м и лучше (среднемасштабным аэрофотоснимкам) пробных площадей размером 2х2 км, с центром квадрата, совмещенного с узлом сети.

По пробным площадям первого типа определяется пространственное распределение пикселей изображений категорий земель, нарушенность земель, трансформация землепользования, наличие экзотических древесных пород и структура насаждений, группа пород и возраста, примерная высота, сомкнутость полога и запас древостоя. С привлечением дополнительной информации устанавливается землепользование и собственник участка.

Известно, что в нашей стране был разработан и применялся на 28,6% площади лесного фонда фотостатистический метод лесоинвентаризации, технической основой которого были материалы космической фотосъемки в масштабах 1:200 000 – 1:270 000, полученных с отечественных космических аппаратов «Ресурс-Ф» камерой КФА-1000 на цветные спектрально-аналитические фотопленки с разрешением на местности 7-10 м.

Сравнение содержания работ одного из вариантов фотостатистического метода с канадской технологией лесоинвентаризации по организации в границах экорегионов простой систематической выборки первого типа указывает практически на полное совпадение. Отличие заключается в том, что в резервных лесах северо-восточных районов нашей страны, проводилось сплошное контурное дешифрирование космических снимков лесного фонда.

Северо-восточные леса сосредоточены, в основном, в лесорастительной зоне притундровых лесов и редкостойной тайги. В отличие от многолесных районов страны характерной особенностью отдалённых северо-восточных лесных районов Сибири и Дальнего Востока является повсеместно сложная и пёстрая структура земель лесного фонда, на которых осуществляется деятельность не только лесного, но и смежных отраслей народного хозяйства (сельского, охотничьего и др.). Так, по данным лесоинвентаризации Омсукчанского лесничества Магаданской области в составе лесного фонда выделены следующие земли (в процентах от общей площади): насаждения разных пород – 31,8; естественные редины лиственницы – 13,8; гари прошлых лет в различной стадии зарастания – 19,0; гольцы и крутые склоны – 15,9; горные тундры – 13,0; мари – 6,3; прочие земли – 0,2 .

Современный облик резервных лесов находится в зависимости от частых природных пожаров. Данные о последствиях пожаров в лесном фонде, полученные при проведении мониторинга пожарной опасности, совместно с информацией о распределении бывших до пожара категориях земель, позволяют актуализировать данные учёта резервных лесов.

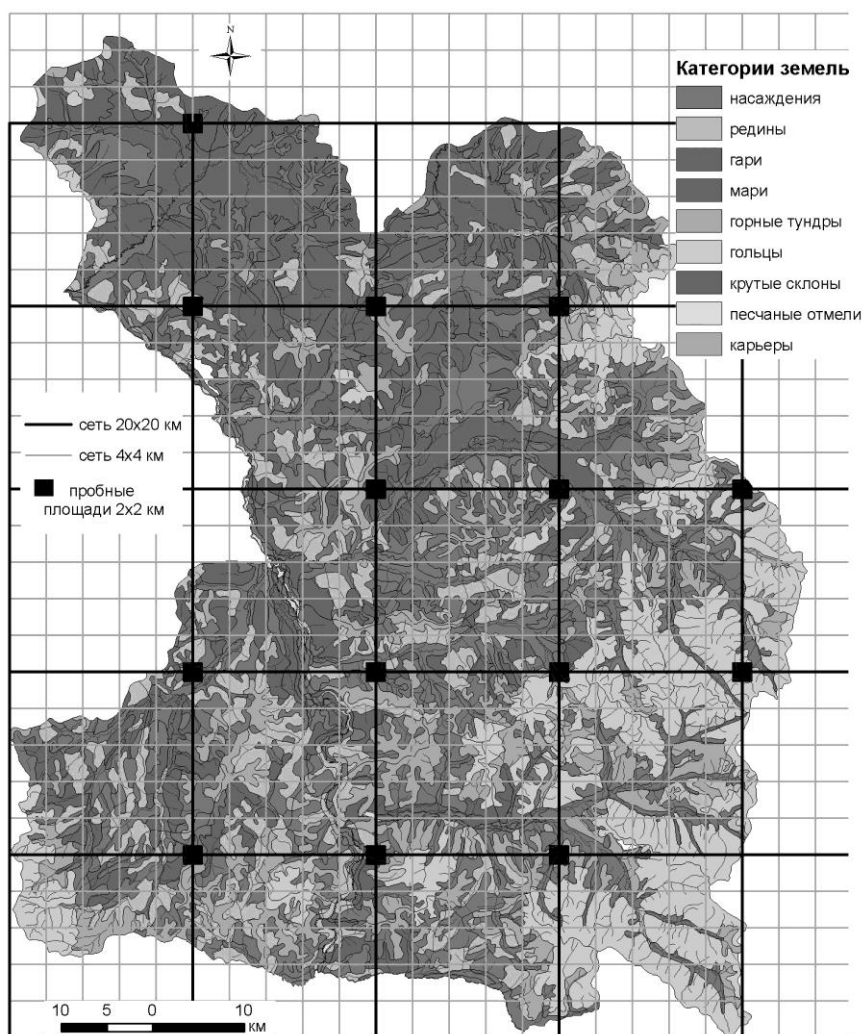


Рис.1 Карта категорий земель Омсукчанского лесничества, совмещенная с регулярными сетями 4х4 и 20х20 км и пробными площадями 2х2 км в узлах сети 20х20 км

Суть проведённого эксперимента заключалась в выполнении следующих работ:

- построение средствами ГИС-технологии сети размером 4х4 км на территории Омсукчанского лесничества;
- построение систематической сети наблюдений размером 20х20 км внутри массива лесного фонда лесничества и совмещение её с лесной картой категорий земель, составленной по результатам фотостатистической лесоинвентаризации;
- построение в узлах сети 20х20 км пробных площадей размером 2х2 км, с центром квадрата, совмещенного с узлом сети (рис. 1);
- пересчёт площади категорий земель внутри пробных площадей и экстраполяция полученных данных на всю территорию лесничества с учётом их актуализации за счёт привлечения информации пожарного мониторинга.

Сопоставление результатов дешифрирования космических фотоснимков КФА-1000, выполненной при фотостатистической лесоинвентаризации, со сканерным снимком ETM+/Landsat 7 указывает на наличие в ряде случаев расхождений в конфигурации границ различных категорий земель лесного фонда. Это обстоятельство следует учитывать при последующем усовершенствовании государственной инвентаризации лесов.

APPLICATION OF FOREIGN FOREST INVENTORY ELEMENTS FOR NORTH-EAST FOREST OF RUSSIA

V.M. ZHIRIN, S.P. EYDLINA, S.V KNYAZEVA., T.A. ZOLINA

The application of Canadian forest inventory elements for Russian north-east forests (zone of “photo statistical” forest inventory) is considered. Possibility of use of ETM +/-Landsat7 data instead of selective land measurements and results of air photography recognition in knots of forest inventory network is discussed.

РАЗРАБОТКА ГЕОИНДИКАЦИОННЫХ МЕТОДОВ ДЛЯ МОНИТОРИНГА УНИКАЛЬНЫХ И РЕДКИХ ТЕРМАЛЬНЫХ ЭКОСИСТЕМ (НА ПРИМЕРЕ ДОЛИНЫ ГЕЙЗЕРОВ, КРОНОЦКИЙ ЗАПОВЕДНИК)

А.В. ЗАВАДСКАЯ¹, В.М. ЯБЛОКОВ²

¹ Кроноцкий государственный заповедник

² МГУ имени М.В. Ломоносова, географический факультет

Представлены результаты работ по геоиндикационному моделированию температурных характеристик интразональных термальных природных комплексов. Выявлены особенности термальных экосистем, обуславливающие специфику организации их мониторинга. На примере долины р. Гейзерной, расположенной на территории Кроноцкого государственного природного биосферного заповедника, продемонстрировано применение разработанных подходов для целей рекреационного мониторинга. Работа выполнена при поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований (проекты № 12-04-00272, 13-05-00870, 13-04-10037).

В последнее время геоиндикационные методы, основанные на выявлении индикационных значений физиономических компонентов ландшафта и их последующей экстраполяции с использованием данных дистанционного зондирования, находят широкое применение для решения различных научно-практических задач. В области охраны природы большое значение имеет разработка и применение таких методов для осуществления экологического мониторинга геосистем – комплекса действий по наблюдению, оценке и прогнозу динамики информативных показателей (индикаторов), позволяющих судить об эффективности управления и интенсивности воздействия на объекты охраны (Израэль, 1979).

Преимущества использования методов географической индикации для многолетнего слежения за состоянием природных комплексов связаны со следующими причинами: 1) достаточно высокой оперативностью данных дистанционного зондирования и возможностью их регулярного получения с заданной периодичностью; 2) высокой достоверностью получаемых такими методами результатов; 3) небольшой трудоемкостью и затратностью по сравнению с полным комплексом наземных исследований; 4) возможностью выявления новых взаимосвязей между отдельными характеристиками ландшафта, зачастую недоступных при непосредственных наблюдениях; 5) возможностью выявления динамики весьма уязвимых к антропогенным воздействиям природных комплексов без нарушения естественного хода природных процессов, неизбежного при осуществлении наземных полевых изысканий. Последний факт обуславливает особую актуальность разработки методов географической индикации для изучения и мониторинга уникальных и редких термальных экосистем.

Интразональные ландшафты, формирующиеся в местах разгрузки гидротермальных систем, обладают рядом особенностей. Структура таких природно-территориальных комплексов (ПТК) характеризуется большим числом и своеобразием типологических элементарных единиц в сочетании с прерывистостью и фрагментарностью элементарных биогеоценозов, вмещающих ценопопуляции редких видов растений. Если говорить о таксономическом ранге, то, в большинстве своем, подобные сочетания и комплексы являются местностями или урочищами, занимающими весьма ограниченные территории (не более нескольких десятков квадратных километров). Высокая мозаичность растительного покрова, многообразие форм микрорельефа, неоднородность микроклиматических условий и

температурного режима почв обуславливают небольшие площадные характеристики ПТК ранга фаций, которые варьируют от нескольких квадратных дециметров до нескольких десятков квадратных метров.

Основными особенностями термальных ландшафтов, определяющими состав и структуру наблюдений за состоянием данных природных комплексов являются:

1. *Высокая вероятность развития опасных и неблагоприятных природных процессов в зоне маршрута.* Данная особенность реализуется через включение в состав мониторинговых работ блока по оценке динамики склоновых процессов, отслеживание по которому осуществляется путем наблюдения за изменением положения системы-постоянных реперов на местности, либо путем сравнительного анализа данных дистанционного зондирования сверхвысокого разрешения.

2. *Высокая естественная динамичность природных комплексов.* Данная особенность определяет необходимость *сплошного* крупномасштабного картографирования термальных сообществ, содержащих уязвимые и/или редкие виды растений, для изучения естественных изменений их пространственных характеристик и вычленения из этих изменений антропогенной составляющей. Полноценное осуществление такого картографирования, ввиду сложной структуры рассматриваемых ПТК возможно лишь с использованием дистанционных методов.

3. *Наличие уникальных объектов.* Уникальность некоторых термальных объектов обуславливает необходимость наблюдения за изменением их состояния, что в программе мониторинга реализуется путем осуществления *фотомониторинга* морфоскульптуры термальных полей, а также выявлением их пространственной динамики посредством анализа разновременных данных дистанционного зондирования.

Таким образом, применение методов геоиндикации с использованием данных дистанционного зондирования высокого и сверхвысокого разрешения позволяет в полной мере изучить динамику рассматриваемых сложных и чрезвычайно уязвимых ландшафтов, не нарушая их структуры и естественного функционирования.

Разработанные нами геоиндикационные подходы к изучению и многолетнему слежению за состоянием термальных ландшафтов продемонстрированы на примере гидротермальной системы долины р. Гейзерной (Кроноцкий государственный природный биосферный заповедник).

Наши исследования (Завадская и др, 2012; Яблоков, Завадская, 2011) показали, что в термальных природных комплексах основным индикатором выступает температурный режим почв, являющийся одним из ведущих аazonальных факторов ландшафтной дифференциации рассматриваемых ПТК. Индикатором, обладающим стойкой связью с температурными условиями среды, выступает пространственная структура фитоценозов.

Так, например, для долины р. Гейзерной на основе результатов детальных полевых исследований (2010 – 2012 гг.) и анализа данных дистанционного зондирования (космических снимков сверхвысокого разрешения (GSD = 0,41-0,5 м) (GeoEye-1 от 06.09.2009 г. и 04.08.2011 г.) и материалов аэрофотосъемки (ИВиС ДВО РАН, И.Ю. Свирид, 2007 г.)) выявлены следующие геоиндикационные зависимости (Завадская, 2012; Завадская и др, 2012; Яблоков, Завадская, 2011):

(1) между температурами почв на глубине 15 см и 50 см существует сильная корреляция (коэффициент корреляции Пирсона равен 0,97) и почти линейная зависимость;

(2) в результате классификации растительных сообществ (величин нормализованных проективных покрытий всех видов в сообществе) методом двухэтапного кластерного анализа выделяется 8 классов растительных сообществ с четкой приуроченностью к определенным диапазонам температур (табл. 1);

(3) в результате сопряженного статистического анализа геоботанических описаний (величин проективных покрытий) для 67 видов сосудистых растений (более 680 описаний) и соответствующих их местообитаниям температур почв выделяются индикационные для конкретных температурных диапазонов виды сосудистых растений.

Найденные закономерности легли в основу составления серии картографических материалов на район исследований, а также легли в основу разработки структуры блока работ по экологическому мониторингу рассматриваемого уникального объекта (рис. 1).

Было установлено, что для ПТК гидротермальных систем, ввиду их чрезвычайно высокой динамичности и гетерогенности, оптимальной является структура наблюдений на *постоянных эколого–географических профилях* (Завадская, 2012).

Итак, термальные ландшафты, имеющие выдающуюся эстетическую и познавательную ценность и, в то же время, обладающие весьма низкой (порой нулевой) устойчивостью к антропогенным воздействиям, нуждаются в особо тщательном слежении за их состоянием. Применение данных дистанционного зондирования и геоиндикационных методов в мониторинге рассматриваемых природных объектов позволит более эффективно осуществлять их изучение и охрану, обеспечив сохранение их естественного облика и уникальных свойств.

Таблица 1. Связь температуры почв со структурой растительного покрова (результаты классификации методом двухэтапного кластерного анализа) (фрагмент)

Класс	Температура, °С		Сообщество
	на 15 см	на 50 см	
1	12±1	12±2	Формация <i>Betula ermanii</i> – каменноберезовые леса, ассоциация каменноберезняк <i>вейниковый</i> , субассоциации: типичная, <i>вейниково-папоротниковая</i> *
2	15±2	16±3	Формация <i>Filipenduleta camtschaticae</i> – <i>шеломайниковая</i> , ассоциация <i>вейниково-шеломайниковая</i>
3	21±3	25±5	Сообщества с преобладанием вейника (<i>Calamagrostis langsdorffii</i>) и ореоптериса (<i>Oreopteris quelpaertensis</i>)
4	27±3	35±6	Формация <i>Filipenduleta camtschaticae</i> – <i>шеломайниковая</i> , ассоциация <i>шеломайниковая</i>
5	43±8	63±13	Сообщества орляка (<i>Pteridium aquilinum</i>)
6	51±9	69±16	Монодоминантные сообщества и группировки вейника (<i>Calamagrostis langsdorffii</i>)
7	70±15	91±17	Формация <i>Fimbristyleta ochotensis</i> – фимбристилиса охотского
8	86±17	96±22	Участки, лишенные растительного покрова

* Обычным шрифтом обозначены зонально-поясные единицы растительного покрова; *курсивом* – сообщества термальных местообитаний, по составу и структуре близкие к соответствующим зонально-поясным; **жирным** – термофильные сообщества. Названия единиц растительного покрова приведены по: (Нешатаева, 1994; Самкова, 2009).

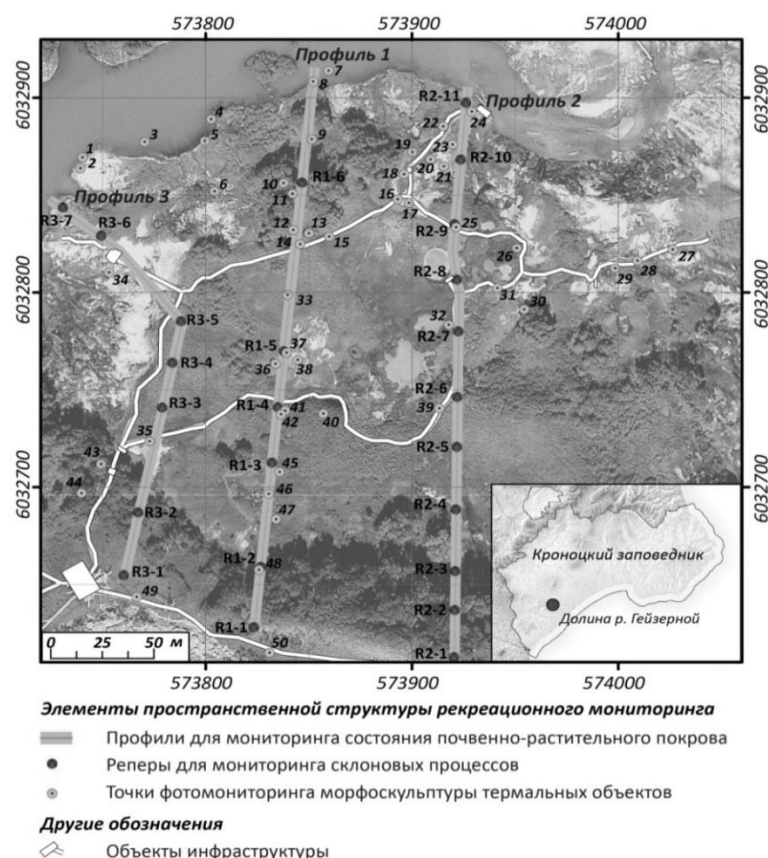


Рис. 1. Пространственная структура экологического рекреационного мониторинга в долине р. Гейзерной (картографическая основа – аэрофотоснимок, И.Ю.Свирид, 2007 г.)

ЛИТЕРАТУРА

1. Завадская А.В. Геоэкологические аспекты развития рекреационного природопользования на особо охраняемых природных территориях камчатского края: автореферат дис. ... кандидата географических наук: 25.00.36. – М.: МГУ имени М.В.Ломоносова, 2012. 27 с.
2. Завадская А.В., Яблоков В.М., Прозорова М.В. Геоинформационное картографирование термальных полей по структуре растительного покрова (на примере долины р. Гейзерной) // Труды Кроноцкого государственного природного биосферного заповедника. Выпуск 2. – Петропавловск-Камчатский: Камчатпресс, 2012. С. 103–119.
3. Израэль Ю.А. Экология и контроль состояния природной среды. – Л.: Гидрометеиздат, 1979. 375 с.
4. Нешатаева В.Ю. Растительные группировки окрестностей горячих ключей // Растительность Кроноцкого государственного заповедника (Восточная Камчатка). Труды ботанического института им. В.Л. Комарова. – СПб., 1994. С.197–200.
5. Самкова Т.Ю. Влияние гидротермального процесса на растительность: автореф. дис. ... кандидата биологических наук. – Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2009. 24 с.
6. Яблоков В.М., Завадская А.В. Геоинформационное моделирование термальных полей долины р. Гейзерной (Кроноцкий заповедник, Камчатка) // ИнтерКарто/ИнтерГИС 17: Устойчивое развитие территорий: теория ГИС и практический опыт. Материалы международной конференции. Белокуриха, Денпасар, 14–19 декабря 2011 г. – Барнаул: ИВЭП, 2011. С. 333–341.

GIS MODELING AND INDICATION METHODS APPLICATION FOR MONITORING UNIQUE THERMAL ECOSYSTEMS (ON EXAMPLE OF THE VALLEY OF GEYSERS, KRONOTSKY RESERVE)

ANNA ZAVADSKAYA¹, VASILY YABLOKOV²

¹Kronotsky State Natural Biosphere Reserve

²Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University

The paper draws on the results of GIS-based modeling of thermal fields of the Valley of the Geysers (Kronotsky State Natural Biosphere Preserve) and demonstrates the possibility of such modeling on basis of vegetation cover

characteristics collected during field studies. The features of thermal ecosystems affecting peculiarities of monitoring methods are described and proposed optimal spatial structure of annual monitoring is developed. The research is supported by the Russian Fund for Basic Research (projects 12-04-00272, 13-05-00870, 13-04-10037).

ЛАНДШАФТНАЯ ПОДГОТОВКА СПЕЦИАЛИСТОВ НАПРАВЛЕНИЯ «ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ»

Д.М. КИРЕЕВ, В.Л. СЕРГЕЕВА

Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова

В Санкт-Петербургском лесотехническом университете разработаны и читаются ландшафтные дисциплины для различных лесных специальностей, в том числе для специальности «Информационные системы и технологии» – курс лекций и проводятся практические и лабораторные занятия. Студенты обучаются методам ландшафтных исследований и составления ландшафтных (и на их основе) тематических карт.

С девяностых годов прошлого тысячелетия в Санкт-Петербургской лесотехнической академии им. С.М. Кирова студентам различного вида подготовки разработан и читается новый курс лекций, проводятся лабораторные и практические работы по дисциплинам «Лесное ландшафтоведение», «Ландшафтоведение», «Ландшафтоведение с основами геоморфологии и картоведения», «Ландшафтно-экологическое планирование». Научной основой этого курса является учение о природных территориальных комплексах (ПТК) и их морфологической структуре.

В начале двадцатого века основоположник ландшафтоведения профессор Санкт-Петербургского Лесного института Г.Ф. Морозов говорил о необходимости именно такой дисциплины, которая должна быть центральной и основной в лесных вузах. Он пишет: «Необходимо учение о земной поверхности, которое знакоило бы с морфологией суши, её динамикой, происхождением, жизнью, распределением различных форм земной поверхности. Связать в один узел сведения из геологии, петрографии – разработать методы описания любой страны. Для лесоводов – землеведение и страноведение должны быть ближайшими предметами из числа так называемых основных наук» (Морозов, 1926; 1930). Г.Ф. Морозов первый выявил ландшафтные единицы различной сложности, образующие иерархический ряд «от типа насаждения до ландшафтной зоны». Задачи изучения дисциплины – дать студентам знания о природных территориальных комплексах Земли как объективно существующих, исторически сложившихся и пространственно обособленных единствах основных компонентов природы: земной коры, атмосферы, воды, растений и животных. Студенты знакомятся с историей развития ландшафтоведения и применением его методов в лесном хозяйстве, лесной промышленности, природо- и землепользовании. Кроме того, они знакомятся с ландшафтно-географическим учением Г.Ф. Морозова, А.А. Крюденера, учением о морфологической структуре ландшафта Н.А. Солнцева, ландшафтным болотоведением Е.А. Галкиной, фитоиндикационными методами П.С. Погребняка и Д.В. Воробьева. Новые возможности познания ландшафтов открываются в связи с применением методов дистанционного зондирования Земли. Получают развитие аэрометоды изучения лесов, структуры полога насаждений Г.Г. Самойловича, методы дешифрирования по дистанционным снимкам структуры лесного ландшафта Д.М. Киреева.

В 1960–1980 годах учение о морфологической структуре ПТК Д.М. Киреев применяет для изучения лесов по аэроснимкам. Им разработан метод ландшафтных и экологических индикаторов. Этот метод позволяет активизировать использование в ландшафтных исследованиях лесов (1970–2013 гг.) комплекс ландшафтных источников информации, который помимо аэрокосмических снимков включает широкий спектр общегеографических, топографических, тематических карт, фондовых и литературных материалов. Кроме того,

разработаны концепция лесного морфологического ландшафтоведения, методы ландшафтно-морфологического анализа лесов, экологической оценки лесных земель.

Объектами ландшафтно-морфологического анализа Земли являются природные территориальные комплексы – исторически сложившиеся и пространственно обособленные единства пяти основных компонентов природы. ПТК образуют иерархическую систему индивидуальных единиц, позволяющих осуществлять ландшафтно-морфологический анализ на различных уровнях и вести ландшафтное картографирование в различных масштабах. При классификации сложных ПТК критерием их объединения в типологические категории является сходство их внутренней структуры, которая связана со сходством их происхождения. Иерархичность системы ПТК позволяет согласовывать различные уровни и масштабы ландшафтного картографирования. Система ландшафтных единиц является научной основой экстраполяции характеристик лесов и способов ведения лесного хозяйства и эксплуатации лесных ресурсов.

В результате обучения студенты должны: уметь квалифицированно подбирать и составлять списки ЛИИ, необходимых для проектирования; уметь читать многообразный картографический материал, понимать построение легенд геологических, четвертичных, почвенных, лесных и лесохозяйственных, геоботанических, топографических и других физико-географических карт различных масштабов, уметь оценивать и применять карты различной тематики при лесоинвентаризации, организации лесного хозяйства, лесозексплуатации, составлении перспективных планов освоения тайги, организации регионального землепользования, строительства, мониторинга и др. *Студент должен владеть навыками:* ландшафтной интерпретации и анализа основных ЛИИ, и, в первую очередь, дистанционных материалов и физико-географических и топографических карт и др.; камерального составления предварительных ландшафтно-морфологических карт; составления тематических карт, необходимых для ведения лесного хозяйства с использованием контурной и смысловой основы ландшафтной базовой карты. Лабораторные занятия включают следующие темы: номенклатура географических и лесохозяйственных объектов (международная разграфка). Работа с бланковой картой России; ознакомление с различными картами как источниками ландшафтной информации на изучаемую территорию; работа с дистанционными материалами. Опознавание территории, её характеристика по физико-географической, лесов и ландшафтной картам; вычерчивание ландшафтного профиля по топографической карте с использованием информации планов лесонасаждений и геологических карт; подготовка гипсометрической карты изучаемой территории; ландшафтное дешифрирование аэро-фотоснимков (или космических снимков) изучаемой территории и др. Самостоятельная работа и контроль успеваемости состоят из проработки лекционного материала по конспекту и учебной литературе; изучения отдельных вопросов тем дисциплины, не рассматриваемых на лекциях, по учебной литературе; подготовки к практическим занятиям. Текущая успеваемость студентов контролируется контрольными опросами (КО), опросами по результатам практических работ (ПР). Итоговая успеваемость студентов определяется в процессе сдачи экзамена. Большая часть материалов используется студентами по территориям, организованным в СПб ГЛТУ научно-исследовательских и учебных полигонов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Киреев Д. М., Сергеева В. Л. Природные объекты Лисинского НИУП для проведения полевой практики по лесному ландшафтоведению и комплексных экскурсий: Мелиорация, использование и охрана земель.(материалы международного симпозиума 9-10 сентября 2004 г.), СПб: СПб НИИЛХ, 2004. с.272-277.
2. Киреев Д. М. Развитие ландшафтных идей в лесоведении и дистанционных методах. Сборник научных трудов СПб ГЛТА / Юбилейный выпуск СПб, ред. коллегия: отв. ред . СПб ГЛТА, 2005, с.34-52.
3. Киреев Д. М. Ландшафтоведение. Лесное ландшафтоведение. Учебно-научное издание. СПб: изд-во СПб ГЛТА, 2007. 604 с.
4. Киреев Д.М. Метод экоиндикаторов / Методы изучения лесов по аэроснимкам. Новосибирск: Наука СО, 1977, с. 53-84.

5. Киреев Д.М., Лебедев П.А., Сергеева В.Л. Индикаторы лесов. Под ред. Д.М. Киреева. Научное издание...-СПб: изд-во СПб ГЛТА, 2011. 400с.
6. Киреев Д. М. Лесное ландшафтоведение. Текст лекций. Учебно-научное издание. СПб: изд-во СПб ГЛТА, 2012. 328 с.
7. Морозов Г.Ф. Учение о лесе. Изд. 3-е. М.: Госиздат, 1926. 368 с.
8. Морозов Г.Ф. Учение о типах насаждений / под ред. В.В. Гумана. М.; Л.: Сельхозгиз, 1930. 412 с.

THE LANDSCAPE TEACHING TO THE SPECIALISTS OF DIRECTION “INFORMATION SYSTEMS AND TECHNOLOGY”

D.M. KIREYEV, V.L. SERGEYEVA

Saint-Petersburg state forest technical university

In the Saint-Petersburg state forest technical university was working out and is teaching new subject “The landscape science with the foundation of morphology and mapping”. This subject is teaching for the different specialists, including to the specialists of direction “Information systems and technology”.

КАРТОГРАФИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРИРОДООХРАННОЙ И РЕКРЕАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НП «КУРШСКАЯ КОСА»

С.В. КНЯЗЕВА¹, Т.А. ЗОЛИНА², О.Л. ОРЛОВА³, И.П. ЖУКОВСКАЯ⁴, О.В. РЫЛЬКОВ⁴

¹ Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН

² Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства

³ ООО «НП «Алтайр»

⁴ НП «Куршская коса»

В докладе представлены результаты многолетних научных исследований на территории национального парка «Куршская коса». На основе пространственной информации, полученной при помощи ГИС-технологий, и архивных карт создан сборник картографических материалов, содержащий карты природоохранного, экологического, лесохозяйственного и рекреационного содержания. Он предназначен для сотрудников национального парка в качестве информационной поддержки при принятии решений, планировании научных исследований и различных мероприятий.

Национальные парки (НП) призваны выполнять две трудно совместимые функции - охрану экосистем на большой территории и развитие туризма и рекреации, т. к. они позволяют сберечь уникальные природные комплексы, и, одновременно, предусматривают возможность посещения территории большим количеством людей с целью ознакомления с природными и историко-культурными достопримечательностями, отдыха в живописных ландшафтах. Национальный парк «Куршская коса» является историко - культурным памятником и важнейшим природным ресурсом, выполняющим функцию сохранения и поддержания биоразнообразия, значение которого в рекреационном и эстетическом плане трудно переоценить. Живописные и разнообразные, а местами уникальные ландшафты чрезвычайно привлекательны для развития туризма и организации экологического просвещения населения, однако неустойчивость, уязвимость природных комплексов косы предполагает весьма осторожное и продуманное использование рекреационного потенциала.

На протяжении ряда лет в НП «Куршская коса» проводились научные исследования, в результате которых собран и систематизирован большой объем картографических материалов, обеспечивающих многообразную деятельность Парка [1,2]. Итогом исследовательских работ стала разработка программы атласа для национального парка «Куршская коса», в которой определено назначение и тип атласа, его размеры и структура, обоснованы математическая и географическая основы для карт атласа, разработаны типовые компоновки карт, предложен список карт и определены условия единого стиля оформления атласа. Создание атласа является важным закономерным этапом в процессе комплексного

изучения и оценки территории, возникающим, когда появляется необходимость в систематизации, анализе и представлении накопленных разнообразных отраслевых знаний на единой пространственной основе. На этапе подготовительных работ по созданию атласа сформирован сборник картографических материалов, включающий набор карт, отражающих различные аспекты природоохранной и рекреационной деятельности НП «Куршская коса», составленных по единым принципам. Все карты созданы и оформлены программными средствами пакета ArcGIS в векторном формате. Карты в сборнике составлены в проекции Гаусса-Крюгера, при компоновке выбрано размещение территории Куршской косы в направлении с запада на восток с поворотом стрелки севера по часовой стрелке на 40 гр. Выбрано два масштаба карт 1: 25000 и 1:60000, что обусловлено размером и формой картографируемой территории, а также форматом печати.

В состав сборника входят карты природоохранной, экологической и рекреационной тематики:

- экосистемы Куршской косы;
- тематические карты по данным лесоустройства;
- почвы;
- ландшафты;
- редкая и исчезающая травянистая и древесная растительность;
- потенциальная рекреационная нагрузка на лесные экосистемы
- исторические памятники и культурные объекты

Карта «Экосистемы Куршской косы» является основной (базовой) в системе карт атласа. Ее базовая функция определена тем, что она является основой для согласования природных контуров остальных карт и источником для составления ряда карт. Карта составлена по результатам визуального и автоматизированного дешифрирования спектрозональных аэрофотоснимков (масштаб съемки 1:40000), многозональных космических снимков высокого разрешения, материалов лесоустройства и наземных обследований. Содержание карты включает в себя:

- фитоценозы с характеристикой по типу растительности;
- экотопы с характеристикой по генезису, формам рельефа, почвенно-грунтовым условиям и увлажнению;
- природные и антропогенные факторы, негативно воздействующие на экосистемы.

Для отображения характеристик экосистем на карте выбраны два способа изображения: способ качественного фона и способ ареалов. Фитоценозы показаны оттенками разного цвета и насыщенности. Для лесов цвет соответствует лесообразующей (преобладающей) породе, а насыщенность цвета отражает доминанты в составе травяно-кустарничкового яруса. Для показа экотопов применен способ качественного фона в виде однотонных серых штриховок разного рисунка. Факторы, негативно воздействующие на экосистемы, отображены способом ареалов.

Тематические карты лесохозяйственного содержания составлены на основе материалов лесоустройства 1992 и 2002 гг. Для картографирования отобраны основные таксационные данные, характеризующие состояние древостоев и условия местопроизрастания. При создании карт применена классификация объектов (выделов) по их атрибутивным параметрам или по пространственным критериям при помощи процедур SCL-запросов к базе данных. Для картографического изображения элементов тематического содержания выбраны способы качественного и количественного фона в зависимости от типа таксационных данных. В оформлении карт использованы площадные условные знаки, состоящие из цвета и штриховок разных оттенков и насыщенности.

Набор карт, созданных по данным лесоустройства 2002 г., составили следующие карты: *породный состав насаждений; возраст и сомкнутость насаждений; бонитет насаждений; тип леса и тип лесорастительных условий; категории земель.* Для сравнения и выявления

динамики насаждений составлена карта породного состава насаждений по данным лесоустройства 1992 г.

Карта породного состава насаждений (2002 г.) является самой сложной и нагруженной картой в Сборнике. В содержание карты входит не только преобладающая порода выдела, но и видовой состав смешанных древостоев 1-го яруса, единичные деревья на не покрытых лесом землях. К чистым насаждениям отнесены выделы, в которых коэффициент первой породы больше 8 единиц состава. Остальные насаждения объединены в группу смешанных древостоев, среди которых последовательно выбраны все встречающиеся сочетания первой и второй пород первого яруса. Для самой распространенной породы деревьев на Куршской косе - сосны, показаны все видовые сочетания. Основное тематическое содержание карты получилось очень насыщенным. В легенде представлено 17 категорий для группы чистых насаждений, 58 категорий для группы смешанных древостоев и 10 категорий для единичных деревьев. Всего выделено 85 породных и видовых сочетаний древостоев. Отображение такого большого количества пунктов легенды потребовало сложной и длительной оформительской работы. В процессе оформления разработано несколько вариантов условных знаков. Цветовые оттенки фоновых заливок, штриховок и значков подобраны в соответствии с образцами типового цвета каждой породы, принятыми в лесоустройстве. Для видового разнообразия разработаны различные оттенки основного цвета породы дерева.

Ландшафтная карта. Электронный вариант карты создан в результате перевода в цифровой векторный формат ландшафтной карты, составленной в масштабе 1: 10 000 институтом «Союзгипролесхоз» в конце 1980-х годов в рамках генплана организации НП «Куршская коса». Куршская коса относится к типу эолового прибрежно-морского ландшафта юго-восточного побережья Балтики. На территории парка выделяют несколько основных типов ландшафтов: морской пляж; защитный дюнный вал (авандюна) природно-антропогенного происхождения; бугристая и местами заболоченная дефляционно-аккумулятивная равнина (пальве), преимущественно покрытая лесом; подвижные дюны с открытыми и закрепленными песками; призаливная терраса и пляж. Содержание карты включает 19 категорий урочищ и подурочищ. Ландшафты в ранге урочищ показаны на карте оттенками разных цветов, подурочища - оттенками одного цвета, соответствующего типу урочища.

Карта редкой и исчезающей травянистой и древесной растительности составлена на основе карты-схемы границ существующих особо охраняемых территорий и объектов, памятников природы, ареалов редкой естественной растительности на территории НП «Куршская коса», созданной в масштабе 1: 10000 начале 1990 гг. организацией РосНИИземпроект «СевзапНИИгипрозем». Актуализированная векторная карта редкой и исчезающей травянистой и древесной растительности включает несколько наборов точечных слоев данных, полученных из разных источников: оцифрованный оригинал карты-схемы, результаты полевых обследований, площадки описания растительности по геоботаническим профилям.

Для картографического отображения точечных слоев использован способ значков. Цвет значка показывает категорию таксона высшего травянистого растения, выражающую степень угрозы исчезновения этого таксона. Вместо сложного буквенно-цифрового индекса внутри значка использован идентификационный код, который на электронной карте не показан, но может быть выведен на экран в случае необходимости из базы данных картографического слоя. В базе данных представлены полные названия таксонов травянистых растений. Для показа редких видов деревьев и кустарников также применен способ значков, где форма отражает принадлежность объекта к кустарникам или деревьям хвойных и лиственных пород. Фрагмент карты представлен на рисунке 1.

Карта редкой и исчезающей травянистой и древесной растительности



Рис.1 Фрагмент карты редкой и исчезающей травянистой и древесной растительности НП «Куршская коса»

Геоботанические обследования включают семь профилей, каждый из которых включает от 3 до 20 площадок геоботанических описаний растительных ассоциаций. База геоботанических данных содержит информацию о древесной растительности, характеристики напочвенного покрова, включающего следующие ярусы: кустарничковый (название вида, высота, обилие, фенофаза, покрытие), травянистый (высота, обилие, покрытие), моховой (обилие); данные о лишайниках и грибах.

Почвенная карта. Электронный вариант карты создан при помощи векторизации растрового оригинала карты масштаба 1:25000, составленной по результатам полевых почвенных обследований в 1991-1992гг. на территории НП «Куршская коса» проведенных в ходе лесоустроительных работ Северо-Западным лесоустроительным предприятием. При составлении оригинала карты использовалась топографическая карта масштаба 1: 25000, аэрофотоснимки масштаба 1:10000 и архивные материалы научных исследований. На территории парка выделено 12 почвенных разностей, которые подразделяются по степени увлажнения, характеру гумусового горизонта, типу почвообразующих пород и лесорастительным условиям. Преобладают различные песчаные почвы на близких по составу эоловых песках. Основа карты – контурная сеть лесоустройства 1992 г. В качестве способа изображения использован способ качественного фона, показывающий цветами разных оттенков различные типы почв. Цветовой ряд подобран в соответствии с легендой оригинала бумажной почвенной карты. Легенда состоит из 16 пунктов: 12 типов почв, 3 почвенных комплекса, состоящих из сочетания двух типов почв и открытые пески.

Карта потенциальной рекреационной нагрузки на лесные экосистемы составлена с использованием базовой карты экосистем для территории НП «Куршская коса» для разных видов рекреационных занятий (экскурсии, плановый и самостоятельный туризм, массовый повседневный отдых). Методика создания карт заключается в следующем: для различных типов леса, представленных на карте экосистем, по значениям среднегодовых единовременных допустимых рекреационных нагрузок на лесные природные комплексы европейской части России (определенных нормативной отраслевой документацией) рассчитаны допустимые нагрузки. Рассчитанные показатели отображаются на карте в виде штриховок разного рисунка в границах экосистем с одинаковыми нормами нагрузок.

Карта исторических памятников и культурных объектов составлена на основе результатов археологических раскопок и исторических исследований, проведенных на территории Куршской косы, научных экологических и рекреационных проектов.

Содержание карт составляют памятники археологии, исторические и культурные объекты, экскурсионные экологические маршруты и видовые точки.

Сборник картографических материалов, созданный при помощи ГИС-технологий, позволяет наглядно представить имеющуюся картографическую информацию о территории Куршской косы и повысить результативность справочно-информационной, просветительской, природоохранной и рекреационной деятельности органов управления НП. Он предназначен для администрации и научных сотрудников национального парка в качестве информационной поддержки при принятии решений, планировании лесохозяйственных, лесозащитных, рекреационных и иных мероприятий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Орлова О. Л., Вуколова И.А., Князева С.В., Золина Т.А., Стрелкова М.Е. Мониторинг лесных экосистем национального парка «Куршская коса»: методология, методы сбора данных, интерпретация результатов. // Сборник научных статей «Проблемы изучения и охраны природного и культурного наследия национального парка «Куршская коса». Вып. 6, Калининград: Изд-во РГУ им. И. Канта, 2008, с. 15-20
2. Орлова О.Л., Золина Т.А., Вуколова И.А., Князева С.В. и др. Многоуровневый мониторинг лесов и его ведение в национальном парке «Куршская коса» // Лесная наука сегодня: Сб. статей, М.: ВНИИЛМ, 2009, с. 196-201

MAPPING SUPPORT FOR ECOLOGICAL AND RECREATION ACTIVITY OF «CURONIAN SPIT» NATIONAL PARK

S. V. KNYAZEVA¹ T.A.ZOLINA², O.L.ORLOVA³, I.P. ZHUKOVSKAYA⁴, O.V. RYLKOV⁴

¹ Center for forest ecology and productivity RAS

² All-Russian Research Institute of Silviculture and Forestry Mechanization (VNIILM)

Federal Forestry Agency of Russia

³Limited Company «SF«Altair»

⁴National Park «Curonian Spit»

This report presents the results of many years of scientific research in the National Park "Curonian Spit". Based on the spatial information provided by GIS and used by historical maps, an atlas containing maps of environmental, ecological, forestry and recreation was created. It was intended for employees of the National Park to inform decision support, planning of scientific research and events.

ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ И АТРИБУТИВНЫХ ДАННЫХ В СИСТЕМЕ ЛЕСОПАТОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ПО МЕЖДУНАРОДНОЙ ПРОГРАММЕ ICP FORESTS

С. В. КНЯЗЕВА, С. П. ЭЙДЛИНА

Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН

Международная программа ЕЭК ООН ICP Forests мониторинга состояния лесов на основе Конвенции о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния является в настоящее время самым крупным проектом в мире. В докладе приведены основы организации пространственных и атрибутивных данных в системе лесопатологического мониторинга России по международной программе ICP Forests.

В настоящее время самым крупным проектом мониторинга состояния лесов в мире является международная программа ЕЭК ООН ICP Forests, в которой участвует 41 страна. Программа развивается на основе Конвенции о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния. Российская Федерация, во исполнение принятых по Конвенции обязательств, осуществляет мониторинг ICP Forests в шести субъектах Российской Федерации: Ленинградская, Псковская, Новгородская, Калининградская, Мурманская области и Республика Карелия. Филиалами ФГУ «Рослесозащита» в 2007-2008 г.г. заложена сеть пунктов постоянного наблюдения (ППН) в узлах регулярной сети разной степени

детальности: на территории Калининградской и Ленинградской областей - 16х16 км, Псковской, Новгородской, Мурманской областей и республике Карелия - 32х32 км. Объектами мониторинга в лесах являются древесные растения, лесные вредители (в том числе отнесенные к категории карантины), болезни, напочвенный покров, почвы и почвенные воды, атмосферные выпадения.

В 2006 году Министерство природных ресурсов назначило Координационным центром программы ICP Forests в России Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН (ЦЭПЛ РАН) - здесь накапливаются данные мониторинга, анализируются ошибки, отправляются данные на корректировку в места сбора первоначальной информации, формируются выборки для анализа и составляются отчеты.

Анализ потоков информации показал, что для хранения и обработки атрибутивных данных ICP Forests в ЦЭПЛ необходимо создание базы данных (БД). В 2008 году была разработана и функционирует по настоящее время БД ICP Forests. В качестве системы управления базой данных (СУБД) выбрана MySQL 5.1 – наиболее популярная открытая высокопроизводительная многопользовательская СУБД, построенная с использованием архитектуры клиент/сервер, и, соответственно, позволяющая разделить ресурсы и обеспечить доступ к серверу базы данных по сети. В ЦЭПЛ РАН организован сервер под управлением СУБД MySQL, позволяющий работать с данными по локальной сети Центра и по Интернет.

За период 2008-2011 гг. данные по проекту поступали из разных организаций, в разных форматах: в формате СУБД Access, PostgreSQL8, MS Excel, различных текстовых форматах. На первоначальном этапе требовалось организовать обмен данными между организациями-участниками проекта и перевести все данные в единый формат для загрузки в базу данных по проекту и определить форматы для каждого поля данных в таблицах. Для этого было необходимо договориться о единых идентификаторах для записи ППН и деревьев, а также о единых кодах в справочниках. Необходимые консультации были проведены, единое кодирование регионов мониторинга, ППН, деревьев и параметров справочников закреплено в Методических рекомендациях (Методические рекомендации..., 2009). Все исполнители по проекту используют единые идентификаторы и кодификаторы.

В соответствии с требованиями Международной Методики ICP Forests БД включает в себя данные для двух уровней мониторинга (Level I и Level II). БД IcpForests включает данные по шести направлениям. Первый уровень (Level I): состояние крон, химический анализ почв, химический анализ образцов растений, напочвенный покров (геоботанические описания). Второй уровень (Level II): атмосферные выпадения, почвенные воды.

Проведенная оценка поступивших данных, а также требований к последующему анализу и отчетам позволила структурировать данные и разработать блок-схему связей таблиц базы данных для работ по проекту. База данных состоит из 81 таблицы и содержит более 150 000 записей. Структура Базы данных представлена на рисунке 1.

Количество ППН и параметры мониторинга, оцененные в 2008-2011 гг., приведены в таблице.

Таблица. ППН и параметры, оцененные в 2008-2011 годах

Год	Кол-во ППН					
	Состояние крон	Анализ почв	Анализ растений	Напочвенный покров	Атмосферные выпадения	Почвенные воды
2008	512	-	-	-	-	-
2009	365	98	100	100	3	3
2010	288	150	150	147	5	5
2011	295	-	-	3	-	-

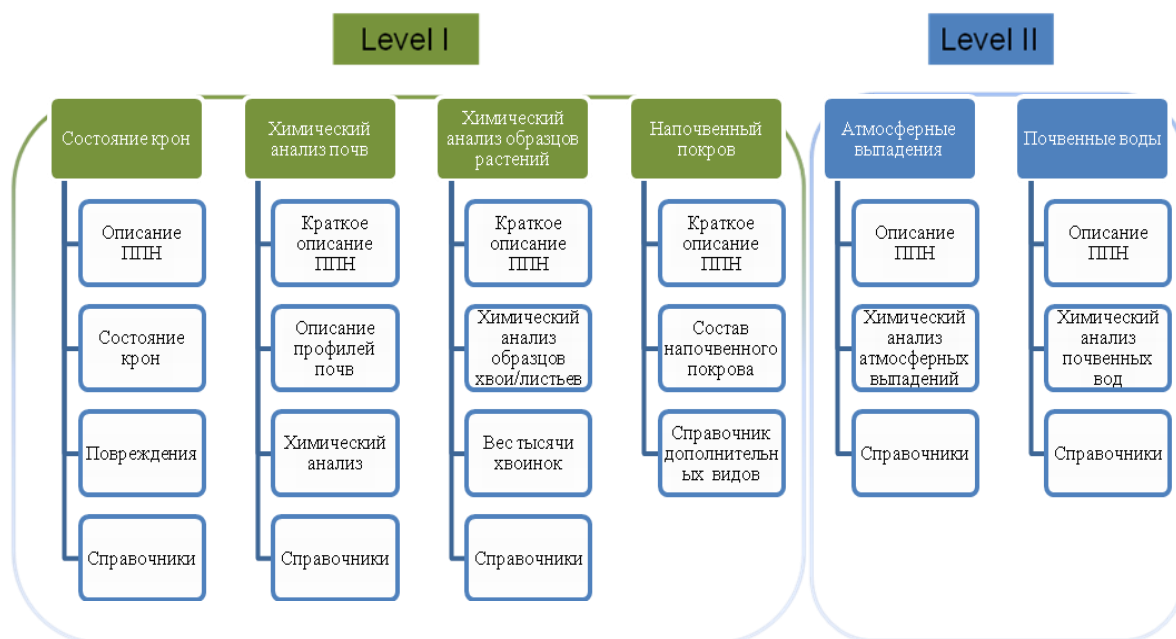


Рис. 1. Структура БД ICP Forests

Для картографического представления и пространственного анализа данных мониторинга ICP Forests создана пространственная база данных (ПБД). Программой основой для создания ПБД ICP Forests выбран профессиональный ГИС-пакет ArcView9.3 с широкими функциональными возможностями хранения, обработки, анализа и отображения информации. Методология создания пространственной базы данных предполагает организацию двух пространственных уровней, соответствующих определенным масштабам картографирования и территориальному охвату: общий - для всей сети мониторинга ICP Forests и локальный - для отдельных регионов (субъектов РФ). Основу всей пространственной базы составляет базовый точечный слой с координатами ППН сети мониторинга и наборы атрибутивных таблиц с характеристиками ППН и показателями состояния крон деревьев преобладающих пород по годам. Для визуализации географического положения ППН и анализа пространственных взаимосвязей на этом уровне созданы наборы картографических слоев. Базовым слоем является топографическая (географическая) основа карт, представляющая собой разгруженные полигональные и линейные слои векторной топографической карты масштаба 1:1000000. В базу включены картографические векторные слои лесных районов и лесорастительных зон, ландшафтов, климатических показателей. Масштаб картографирования 1-го пространственного уровня ПБД составляет 1:5000000 – 1:7000000.

На втором уровне картографирование и анализ пространственных данных производится для территорий отдельных субъектов РФ. На этом уровне в ПБД включаются космические снимки различного разрешения, тематические карты (почвенные, геоботанические, ландшафтные и др.), лесоустойчивые материалы, цифровые модели рельефа (ЦМР). Локальному уровню соответствует более крупный масштаб картографирования – 1 : 1000000 - 1:3000000.

Все векторные данные в ПБД хранятся в форматах системы ArcGIS (*SHP* и *GDB*) в географической проекции *lat/long*, эллипсоид *WGS 1984*, для хранения растровых данных использован универсальный формат *GEOTIF* и проекция *UTM*.

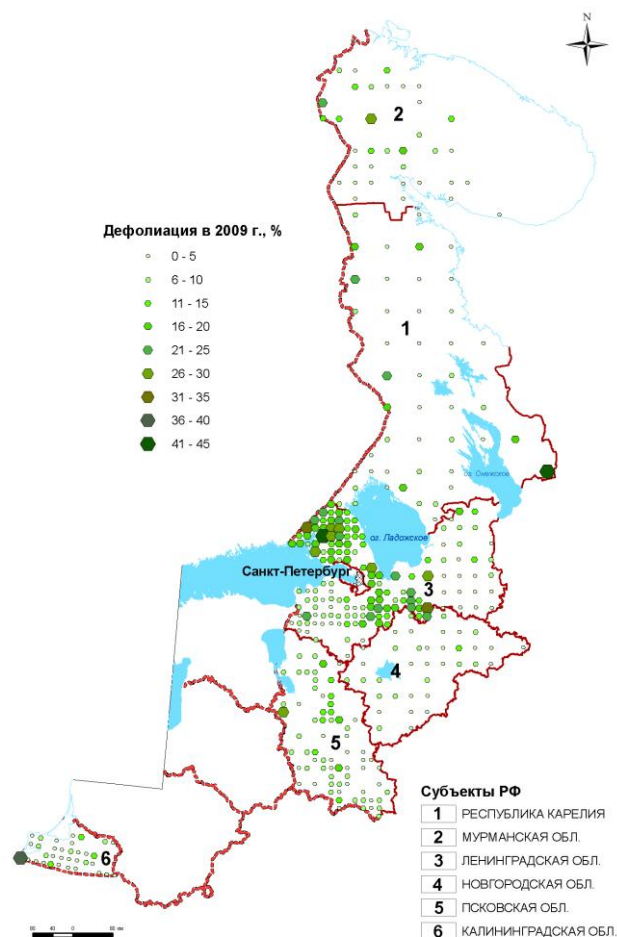


Рис. 2. Средние значения дефолиации крон преобладающих пород деревьев на ППН в 2009 году

На основе ПБД проводится комплексный анализ динамики и пространственных взаимосвязей показателей мониторинга ICP Forests с природными и антропогенными факторами. Карты показателей мониторинга составляются при помощи атрибутивных и пространственных запросов к базе данных и оформляются в различных условных знаках с точечной локализацией в местах размещения ППН. В качестве примера на рисунке 2 приведена карта дефолиации (преждевременное опадание листьев или хвои деревьев под воздействием неблагоприятных факторов внешней среды) как наиболее информативного показателя мониторинга (Методические рекомендации..., 2009; Лукина, 2012).

Анализ параметров состояния древесных пород показал, что более 50% деревьев на всей сети мониторинга характеризуются той или иной степенью дефолиации. В период с 2008 г. по 2010 г. доля деревьев со степенью дефолиации 5-20% варьировала от 45 до 52% у ели, от 44 до 57% у сосны и от 45 до 56% у березы. Ярко выраженная динамика по годам в целом по сети не выявлена. Пункты постоянных наблюдений (ППН) с древесными растениями, отличающимися самым высокими средними значениями уровнем дефолиации, обнаружены в среднетаежном лесном районе, преимущественно на Карельском перешейке (Ленинградская область). В результате пространственного анализа выявлено, что древесные растения с высоким уровнем дефолиации приурочены, в основном, к озерно-ледниковым ландшафтам низменных платформенных равнин и к ландшафтам возвышенных платформенных равнин (докембрийские щиты и кряжи с ледниковой обработкой) в Карелии и Ленинградской области. Здесь произрастают в основном деревья хвойных пород, чей возраст составляет от 80 до 190 лет. Для Ленинградской области, где сконцентрированы ППН с высокой дефолиацией, можно отметить их пространственную близость к крупным источникам промышленных выбросов в атмосферу (Лукина и др., 2012).

ЛИТЕРАТУРА

1. Методические рекомендации по мониторингу лесов в соответствии с международной программой ICP Forests, утвержденные приказом Рослесхоза от 15.07.09 №292
2. Лукина Н.В., Зукерт Н.В., Эйдлина С.П., Князева С.В., Орлова М.А., Смирнов В.Э., Горнов А.В. Отчет о научно-исследовательской работе по теме «Разработка научно-обоснованных предложений по критериям и индикаторам ослабления лесов на основе результатов лесопатологического мониторинга, выполненного по международным стандартам, для оценки исполнения переданных полномочий в области лесных отношений», ГК Р-9К-11/3 от 01 ноября 2011 г. Этап 3: стр. 172, рис. 62, табл. 11, приложений 3, библиография 21. Москва, 2012. Этап 4: стр. 299, рис. 128, табл. 300, приложений 6, библиография 90. Москва, 2012.

ORGANIZATION OF SPATIAL AND ATTRIBUTE DATA IN THE FOREST PATHOLOGY MONITORING SYSTEM ACCORDING THE INTERNATIONAL PROGRAMME ICP FORESTS

S.V. KNYAZEVA, S.P. EYDLINA

Center for forest ecology and productivity RAS

The ICP Forests international forest condition monitoring program of UNECE on the basis of Convention about cross-border air pollution on long distances is now the largest project in the world. This article deals with the main approaches to organization the attribute and spatial data in the forest pathology monitoring system in Russia.

ИМИТАЦИОННАЯ КОМПЬЮТЕРНАЯ МОДЕЛЬ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ ДИНАМИКИ ДРЕВЕСНЫХ СООБЩЕСТВ

А.Н. КОЛОБОВ

Институт комплексного анализа региональных проблем ДВО РАН

Рассмотрены результаты построения и индивидуально-ориентированной модели, описывающей пространственно-временную динамику древесных сообществ. В качестве результатов моделирования исследователь получает различные прогнозные сценарии развития леса. Показаны результаты вычислительных экспериментов по развитию смешанных древостоев, представленных основными лесообразующими породами Дальнего Востока.

В работе приводятся результаты построения и исследования компьютерной индивидуально-ориентированной модели динамики смешанных древесных сообществ. Особое внимание при ее построении уделяется описанию и изучению механизмов внутривидовой и межвидовой конкуренции, которая является определяющим фактором, формирующим характерные сообщества деревьев. При этом учитывается пространственная структура древостоя как основной фактор, влияющий на напряженность конкурентных отношений.

Используемый в модели индивидуально-ориентированный подход позволяет рассматривать динамику древостоя, как результат роста и взаимодействия множества отдельных деревьев в зависимости от их позиции на участке и локально доступных ресурсов. При описании роста дерева в сообществе рассматриваются условия произрастания, формируемые в результате влияния рядом стоящих деревьев через изменение доли солнечной радиации, приходящейся на данное растение.

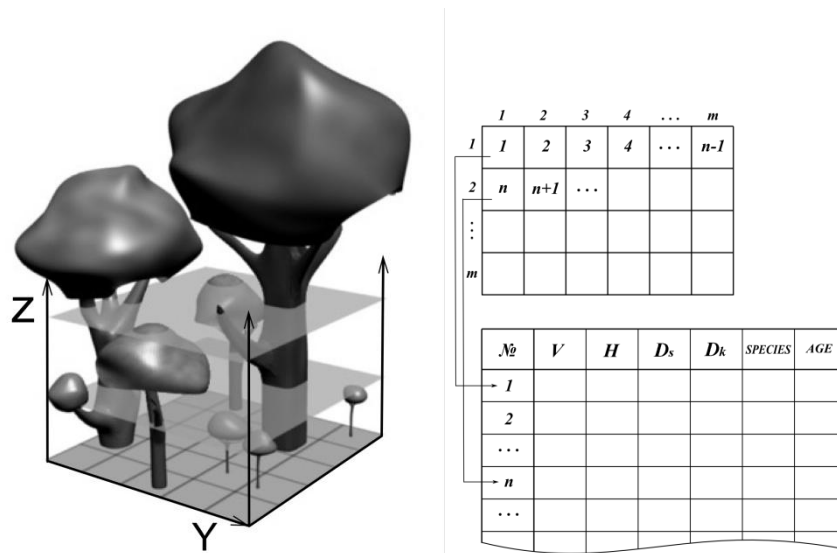


Рис. 1. Пространственная структура моделируемого древостоя (слева - размещение деревьев на участке; справа - горизонтальная плоскость моделируемого участка).

На рис.1 показана пространственная структура моделируемого участка леса. Горизонтальная плоскость моделируемого участка леса представляет собой целочисленную решетку, с расположенными на ней деревьями (рис. 1 слева). Такое разбиение непрерывного пространства облегчает алгоритмы рассеивания семян, поиска ближайших соседей и хранения информации. Координаты ячеек задаются в соответствии с номером строки и столбца. Размер ячеек может быть разным в зависимости от необходимой точности вычисляемых координат, уменьшение приводит к замедлению работы программы, в данном случае он равен 40×40 см, что сопоставимо с размерами ствола дерева. Количество ячеек задается пользователем, но является ограниченным вследствие вычислительных возможностей РС. В каждой ячейке одновременно может находиться только одно дерево, которое не привязано к ее центру, а располагается в ней случайным образом.

Данные о содержимом ячейки записываются в таблицу. Нумерация строк таблицы соответствует порядковым номерам ячеек, как показано на рис. 1 справа. Таким образом, зная номер дерева можно легко определить его пространственное расположение. При вычислении роста дерева на $i+1$ – ом шаге моделирования, текущие данные, соответствующие i – му шагу, извлекаются из промежуточного массива, обрабатываются и снова записываются в массив. При отмирании дерева данные о нем обнуляются.

Рост дерева определяется интенсивностью фотосинтеза, который зависит от количества падающего света. В результате взаимного затенения, световой режим в сообществе, постоянно меняется, что влияет на процессы роста, возобновления и отмирания деревьев.

Для расчета светового режима в древостое, моделируемый участок в вертикальном направлении разбивается на слои. Расстояние между ними принимаем равным одному метру. Кроны деревьев аппроксимируются плоскими светопоглощающими экранами, которые отображаются в соответствующий слой в зависимости от высоты дерева, как показано на рис. 2.

Каждый слой представляет собой сетку, покрывающую все моделируемое пространство. Световой поток, проходя сквозь проекции крон, ослабевает в соответствии с их коэффициентом пропускания, который зависит от размеров и видовой принадлежности дерева.

При расчете светового довольствия деревьев, расположенных в n - ом слое, все вышележащие слои накладываются друг на друга. В результате, доля солнечной радиации в любой точке n – го слоя вычисляется по формуле: $K_{i,j}^n = \prod_{l=1}^{n-1} k_{i,j}^l$, где k - коэффициент

проницаемости кроны, l – номер слоя, i, j – координаты ячейки. Такой подход позволяет рассчитать освещенность каждого дерева и почвенного покрова на моделируемой территории в случае вертикального падения света.

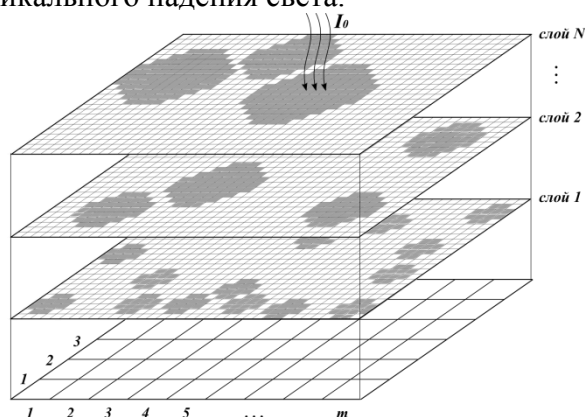


Рис. 2. Вертикальная структура моделируемого участка леса. Для расчета светового режима, древостой разбивается на слои, в которые проецируются кроны деревьев.

В модели предусмотрен блок реализующий процессы отмирания деревьев, которое происходит в результате естественного старения и конкуренции за ресурсы жизнедеятельности. Конкуренция между деревьями вызывает нехватку света, в результате чего скорость роста замедляется и с некоторого момента времени может начаться отрицательный прирост биомассы, т.е. опад ветвей и зеленой части. Когда отрицательный прирост биомассы превышает определенное значение, дерево погибает. Кроме этого учитывается так называемая дискриминационная компонента смертности, обнаруженная на натурном материале и описанная в работе (Бузыкин и др, 1985), которая проявляется в виде интенсивной гибели деревьев, отставших в своем развитии от среднего по популяции дерева.

На каждом шаге моделирования, который равен одному году, осуществляется процедура рассеивания семян, которая задается соответствующими вероятностными процессами. Просчитывается вероятность прорастания семени того или иного вида в каждой свободной ячейке моделируемого участка. Она определяется количеством особей данного вида способных к плодоношению, а также расстоянием от них до рассматриваемой точки. Помимо этого задается вероятность прорастания семян в случае неблагоприятно сложившихся условий (высокая трава, грызуны, избыточная влажность и т.д.).

Рост дерева, учитывая влияния конкуренции со стороны окружающего древостоя, описывается следующими уравнениями (Колобов, 2012)

$$\begin{cases} \frac{dV}{dt} = \frac{P_m \cdot b}{p} \cdot \ln \left(\frac{P_m + a \cdot Q}{P_m + a \cdot Q \cdot \exp(-p \cdot V^d)} \right) - cVH \\ \frac{dH}{dt} = (k + m \cdot H) \cdot \left(R(Q) - \frac{H}{H_{\max}} \right) \\ D = \sqrt{\frac{4V}{\pi H f}} \end{cases}$$

где V – объем дерева (м^3), H – высота (м), D – диаметр (см), a – начальная крутизна световой кривой, показывает зависимость фотосинтеза от интенсивности освещения, p – параметр, характеризующий самозатенение, P_m – интенсивность фотосинтеза единицы листовой поверхности, Q – доля солнечной радиации при затенении окружающим древостоем ($0 \leq Q < 1$), f – видовое число, показывающее отклонение от идеального цилиндра.

Результаты моделирования внутривидовой конкуренции показали, что в ходе формирования структуры древостоя даже при однородных внешних условиях происходят процессы хаотической самоорганизации, приводящие к образованию сложно

структурированных неоднородных (пятнистых) пространственных распределений растительных сообществ (рис. 3).

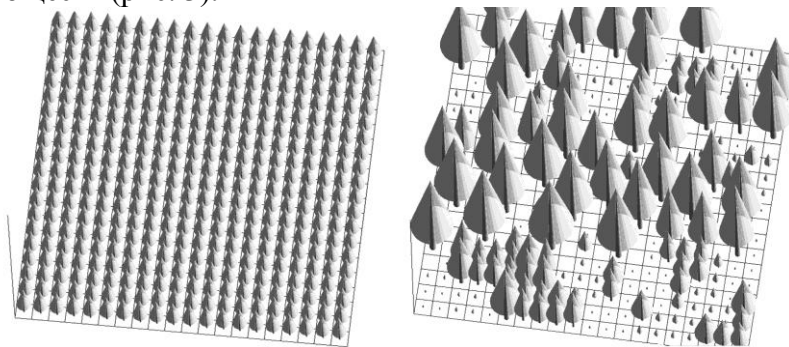


Рис. 3. Образование пространственно неоднородного распределения деревьев в результате внутренних взаимодействий

На основе предложенной модели были построены различные модельные сценарии пространственно-временной динамики смешанных древесных сообществ, произрастающих на территории Дальнего Востока. В качестве исследуемых видов, рассматривались: ель, пихта, кедр и береза.

Проведенные вычислительные эксперименты по моделированию межвидовых взаимодействий теневыносливых и светолюбивых пород, показали, что рассматриваемые темнохвойные виды: ель сибирская, кедр корейский, пихта белокорая со временем вытесняют светолюбивую березу, которая к концу второго поколения практически полностью исчезает. Полученный модельный сценарий отражает наблюдаемую в процессе сукцессии смену пород в елово-березовом древостое. Моделирование динамики взаимодействия темнохвойных видов ели, пихты и кедра демонстрирует их устойчивое совместное сосуществование.

Анализ сценариев динамики двувидовых сообществ показал, что в естественных условиях развития при отсутствии внешних факторов влияния, ель полностью вытесняет березу. В случае изъятия части деревьев ели получаем сценарий сосуществования видов. В определенных условиях периодического изъятия доли подроста ели сибирской, наблюдаются периодические колебания березы и ели, в которых численное преобладание одного вида сменяется другим. Такие условия могут возникать, например, при поедании молодых побегов копытными или вспышками фитофагов.

Исследования проведены при финансовой поддержке РФФИ (проект № 11-01-98512-р_восток_a, № 12-01-31119), ДВО РАН (проект № 12-I-П30-14).

ЛИТЕРАТУРА

1. Бузыкин А.И., Гавриков В.Л., Секретенко О.П., Хлебопрос Р.Г. Анализ структуры древесных ценозов, Новосибирск: Наука, Сиб. отделение, 1985, 94 с.
2. Колобов А.Н. Численно-аналитическое исследование модели роста дерева в условиях конкуренции за свет // Математическая биология и биоинформатика, 2012, том 7, № 1, с. 125–138.

SIMULATION COMPUTER MODEL OF THE SPATIAL-TEMPORAL DYNAMICS OF WOODY COMMUNITIES

A.N. KOLOBOV

Institute for Complex Analysis of Regional Problems ICARP FEB RAS

The results of the construction and individual-based model that describes the spatial-temporal dynamics of woody communities. As the simulation results includes different forecast scenarios of forest development. The results of numerical experiments on the development of mixed stands from major tree species of the Far East.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ КОСМИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ И ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ОСОБО ОХРАНЯЕМЫМИ ПРИРОДНЫМИ ТЕРРИТОРИЯМИ

В.В. МАКЛАКОВ

Открытое акционерное общество «Научно-производственная корпорация «РЕКОД»

Открытое акционерное общество «Научно-производственная корпорация «РЕКОД» реализует пилотный проект по созданию типовой системы мониторинга, информационно-навигационного обеспечения и управления особо охраняемыми природными территориями на основе комплексного использования результатов космической деятельности и данных наземных наблюдений и измерений. Проект реализуется на базе федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный парк «Смоленское Поозерье» (Смоленская область).

Федеральным законом от 14 марта 1995 года № 33-ФЗ «Об особо охраняемых природных территориях» определено, что особо охраняемые природные территории (ООПТ) – это участки земли, водной поверхности и воздушного пространства над ними, где располагаются природные комплексы и объекты, которые имеют особое природоохранное, научное, культурное, эстетическое, рекреационное и оздоровительное значение, которые изъяты решениями органов государственной власти полностью или частично из хозяйственного использования и для которых установлен режим особой охраны.

Всего в Российской Федерации создано более 13 тысяч ООПТ федерального, регионального и местного значения. Государственное управление и контроль в области организации и функционирования ООПТ федерального значения осуществляется Правительством Российской Федерации и федеральными органами исполнительной власти в области охраны окружающей среды, регионального значения – органами государственной власти субъектов Российской Федерации, местного значения – органами местного самоуправления. Система ООПТ федерального значения России насчитывает 242 особо охраняемые природные территории общей площадью 55,628 млн га (3,26% территории России), расположенные в 81 субъекте Федерации, и включает 102 государственных природных заповедника, 42 национальных парка, 70 государственных природных заказников, 28 памятников природы.

Все это множество уникальных природных объектов нуждается в инвентаризации и мониторинге, оценке и прогнозе, управлении и планировании развития. В ООПТ России в течение десятилетий собран огромный и ценнейший объем информации, который сегодня является мертвым грузом и практически недоступен для использования и научного анализа. Сбор данных не регламентирован, система учета часто не имеет четкой структуры, временная и пространственная привязка данных не всегда является качественной, что делает весьма трудной их автоматизированную обработку.

Все эти проблемы могут быть решены только на основе комплексного использования разнородных высокотехнологичных систем, включающих современные геоинформационные системы, спутниковые системы различного назначения, наземные средства мониторинга и т.д.

Понимая всю важность данной задачи, полномочный представитель Российского космического агентства – Открытое акционерное общество «Научно-производственная корпорация «РЕКОД» в рамках Федеральной космической программы на 2006-2015 годы с 2009 года реализует пилотный проект «Космический парк». Целью проекта является создание типовой системы мониторинга, информационно-навигационного обеспечения и управления ООПТ на основе комплексного использования результатов космической деятельности и других данных.

Проект реализуется на базе федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный парк «Смоленское Поозерье» (Смоленская область).

Система мониторинга ООПТ создана на основе отечественных программных продуктов

базовой геоинформационной платформы РЕКОД, которая включает в себя специальное программное обеспечение (СПО):

- СПО «РЕКОД-Геопортал», обеспечивающее визуализацию различных типов пространственных данных и формирование отчетов;
- СПО «РЕКОД-Доступ», обеспечивающее организацию доступа к базе данных, предоставление пользователям программных продуктов и услуг;
- СПО «РЕКОД-Инфраструктура», обеспечивающее ведение базы пространственных данных;
- СПО «РЕКОД-Регистратор», обеспечивающее регистрацию фактов, событий, происшествий и передачу их на геопортал;
- СПО «РЕКОД-Модель», обеспечивающее трехмерное пространственное моделирование территории.

В рамках этого проекта используется научно-технический задел, полученный при реализации ОАО «НПК «РЕКОД» мероприятий федеральной целевой программы «Глобальная навигационная система на 2002-2011 годы» в части навигационного мониторинга транспорта и других подвижных объектов (СПО «РЕКОД-МТ»), высокоточного позиционирования объектов и территорий (СПО «РЕКОД-СВТП КП»), решения других задач с использованием систем ГЛОНАСС/GPS.

Система мониторинга, информационно-навигационного обеспечения и управления предназначена для решения следующих задач:

- обеспечение мероприятий по охране, защите, воспроизводству лесов, включая проведение рубок, в порядке, предусмотренном лесным законодательством Российской Федерации;
- выявление нарушений установленного режима или иных правил охраны и использования окружающей природной среды и природных ресурсов;
- мониторинг пожарной опасности, обеспечение противопожарных мероприятий;
- экологический мониторинг;
- обеспечение мероприятий по инвентаризации объектов историко-культурного наследия и туристско-рекреационных объектов;
- отображение на электронной карте внешних границ и границ функциональных зон, границ участковых лесничеств, кварталов и выделов, а также другой информации по лесному и водному хозяйству, объектам туристско-рекреационного комплекса;
- обеспечение мероприятий по рекреационному обустройству, созданию экологических троп и туристических маршрутов в соответствии с функциональным зонированием территории, развитию регулируемого туризма и отдыха.

Объектами мониторинга являются:

- лесные ресурсы;
- водные объекты;
- ландшафтные объекты;
- объекты туристско-рекреационного комплекса;
- дорожная инфраструктура;
- объекты противопожарного обустройства;
- метеообстановка;
- отдельные объекты животного и растительного мира, в том числе и занесенные в Красную книгу.

Основными элементами системы мониторинга, информационно-навигационного обеспечения и управления являются:

- информационно-аналитический центр (ИАЦ), включающий геоинформационную систему с базами пространственных и атрибутивных данных, систему поддержки принятия решений;
- система высокоточного позиционирования;
- система мониторинга транспорта;

- наземные портативные средства мониторинга;
- метеостанция;
- система видеомониторинга;
- средства тематической обработки и хранения данных ДЗЗ;
- средства ввода и отображения информации.

Базовые геопространственные данные, результаты наблюдений и обработки отображаются в виде тематических слоев на геопортале, с использованием которого можно также решать задачи управления ООПТ.

Система высокоточного позиционирования обеспечивает точность определения местоположения объектов мониторинга 0,6-0,9 м в плане и 1 м по высоте, а с использованием полевого профессионального навигационного приемника – 1-2 см в плане и 2-4 см по высоте.

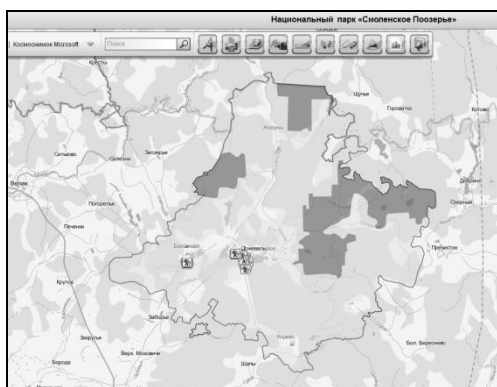


Рис. 1. Геопортал национального парка «Смоленское Поозерье»



Рис. 2. Мобильные средства высокоточного позиционирования

Информация, получаемая от метеостанции (текущая температура, температура точки росы, давление, количество осадков за сутки, направление и скорость ветра) каждые три часа, обрабатывается и отображается в табличном виде на веб-странице. Метеоинформация используется в том числе и для оценки степени пожарной опасности по условиям погоды.

Система видеомониторинга предназначена для выявления возгораний в лесных массивах и охраны территории ООПТ.

Средства тематической обработки и хранения данных ДЗЗ решают следующие задачи:

- обнаружение гари и оценка степени лесовозобновления участка, пораженного пожаром;
- обнаружение сухостоя, ветровалов, свалок, рубок, разливов нефтепродуктов;
- оценка законности проведения рубок;
- расчет экономического ущерба от ветровалов, пожаров и незаконных рубок;
- актуализация таксационных характеристик лесного выдела;
- определение класса природной пожарной опасности;
- определение класса пожарной опасности по условиям погоды;
- моделирование развития низового лесного пожара;
- передача результатов обработки и моделирования на геопортал;
- хранение материалов аэрокосмической съемки.

Таким образом, созданная типовая система мониторинга, информационно-навигационного обеспечения и управления обеспечивает решение всех основных задач, возлагаемых на ООПТ. Система значительно повышает эффективность их решения, позволяет автоматизировать процессы мониторинга и управления, отображать в реальном времени состояние объектов мониторинга.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Прозрачный мир*. [Http://www.transparentworld.ru/ru/environment/oopt/](http://www.transparentworld.ru/ru/environment/oopt/)

USE OF SPACE ACTIVITIES AND GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEMS FOR MANAGEMENT OF SPECIALLY PROTECTED NATURAL AREAS

V. MAKLAKOV¹

¹Open Joint Stock Company «Scientific and Production Corporation «REKOD»

Open Joint Stock Company «Scientific and Production Corporation «REKOD» implement a pilot project to create a model system for monitoring, information and navigation support and management of specially protected natural areas based on integrated use of space activities and ground based observations and measurements. The project is implemented on the basis of State Organization «National Park «Smolensk Lakes».

ПРИКЛАДНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО СОЗДАНИЮ ПЛАНОВО-КАРТОГРАФИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ИНВЕНТАРИЗАЦИИ ЗЕЛЕННЫХ НАСАЖДЕНИЙ И ИНЫХ ОБЪЕКТОВ ОСОБО ОХРАНЯЕМЫХ ТЕРРИТОРИЙ Г. МОСКВЫ

Н.В.МАЛЫШЕВА¹, Т.А.ЗОЛИНА¹, Н.Э.РАЙЧЕНКО¹, С.А.ПОПИК¹, О.Л.ОРЛОВА²

¹Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства (ВНИИЛМ)

Федеральное агентство лесного хозяйства России

²ООО «НП«Альтаир»

Обоснованы базовые масштабы, содержание и требования к инвентаризационным планам, являющимся неотъемлемой частью паспорта озелененной территории и ООПТ г. Москвы. Обоснован отбор минимальных площадных объектов, отображаемых на планово-картографических документах. Приведены примеры создания инвентаризационных планов ООПТ г. Москвы.

Составной частью Паспорта озелененной территории или ООПТ г. Москвы являются инвентаризационные планы, которые составляют по результатам инвентаризации на каждый территориальный объект. Инвентаризационные планы предназначены:

- для решения задач управления городским хозяйством, регламентирования работ по содержанию зеленых насаждений их капитальному ремонту и реконструкции;
- организации рационального управления территориями ООПТ города, объектами с парковой растительностью, территориями в виде озелененных полос вдоль магистралей, улиц (проездов) города, придомовых и других территорий, на которых произрастают зеленые насаждения;
- мониторинга зеленых насаждений ООПТ и других территорий;
- решения природоохранных задач в сфере ответственности Департамента природопользования и охраны окружающей среды г.Москвы;
- формирования информационных ресурсов по объектам озеленения и ООПТ и возможности их интеграции с производственными системами Департамента природопользования и охраны окружающей среды г. Москвы и подведомственных ему организаций, с другими городскими информационными ресурсами.
- создания тематических картографических слоев по объектам ООПТ и другим территориям, где произрастают зеленые насаждения, в разных базовых масштабах для использования пространственной информации в едином координатном (геоинформационном) пространстве г. Москвы.

В зависимости от назначения, решаемых задач и методов учета объектов инвентаризации такие планово-картографические материалы целесообразно составлять в следующих базовых масштабах:

— при проведении инвентаризации с подеревным перечетом парковой растительности – М 1:500;

— при проведении инвентаризации по выделным методом учета древесной и кустарниковой растительности ООПТ – М 1:2000, 1:1000.

Картографическими источниками для составления инвентаризационных планов приведенных базовых масштабов служат: материалы полевых геодезических измерений, проекты и чертежи топографической съемки Мосгоргеотреста в масштабах 1:500, 1:1000, 1:2000, ситуационные планы масштаба 1:2000 Москомархитектуры или подведомственных ей служб (АПО АО), исходные данные по землеотводам территориальных управлений АО и сведения от балансодержателей территорий (или юридических владельцев), фотопланы, ортофотопланы, аэроснимки, космические снимки, единая государственная картографическая основа г. Москвы (ЕГКО). Держателем специализированных карт с нанесением топографических элементов ситуации (М 1:2000) г. Москвы и других цифровых картографических данных является Мосгоргеотрест Москомархитектуры или подведомственные ей службы (АПО АО). Мосгоргеотрест Москомархитектуры является единственной уполномоченной Правительством Москвы организацией по созданию и ведению Единой государственной картографической основы г.Москвы (ЕГКО), формируемой в Мосгоргеотресте в рамках Геофонда г.Москвы. Эксплуатируемые и вновь создаваемые городские информационные системы, связанные с использованием картографических данных для решения информационно-справочных, кадастровых и организационно-управленческих задач, должны функционировать на базе Единой государственной картографической основы г. Москвы (О внедрении единой государственной , 1999). Согласно Постановлению Правительства Москвы (Об утверждении Положения..., 2005) все создаваемые картографические материалы должны быть привязаны к ЕГКО. Формирование картографических ресурсов для увязки с другими информационными ресурсами города предпочтительно в программном пакете ArcGis.

Инвентаризационный план базового масштаба 1:500

Инвентаризационный план представляет собой топографический план с отображением положения *деревьев, кустарников и других объектов инвентаризации*. Изготавливается по итогам полевых лесотаксационных и геодезических работ, с нанесением результатов на геоподоснову (специализированный топографический план).

Элементы специального содержания:

— Деревья и кустарники, в виде объектов с дискретным характером локализации (точечный);

— Группы кустарников, цветники, газоны в виде объектов с площадным характером локализации;

— Малые архитектурные формы в виде объектов с дискретным характером локализации (точечный);

— Плоскостные сооружения и дорожная сеть (пешеходные дорожки шириной 1,5 м и более), площади которых выражаются в избранном масштабе, дифференцированные по типам покрытий в виде объектов с площадным характером локализации;

— Тропиночная сеть (ширина троп менее 1,5 м) в виде объектов с линейным характером локализации;

— Внешние границы территории инвентаризации в виде объектов с линейным характером локализации;

— Границы учетных участков и биогрупп в виде объектов с линейным характером локализации.

Для создания инвентаризационного плана предпочтительно использовать программные пакеты САПР. Материалы передают на бумажном носителе и в цифровой форме в форматах AutoCAD (*.dwg) или обменном *.dxf с привязкой содержания к ЕГКО.

Инвентаризационный план базового масштаба 1:2000

Инвентаризационный план - картографический документ с отображением *насаждений* различных древесных и кустарниковых пород и других объектов инвентаризации. Изготавливается на геоподоснове (специализированной карте с нанесением топографических элементов ситуации) масштаба 1:2000.

Специальное содержание инвентаризационного плана в формате *.shp ArcGis (ArcView) согласно требованиям (О внедрении единой государственной , 1999) должно быть привязано к ЕГКО г. Москвы. Этот формат (*.shp) и программная среда (ArcGis) рекомендованы Советом по картографическому обеспечению г. Москвы.

При инвентаризации зеленых насаждений ООПТ лесные массивы подразделяются на выделы, которые характеризуются преобладающей породой и группой возраста. Такая дифференциация принята в лесоустройстве, что предполагает соотнесение нормативной базы проводимых работ по инвентаризации с инструктивными документами лесоустройства. Важный вопрос при составлении инвентаризационных планов и отображении типов объектов (точечный, линейный, площадной) – минимальный размер площадного объекта инвентаризации.

Действующая лесоустроительная инструкция (Лесоустроительная инструкция, 2011) включает отдельный раздел, описывающий особенности лесоустройства в лесах, расположенных на землях ООПТ, на землях населенных пунктов, в лесопарковых зонах и зеленых зонах, однако в ней нет специальных рекомендаций по делению лесных массивов на выделы и указаний по минимальным площадям выделов при инвентаризации таких насаждений. Согласно справочной литературе (Гусев, 2004), лесоустройство лесных массивов рекреационного назначения Московской области должно проводиться по I-му разряду. Минимальные площади выделов при лесоустройстве по I-му разряду, которые определены действующей лесоустроительной инструкцией и более ранним ее вариантом 1995 г. (Инструкция по проведению лесоустройства, 1995), приведены в таблице. В таблице также показаны результаты простого подсчета минимальных площадей выделов для различных категорий земель в масштабе инвентаризационных планов (М 1:2000, 1:500) и масштабе ЕГКО (1:10000).

Таблица. Организационно-технические показатели при лесоустройстве по I-му разряду (Лесоустроительная инструкция, 2011) и минимальные размеры выделов на инвентаризационных планах разного масштаба

Характеристика	Минимальная площадь выдела, га	Масштабы		
		1:10000	1:2000	1:500
Лесные земли				
Насаждения естественного происхождения	1,0	1,0 см ²	25 см ²	400 см ²
Спелый лес среди молодняков, молодняки среди насаждений старшего возраста и других категорий земель	1,0	1,0 см ²	25 см ²	400 см ²
Лесные культуры и земли, не покрытые лесной растительностью	0,5	0,5 см ²	≈12,5 см ²	≈201,6 м ²
Нелесные земли				
Сельскохозяйственные угодья и земли специального назначения, га	0,1	0,1 см ²	2,5 см ²	≈41 см ²
Неиспользуемые земли, га	0,5	0,5 см ²	≈12,5 см ²	≈201,6 м ²

Исходя из приведенных нормативов выделы как лесные, так и различных категорий нелесных земель могут изображаться полигональными объектами на картах приведенного масштабного ряда. Вместе с тем, в лесоустройстве по I-му разряду минимальные площади выделов рассчитаны исходя из необходимости их отображения на картах масштаба 1:10000. Для зеленых насаждений г. Москвы этот норматив не применим, он слишком велик, т.к. реальные площади объектов на ООПТ, например участков с ценными древесными породами,

гораздо меньше. Согласно картографическим цензам отбора, генерализации подлежат площадные объекты минимальный размер которых 2-4 мм² в масштабе карты. Ценз отбора выбирается в зависимости от лесистости территории и месторасположения лесного участка (Составление и подготовка к изданию топографических карт, 1980). Это составляет в масштабе 1:2000 порядка 8-16 м². Поэтому для зеленых насаждений ООПТ г. Москвы целесообразно воспользоваться картографическими нормативами и считать минимальную площадь выдела на ООПТ равной 0,001-0,002 га.

Представлены примеры инвентаризационных планов модельных территорий базовых масштабов, созданных по результатам таксационных и полевых геодезических работ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гусев Н.Н. Справочник лесоустроителя. М.: ВНИИЛМ. 2004. 328 с.
2. Инструкция по проведению лесоустройства в лесном фонде России. Ч. I, II. М.: ВНИИЦлесресурс, 1995
3. Лесоустроительная инструкция. Приказ Рослесхоза 12.12.2011 №516
4. О внедрении единой государственной картографической основы г. Москвы для решения задач управления городским хозяйством с использованием автоматизированных технологий. Постановление Правительства Москвы от 19.01.1999, № 24
5. Об утверждении Положения о порядке использования информационных ресурсов Единой государственной картографической основы г. Москвы (ЕГКО). Постановление Правительства Москвы от 13.12.2005, №1001-ПП
6. Составление и подготовка к изданию топографических карт масштаба 1:200000, 1:500000. ВТС. 1980

APPLIED RESEARCH ON INVENTORY MAPPING OF GREEN PLANTATIONS, TREES AND OTHER OBJECTS ON SPECIALLY PROTECTED AREAS OF MOSCOW CITY

N.V.MALYSHEVA¹, T.A.ZOLINA¹, N.E. RAJCHENKO¹, S.A.POPIK¹, O.L.ORLOVA²

**¹ All-Russian Research Institute of Silviculture and Forestry Mechanization (VNIILM)
Federal Forestry Agency of Russia**

² Limited Company «SF«Altair»

Basic scales, the content and requirements to inventory plans that constitute an integral part of the passport for planted trees and Specially Protected Areas of Moscow city are proved. Selection of minimum area possible to display on planned and cartographical documents is reasonable. Examples of creation the inventory plans of Specially Protected Areas of Moscow city are given.

МЕТОДИКА И ОПЫТ ПОДГОТОВКИ ЭЛЕКТРОННОГО АТЛАСА КАРТ ИНФОРМАЦИОННО-СПРАВОЧНОГО ТИПА ДЛЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ДАННЫХ ГОСУДАРСТВЕННОГО ЛЕСНОГО РЕЕСТРА

Н.В. МАЛЫШЕВА, Т.А. ЗОЛИНА, Н.А. ВЛАДИМИРОВА, Н.Э. РАЙЧЕНКО, С.А. ПОПИК

**Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства
(ВНИИЛМ)**

Федеральное агентство лесного хозяйства России

Изложены методика подготовки электронного атласа интерактивных карт информационно-справочного типа по данным государственного лесного реестра. Апробация методики проведена в ходе опытных работ, выполненных для субъектов и лесничеств Центрального, Северо-Западного, Приволжского, Южного и Северо-Кавказского федеральных округов. Подготовка атласа включает составление электронных карт в программной среде ArcGis Desktop версия 10 и конвертирование готовых макетов в формат SVG, пригодный для интерактивной работы с помощью Веб-браузеров.

Государственный лесной реестр представляет собой систематизированный свод документированной информации о лесах, об их использовании, охране, защите, воспроизводстве, о лесничествах и лесопарках (Лесной кодекс Российской Федерации от 4

декабря 2006 г. N 200-ФЗ). Ведение государственного лесного реестра осуществляют во всех регионах России органы исполнительной власти и органы местного самоуправления, а подведомственные организации Федерального агентства лесного хозяйства обобщают информацию на федеральном уровне. До настоящего времени картографическое сопровождение и визуализация данных, внесенных в государственный лесной реестр, отсутствовали. Прикладные исследования по созданию электронного атласа лесных карт информационно-справочного типа способствуют решению этой проблемы. В 2011 г. организациями Рослесхоза начата работа по созданию единой государственной автоматизированной информационной системы (ЕАИС), которая включает автоматизированную информационную систему «Государственный лесной реестр» (АИС ГЛР). Отчетными документами информационной системы будут являться, в том числе, карты. Научные результаты и опытные разработки, выполненные нами, корреспондируются с работами по формированию ЕАИС Рослесхоза.

Карты электронного атласа предназначены для информационной поддержки федерального и регионального уровней управления лесным хозяйством. Атлас, включающий аналитические лесные карты, создается для формирования представления о ресурсной базе, составе земель лесного фонда, количественных и качественных характеристиках лесов для организации управления лесным хозяйством по субъектам и лесничествам в составе субъектов Российской Федерации в границах федеральных округов. Такие карты согласно теоретическим построениям (Берлянт, 2011) относят к картам информационно-справочного типа. Справочный характер определяется их назначением для территориального анализа данных и перспективного планирования в области использования, охраны, защиты и воспроизводства лесов, для суждения об эффективности и исполнении переданных полномочий по управлению лесами в субъектах Российской Федерации.

При создании электронного атласа избран следующий подход:

- карты для информационно-справочных целей создаются квалифицированными специалистами в среде ГИС на основе цифровых баз данных и содержат всю необходимую атрибутивную информацию;
- пользователь воспроизводит карту по запросу с помощью стандартных инструментов и не связан программно с ГИС.

При подготовке автономной (off-line) версии атласа руководствовались следующими требованиями:

- атлас должен воспроизводиться на различных платформах, работать во всех популярных операционных системах (ОС) и не требовать установки программных средств ГИС;
- карты должны оставаться векторными и сохранять все свои характеристики: проекцию, масштаб, систему координат;
- должны сохраняться все преимущества карт, созданных в среде ГИС: возможность реализации пользователем запросов как к пространственным, так и к атрибутивным данным, метричность и возможность перехода от более детальной карты к менее детальной при увеличении или изменении масштаба, возможность работы со слоями.
- карты атласа должны быть интерактивными и удобными в работе, т.е. содержать элементы управления и другие инструменты, применяемые в Веб-картографии.

Подготовка электронного атласа подразделялась на следующие этапы.

- Подготовка картографической базы данных с границами лесничеств и лесопарков и базы данных с границами субъектов по федеральным округам.
- Обработка данных государственного лесного реестра, содержащихся в формах отраслевой отчетности, для загрузки в программную среду ГИС по лесничествам и субъектам федеральных округов.
- Совмещение картографических баз данных с атрибутивными таблицами, содержащими данные государственного лесного реестра по субъектам и лесничествам. Формирование баз геопространственных данных.

— Подготовка макетов карт средствами ArcGis Desktop с использованием баз геопространственных данных, содержащих сведения государственного лесного реестра. Оформление карт по разделам электронного атласа.

— Конвертирование макетов карт (фреймов) в форматы SVG. Верстка и отладка электронного атласа.

Опытные работы включали создание электронных карт атласа посредством реализации запросов к базе геопространственных данных, содержащей сведения государственного лесного реестра, в программной среде ArcGis Desktop версия 10. Готовые макеты (фреймы) конвертированы в формат SVG, пригодный для интерактивной работы Веб-браузерами. Конвертирование макетов карт (фреймов) осуществлено с помощью специальной надстройки для ArcGis Desktop - Mapretizer, предназначенной для Веб-картографирования и опробованной авторами в предшествующих проектах (Малышева и др., 2010). Прикладная программа приобретена у разработчика – немецкой компании Uismedia. В документации к этому программному продукту указано, что все популярные браузеры, такие как, Internet Explorer, начиная с версии 9, Mozilla Firefox, Opera, Google Chrome воспроизводят векторные данные в SVG формате. Вместе с тем, наиболее устойчиво с SVG работает браузер Mozilla Firefox, который имеет встроенную поддержку формата. Этот браузер предпочтительно использовать для управления картами нашего электронного атласа.

Электронный атлас представляет собой наборы карт, объединенные в тематические разделы и подразделы. Для формирования целостного представления о характеристиках лесов и организации управления лесным хозяйством регионов карты сгруппированы в 4 тематических раздела: леса и лесные ресурсы, использование лесов; охрана и защита лесов; воспроизводство лесов. Каждый раздел атласа содержит подразделы:

1. Леса и лесные ресурсы:

- Состав земель лесного фонда;
- Целевое назначение лесов;
- Общий запас лесных насаждений;
- Запас хвойных насаждений;
- Запас твердолиственных насаждений;
- Запас мягколиственных насаждений;
- Общая площадь лесных насаждений;
- Площадь хвойных насаждений;
- Площадь твердолиственных насаждений;
- Площадь мягколиственных насаждений.

2. Использование лесов

- Общий объем заготовки древесины по хозяйствам;
- Площади и объемы заготовки древесины арендаторами;
- Площади и объемы заготовки древесины по договорам купли-продажи;
- Площади и объемы заготовки недревесных и пищевых лесных ресурсов, лекарственного сырья;
- Площади, используемые для ведения хозяйства в различных целях (дифференцированные по видам использования лесов);

3. Охрана и защита лесов

- Общая площадь погибших и поврежденных лесов;
- Площадь погибших и поврежденных лесов в результате воздействия различных антропогенных и природных факторов (раздельно по видам воздействия);
- Санитарно-оздоровительные мероприятия;
- Противопожарные мероприятия

4. Воспроизводство лесов

- Планируемые и фактические площади лесовосстановления;

- Планируемые и фактические площади лесоразведения;
- Мероприятия по лесовосстановлению и биотехнические мероприятия.

Структура подразделов атласа, включающих интерактивные карты, идентична структуре веб-сайта и являет собой иерархическую систему HTML-страниц с внедренным в них SVG-кодом и скриптами. Пользователи - специалисты органов управления лесным хозяйством имеют возможность визуализировать данные государственного лесного реестра и управлять содержанием карт атласа, а именно:

- осуществлять навигацию и переключение между разделами, подразделами атласа и картами различной тематики;
- подключать или отключать отдельные слои;
- изменять масштаб карт без потери качества;
- просматривать картографическую (с сохранением проекции) и атрибутивную информацию по лесничествам и субъектам РФ;
- формировать запросы по отбору того или иного пространственного объекта (лесничества или субъекта) и получать данные государственного лесного реестра по выбранному объекту;
- визуализировать диаграммы в динамическом режиме на карте и с помощью инструмента «Запросы»;
- получать координаты объектов и измерять расстояние между ними;
- распечатывать карты и атрибутивную информацию.

На сегодня атлас включает карты субъектов Российской Федерации и территориальных единиц управления лесным хозяйством (лесничеств и лесопарков) 5 федеральных округов - Северо-западного, Центрального, Приволжского, Южного и Северо-Кавказского.

Автономная версия атласа способствует созданию дешевого рабочего ГИС-пространства, экономит денежные средства, т.к. нет необходимости задействовать дорогостоящее программное обеспечение серверных ГИС.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Лесной кодекс Российской Федерации от 4 декабря 2006 г. N 200-ФЗ.
- 2 Берлянт А.М. Картография: учебник для вузов. - 3-е изд., дополн.- М.: КДУ, 2011.- 464 с.
- 3 Малышева Н.В., Владимирова Н.А., Золина Т.А., Райченко Н.Э. Картографическая база данных и интерактивная карта с границами лесничеств и лесопарков для федерального уровня управления лесным хозяйством// ArcReview - Современные геоинформационные технологии. №3(54), 2010, С. 21-22.

TECHNIQUE AND EXPERIENCE ON CREATION OF THE ELECTRONIC ATLAS OF I&R TYPE FOREST MAPS FOR VIZUALIZATION OF FOREST REGISTER DATA

N.V.MALYSHEVA, T.A.ZOLINA, N.A.VLADIMIROVA, N.E. RAJCHENKO, S.A.POPIK

**All- Russian Research Institute of Silviculture and Forestry Mechanization (VNIILM)
Federal Forestry Agency of Russia**

The technique and experience on creation of the interactive I&R type map electronic atlas based on state forest register for the Central, Northwest, Privolzhsky, Southern, Northern Caucasia federal districts are stated. Preparation of the atlas provides digital mapping by ArcGis Desktop version 10 and converting the ready frames into the SVG format fit for operations by Web browsers.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ САПР И ГИС ПРИ ИНВЕНТАРИЗАЦИИ ЗЕЛЕННЫХ НАСАЖДЕНИЙ И ИНЫХ ОБЪЕКТОВ ОСОБО ОХРАНЯЕМЫХ ТЕРРИТОРИЙ Г.МОСКВЫ

Н.В. МАЛЫШЕВА¹, А.Г. ПОПИК²

¹ «Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства (ВНИИЛМ)

Федеральное агентство лесного хозяйства России

² ЗАО «Компания ПОИНТ»

Проведено сравнение форматов ГИС и САПР. Рассмотрены способы передачи данных из форматов систем автоматизированного проектирования (AutoCAD) в форматы ГИС (ArcGis) для обеспечения взаимодействия этих систем в работах по инвентаризации природных и озелененных территорий г. Москвы.

Инвентаризация зеленых насаждений и планово-картографические материалы, которые создаются по ее итогам, предназначены для решения таких разноплановых задач как:

- управление городским хозяйством, регламентирование работ по содержанию зеленых насаждений их капитальному ремонту и реконструкции;
- формирование информационных ресурсов по объектам озеленения и ООПТ и их интеграция с производственными системами Департамента природопользования и охраны окружающей среды г. Москвы и подведомственных ему организаций, с другими городскими информационными ресурсами.

Первая из названных задач подкрепляется проектной картографической документацией и требует детального подеревного обследования и перечета. Для инвентаризации объектов, отнесенных к парковой растительности, т.е. деревьев, расположенных на протяженных магистралях, бульварах, улицах, скверах, в садах, на территории жилых кварталов, в природно-исторических парках, проводится подеревный пересчет. При таком обследовании определяют также плановое положение каждого объекта и измеряют его координаты.

Все сведения и данные о местоположении деревьев и объектов на озелененных территориях, получают в результате проведения специальных измерительных полевых работ и камеральной обработки полученных материалов. В топографо-геодезических работах в условиях городской среды повсеместно используют электронные тахеометры и спутниковые приемники. При работе с современными электронными тахеометрами вся измерительная информация хранится на электронном носителе, как правило, в виде наборов файлов в различных текстовых форматах. По результатам геодезических работ создается специализированный инвентаризационный план масштаба 1:500 с нанесением объектов, отнесенных к парковой растительности, включая контуры цветников и газонов, расположенных на протяженных магистралях, бульварах, улицах, скверах, в садах, на территории жилых кварталов, в природно-исторических парках. Большинство современных электронных тахеометров оборудовано вычислительными и запоминающими устройствами, позволяющими сохранять измеренные данные. Камеральная обработка результатов геодезических измерений, полученных при проведении тахеометрической съемки, независимо от применяемых при съемке приборов (электронные тахеометры, номограммные тахеометры или простые оптические теодолиты), выполняется в настоящее время, как правило, на компьютере. При этом могут использоваться различные специализированные программные комплексы, такие как CredoDAT, Версия, MicroStation и другие, а также система AutoCAD и ее специализированные приложения Civil 3D или AutoCAD MAP 3D.

Для создания инвентаризационного плана предпочтительно использовать программные пакеты САПР. Этот документ должен корреспондироваться с дендропланом, который создают средствами САПР (AutoCAD) в соответствующих форматах. Как правило, это чертежи формата DWG, режы DXF или DGN. Разработка дендропланов осуществляется

проектными организациями, она входит в состав проектной документации на строительство и ведется под патронажем Москомархитектуры. Инвентаризационные планы объектов, отнесенных к парковой растительности, также предпочтительно создавать этими же программными средствами (AutoCAD и его приложения). Это позволяет унифицировать порядок оформления сходного по тематической нагрузке картографического документа и использовать стандартные условные знаки САПР (AutoCAD).

Постановлением Правительства Москвы от 30 июня 2009 г. № 619-ПП была принята «Концепция среднесрочной городской целевой программы работ по развитию единого геоинформационного пространства города Москвы на 2010–2012 годы». На основе указанной концепции постановлением Правительства Москвы от 24 февраля 2010 г. № 162-ПП была принята «Среднесрочная городская целевая программа работ по развитию единого геоинформационного пространства города Москвы на 2010–2012 годы». Основным принципом реализации мероприятий Программы - максимальное использование имеющихся пространственных данных в качестве исходных для формирования других информационных ресурсов. Исходной основой единого геоинформационного пространства города Москвы являются пространственные данные единой государственной картографической основы (ЕГКО) г. Москвы. Советом по картографическому обеспечению г. Москвы для создания и поддержания информационных ресурсов города рекомендован ГИС формат - ArcGis (*.shp, *.shx, *.dbf).

Таким образом, проектная картографическая документация по результатам проведения геодезических работ и полевой инвентаризации создается, как правило, средствами САПР (чаще всего AutoCAD) в соответствующих форматах. Программные продукты ESRI – ArcGis рекомендованы для интеграции с другими информационными ресурсами Правительства Москвы в качестве базовых. Поэтому имеет смысл сравнить форматы и функциональные возможности ГИС ArcGIS и AutoCAD.

Графическое представление ArcGIS - файлы формата *.shp, которые содержат информацию о геометрических объектах. Каждый такой файл состоит из заголовка фиксированной длины и одной или более записей переменной длины. Каждая запись переменной длины включает в себя заголовок записи и содержимое. Полное описание формата файла дано в документации по Esri Shapefile. Атрибутивная информация о геометрических объектах ArcGIS содержится в одноименных файлах формата *.dbf, которые представляют из себя базу данных в формате dBase II. Вспомогательный файл формата *.shx описывает связи между файлами *.dbf и *.shp. В технической документации его называют индексным файлом (хоть он таковым не является). Для корректной передачи информации из проектной системы в ГИС необходимо организовать работу таким образом, чтобы помимо графического описания, передаваемые объекты получали и имеющуюся в проектной системе дополнительную (атрибутивную) информацию.

В случае с продуктами на платформе AutoCAD идеальным вариантом является использование геоинформационной системы AutoCAD Map 3D, поскольку технология Feature Data Object (FDO) с открытым исходным кодом, реализованная в AutoCAD® Map 3D, обеспечивает прямой доступ к ГИС-данным из множества источников, в том числе файлов ESRI® и управляемых географических баз, Oracle® Microsoft® SQL Server® PostGIS, PostgreSQL, SQLite и MySQL®. Однако распространенность этого программного продукта в проектных организациях в России крайне мала, поэтому на сегодняшний день в задачах инвентаризации насаждений более важным представляется передача данных из форматов проектных систем AutoCAD в форматы, пригодные для использования в ArcGis. Поскольку AutoCAD в чистом виде в файлах формата DWG формирует графические объекты, атрибутивная информация о которых представляет собой текстовые комментарии к этим объектам, и «вытащить» ее в приемлемом формате для передачи в ГИС без программирования специальных скриптов затруднительно, рекомендуется использовать более специализированные приложения AutoCAD.

При разработке методики инвентаризации природных и озелененных территорий, нами на тестовых объектах были успешно использованы два варианта передачи информации в ArcGIS.

В первом случае использовалось приложение AutoCAD Civil 3D, которое более широко распространено в проектных организациях, чем AutoCAD Map 3D и позволяет выгружать семантическую информацию в файлы текстового формата и формата DBF.

Второй способ – использование программы НТЕ (разработка «компании ПОИНТ»), базирующейся на платформе AutoCAD, в которой в числе прочих инструментов имеется генератор отчетов, позволяющий выгружать любую информацию из проектных данных во внешний файл.

Таким образом, в работах по инвентаризации удастся обеспечить необходимое взаимодействие обеих систем и САПР, и ГИС, поскольку, исходя из существующей на сегодняшний день практики и требований компетентных организаций, для создания инвентаризационных планов масштаба 1:500 предпочтительно работать в программной среде САПР (AutoCAD), а для создания инвентаризационных планов масштаба 1:2000 и мельче предпочтительны форматы ArcGIS.

ЛИТЕРАТУРА

1. О внедрении единой государственной картографической основы г. Москвы для решения задач управления городским хозяйством с использованием автоматизированных технологий. Постановление Правительства Москвы от 19.01.1999, № 24
2. Об утверждении Положения о порядке использования информационных ресурсов Единой государственной картографической основы г. Москвы (ЕГКО). Постановление Правительства Москвы от 13.12.2005, №1001-ПП
3. О методических рекомендациях по составлению дендрологических планов и перечетных ведомостей. Постановление Правительства Москвы от 4 октября 2005 г. №770-ПП
4. Правила создания, содержания и охраны зеленых насаждений г.Москвы. Постановление Правительства г.Москвы от 10 сентября 2002 г. № 743-ПП.

AutoCAD AND GIS APPLICATION FOR THE INVENTORY OF GREEN PLANTATIONS, TREES AND OTHER OBJECTS ON SPECIALLY PROTECTED AREAS OF MOSCOW CITY

N.V. MALYSHEVA¹, A.P. POPIK²

¹All- Russian Research Institute of Silviculture and Forestry Mechanization (VNIILM)

Federal Forestry Agency of Russia

²Close Stock Company «POINT»

Comparison of the digital formats for the GIS and CAD systems was carried out. The methods of data transferring from the automated design systems (AutoCAD) format to the GIS (ArcGis) format to ensure cooperation of the two systems on the inventory of green plantations, trees and other objects on specially protected areas of Moscow city are considered.

ОПЫТ КОМПЛЕКСНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МАТЕРИАЛОВ ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ, АЭРОСЪЕМКИ И ГИС ДЛЯ ОЦЕНКИ ЛЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ В КОРИДОРАХ И ОХРАННЫХ ЗОНАХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

О.Л.ОРЛОВА¹, Н.В.МАЛЫШЕВА², Т.А.ЗОЛИНА², Н.Э.РАЙЧЕНКО², С.А.ПОПИК²,
П.С.АНИСИМОВА², Е.А. ЯВОРСКИЙ³, А.Г.БОРОДИН³

¹ООО «НП «Альтаир»

²Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства (ВНИИЛМ)

Федеральное агентство лесного хозяйства России

³ ЗАО «ОПТЭН ЛИМИТЕД»

Изложен опыт и результаты экспериментальных исследований по оценке лесных насаждений в коридорах и охранных зонах воздушных линий электропередачи на территории Московской области с использованием лазерного сканирования, цифровой аэросъемки, материалов лесоустройства.

Земельным кодексом РФ (2001 г.) (Земельный кодекс Российской Федерации, 2001) определено понятие «земель энергетики» и указано, что для обеспечения деятельности предприятий и безопасной эксплуатации объектов энергетики устанавливаются охранные зоны воздушных линий электропередачи. На лесных землях охранный зона ВЛ состоит из трех частей – просеки, по центру которой установлены опоры и располагаются провода ВЛ, и лесных участков, примыкающих к просеке с двух сторон. Ширина охранных зон изменяется в зависимости от действующего напряжения ВЛ и может составлять от 10 м до 55 м в обе стороны от крайних проводов (О порядке установления охранных зон, 2009) .

Для создания нормальных условий эксплуатации воздушных линий электропередачи (ВЛ), обеспечения их сохранности и предупреждения аварийных отключений необходимо поддерживать в нормативном состоянии растительность, произрастающую в коридорах и охранных зонах ВЛ. Коридоры линий электропередачи требуют оценки соответствия размеров просек нормативной величине и, при необходимости, их расширения, вырубке деревьев, находящихся вне границ просеки, но угрожающих падением на провода и опоры ВЛ.

Состояние лесных насаждений вдоль ВЛ должно обеспечивать сохранность проводов от замыкания их на растительность, а также проводов и опор от падения деревьев на лесных участках, примыкающих к просекам и охранным зонам ВЛ.

Предприятиям, в ведении которых находятся электросети, нормативами эксплуатации ВЛ в установленном порядке предоставляется право полного удаления древесной и кустарниковой растительности высотой более 4-х метров на всей площади просеки, в коридорах линий электропередачи и на прилегающих к просеке участках охранный зоны.

Целью данной работы является оценка возможности определения объемов и стоимости работ по приведению коридоров и охранных зон ВЛ в нормативное состояние по данным воздушного лазерного сканирования и фотосъемки.

Выполнены экспериментальные исследования по оценке лесных насаждений в коридорах и охранных зонах ВЛ на территории Московской области с использованием лазерного сканирования, цифровой аэросъемки, материалов лесоустройства. Комплекс работ включал

- воздушное обследование коридоров линий электропередачи, осуществление лазерного сканирования и аэросъемки;
- привязку осей и коридоров ВЛ к картам с границами лесничеств, планово-картографическим материалам лесоустройства в среде ГИС;
- формирование тематических планов растительности и ортофотопланов в коридорах ВЛ;
- формирование ведомостей таксационных характеристик лесных участков и участков древесно-кустарниковой растительности в коридорах ВЛ, на основе совместного анализа планово-картографических и таксационных данных лесоустройства, а также тематических планов растительности и ортофотопланов;
- расчет объемов и сметы работ, необходимых для приведения просек и охранных зон линий электропередачи в нормативное состояние.

Обследование ВЛ по данным воздушного комплекса, включающего лазерный сканер и фотокамеру высокого разрешения выполняется в России уже более 15 лет (Мисриханов, 2007). Достоинствами лазерного сканирования являются возможность построения точной 3-х мерной модели ВЛ и местности, что обеспечивается фиксацией лазерных отражений от проводов ВЛ и от земной поверхности под растительностью. Фотокамера обеспечивает получение цветных снимков с линейным разрешением порядка 5 см, по которым формируется крупномасштабный ортофотоплан местности. Это позволяет решать множество задач, включая оценку технического состояния ВЛ, ее пропускной способности, картографирование опасной для ВЛ растительности.

Одна из задач, которую приходится решать энергетикам, чтобы свести к минимуму вероятность выхода из строя воздушных линий электропередачи – это своевременная

расчистка просек и охранных зон ВЛ от нежелательной древесной растительности: деревьев, растущих на участках с лесной растительностью и угрожающих падением на провода или опоры, порослевых деревьев и кустарников высотой более 4-х метров.

В докладе приведены результаты оценки возможностей определения по данным воздушного обследования породного состава и запасов древесной и кустарниковой растительности для составления сметы расходов на расширение просек ВЛ.

Лазерное сканирование и создание тематических планов растительности и ортофотопланов коридоров ВЛ выполнено ЗАО «ОПТЭН ЛИМИТЕД». На тематических планах растительности показаны границы участков, занятых группой растительности, различной высоты:

- порослевая кустарниковая растительность высотой менее 4 м;
- порослевая древесная и кустарниковая растительность (мелколесье) высотой от 4 до 10 м;
- древесная растительность высотой более 10 м.

Кроме того на этих планах даны границы просек, рассчитанные по нормам эксплуатации ВЛ, границы охранных зон ВЛ, дорожная и гидрографическая сеть, строения и сооружения. Выполнен расчет площади, занимаемой каждой группой растительности, и количества деревьев в группах мелколесья и древесной растительности, представляющих угрозу нормальной эксплуатации ВЛ.

Дешифрирование деревьев и кустарников с подразделением по породам выполнено по ортофотопланам интерактивным методом, основанным на рациональном сочетании знаний и опыта дешифровщика и возможностей компьютерных технологий. Известно, что на полученных в обследовании ортофотопланах, составленных из сверхкрупномасштабных снимков (1:2000 и крупнее), рисунок изображения создается кронами деревьев, их тенями и фоном. На таких изображениях можно опознать и подсчитать практически все деревья в верхней части полога, кроны которых не затенены соседними деревьями (Малышева, 2012; Сухих, 2005). Для опознавания и идентификации состава пород на лесных участках по трассе и в охранных зонах ВЛ использованы следующие прямые дешифровочные признаки: *цвет, форма, размер объекта, структура изображения, рисунок, характер тени*. По результатам дешифрирования сформирована ведомость таксационных характеристик лесных насаждений и древесно-кустарниковой растительности в коридорах и охранных зонах.

Инструментарий ГИС (ArcGisDesktop) использован в ограниченном объеме - для наложения и привязки результатов обследования к материалам лесоустройства, для подсчета площадей, занятых группами древесной и кустарниковой растительности в охранной зоне.

Объединение ведомости таксационных характеристик лесных насаждений и древесно-кустарниковой растительности с результатами обработки лазерных данных позволило рассчитать запас древесины деревьев и кустарников, которые необходимо удалить для приведения просеки и охранной зоны ВЛ в нормативное состояние, а также объемы и смету на выполнение этих работ.

Полученный опыт совместных работ представляется полезным для решения одной из насущных задач российской энергетики.

ЛИТЕРАТУРА

1. Земельный кодекс Российской Федерации. 20.10.2001 № 136-ФЗ. Принят Государственной Думой РФ 28.09.2001
2. О порядке установления охранных зон объектов электросетевого хозяйства и особых условий использования земельных участков, расположенных в границах таких зон. Постановление Правительства РФ от 24 февраля 2009 г. № 160
3. Мисриханов М.Ш. и др. Обследование ВЛ с применением лазерного сканера. «Электрические станции» №3, 2007, ISSN 0201-4564
4. Малышева Н.В. Автоматизированное дешифрирование аэрокосмических изображений лесных насаждений. Учебное пособие. М.: МГУЛ. 2012. 151 с.
5. Сухих В.И. Аэрокосмические методы в лесном хозяйстве и ландшафтном строительстве. Йошкар-Ола: МарГТУ. 2005. 452 с.

EXPERIENCE ON COMPLEX APPLICATION OF LASER SCANNING DATA, AERIAL PHOTOGRAPHY AND GIS FOR ASSESSMENT OF FOREST TREE STANDS IN THE CORRIDORS AND BUFFER ZONES OF POWER TRANSMISSION LINES

**O.L.ORLOVA¹, N.V.MALYSHEVA² T.A.ZOLINA², N.E. RAJCHENKO², S.A.POPIK², P.S. ANISIMOVA²,
E.A.YAVORSKY³, A.G. BORODIN³**

¹Limited Company «SF«Altair»

²All- Russian Research Institute of Silviculture and Forestry Mechanization (VNIILM)
Federal Forestry Agency of Russia

³Close Stock Company «OPTEN LIMITED»

The experience and the results of research on the assessment of forest tree stands in the corridors and in buffer zones of power transmission lines in the Moscow region have been discussed. Laser scanning and digital aerial survey data in combination with forest inventory materials were applied.

БИОКЛИМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВЫСОТ НАСАЖДЕНИЙ СРЕДНЕЙ СИБИРИ

Е.И. ПАРФЕНОВА, Н.М. ЧЕБАКОВА, М.А. КОРЕЦ

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН

На основе базы данных укрупненных лесоустроительных выделов для территории Средней Сибири была найдена зависимость высот 1-го яруса насаждений от климатических параметров их местообитаний. Используя эту зависимость, были построены карты распределения высот насаждений для Красноярского края, проверка которых была проведена сравнением с картой НАСА, полученной методом лазерных измерений для лесов мира. Найденная зависимость была использована для моделирования высот насаждений при изменении климата к 2020 г. и 2080 г.

В результате сопряженного анализа таксационных показателей выделов базы данных коренных насаждений Средней Сибири и расчетных климатических параметров их местообитаний получена биоклиматическая модель, связывающая среднюю высоту 1-го яруса насаждений и теплообеспеченность выдела, которая характеризуется летними (суммы градусо-дней выше 5°C) и зимними условиями (средней температурой января) произрастания. Фактор влагообеспеченности учитывался через годовой индекс увлажнения (отношение суммы градусо-дней выше 5°C к годовому количеству осадков), лимитирующий произрастание древесной растительности при значениях, превышающих 3.5.

На рисунке 1 показаны зависимости средних высот основных хвойных лесобразователей (кедра, пихты и лиственницы сибирских и сосны обыкновенной) от совместного влияния температур (1):

$$(1) \quad H = 16.1 + 0.296 \cdot (T_1) + 0.0106 \cdot (GDD_5),$$

где T_1 – температура января, GDD_5 – суммы градусо-дней выше 5°C.

Статистические критерии уравнения: выборка $N=1717$; коэффициент детерминации $R^2=0.66$; стандартная ошибка $St.er.=2.7$; фактор $F(2, 1714)=1635$; достоверность $p<0.0000$.

Область применения найденной биоклиматической зависимости ограничивается территориями с зимним периодом покоя растений, вызванным отрицательными зимними температурами.

По формуле (1) было смоделировано распределение средних высот I яруса древостоев, составленных основными лесобразующими породами Средней Сибири в зависимости от теплообеспеченности их местообитаний и условий перезимовки в рамках контуров произрастания древостоев в современном климате и к концу XXI века под влиянием изменения климата, прогнозируемого по сценариям Хадли Центра HadCM3 A2 и B1 для 2020 г. и 2080 (рис.2).

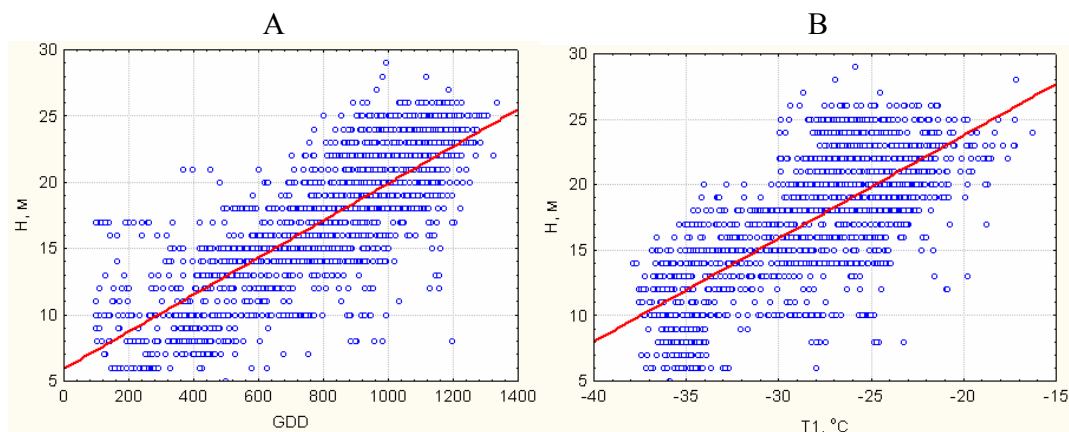


Рис. 1. Зависимости высот насаждений (м) от сумм градусо-дней (А) и температуры января (Б)

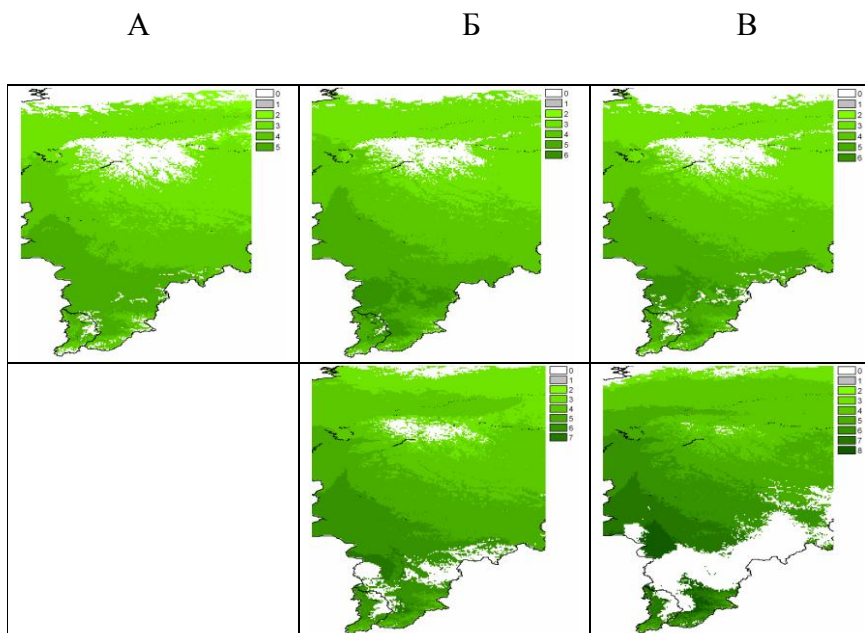


Рис. 2. Модельные высоты насаждений (м) Средней Сибири для современного климата (А) и по сценариям HadCM3 B1 (Б) и A2 (В) в 2020 г (верхний ряд) и 2080 г. (нижний ряд). Белым показаны ареалы недревесной растительности: тундры и степи. Обозначения: 0 – безлесное, 1. 0 – 5; 2. 5 – 10; 3. 10 – 15; 4. 15 – 20; 5. 20 – 25; 6. 25 – 30; 7. 30 – 35; 8. 35 – 40; 9. 40 – 45; 10. 45 – 50

В современном климате высоты насаждений могут достигать 20 м в средней и северной тайге (выше 60° с.ш.) и 30 м – в южной тайге и подтайге (южнее 60° с.ш.). Это хорошо согласуется с картой «Высоты лесов Мира» с пространственным разрешением 1 км, полученной группой исследователей НАСА на основании анализа 2.5 млн. лидарных измерений, поверенных наземными обследованиями (Simard et al., 2011).

При изменении климата наибольшее увеличение высот (до 40 м и выше) прогнозируется по обоим сценариям изменения климата в южной темнохвойной и горной черновой тайге. Климатареал высокобонитетных лесов (30-40 м) расширится и сдвинется на 500 км к северу. Самые производительные леса (>40 м) останутся в южной тайге и на наветренных макросклонах гор Южной Сибири.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант 10-05-00941.

ЛИТЕРАТУРА

1. Парфенова ЕИ, Чебакова НМ. Тенденции распределения и роста основных лесообразующих пород в Средней Сибири в XXI веке// Чтения памяти Э.Л. Вольфа – «Дендрология в начале XXI века». Материалы конференции. СПб. 6-8 октября 2010 г. С.159-166.
2. Парфенова ЕИ., Чебакова НМ. Климатические факторы продуктивности насаждений в Алтае-Саянском экорегионе// Материалы конференции «Базилевич-100. География продуктивности» Пушино. 20-22 апреля 2010. с. 501-505
3. Simard, M., Pinto, N., Fisher, J., Baccini, A., (2011), "Mapping forest canopy height globally with spaceborne lidar", Journal of Geophysical Research, VOL. 116, G04021, 12 PP., 2011, doi:10.1029/2011JG001708

A BIOCLIMATIC MODEL OF FOREST STAND HEIGHT IN CENTRAL SIBERIA

E.I. PARFENOVA, N.M. TCHEBAKOVA, M.A. KORETS

Forest Institute, SB RAS

Based on a database compiled from data of combined forest inventory units across Central Siberia, a relationship between mean stand heights of the first storey and climatic conditions of inventory units was found. Using this relationship stand heights were mapped for the Krasnoyarsk territory which were compared with the NASA map build based on laser measurements for the world forests. The relationship was used to predict stand heights under climate change in 2020 and 2080.

ВЫДЕЛЕНИЕ ПРОТИВОЭРОЗИОННЫХ ЛЕСОВ В ГОРНЫХ РАЙОНАХ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА

Н.А.РЫБАКОВА

Институт лесоведения РАН

Методика выделения категории защитности противоэрозионные леса. Анализ размещения противоэрозионных лесов в горных районах Дальнего Востока. Прогноз площади противоэрозионных лесов в горных провинциях Хабаровского и Приморского края, Сахалинской обл.

В настоящее время лесоустроительные предприятия интенсивно и планомерно переходят на ГИС-технологии при проведении лесоустроительных работ. Создаются совмещенные базы данных с поведельной и поквартальной таксационной и картографической информацией на единой топографической основе (Косицын, 2007). С использованием ГИС-технологий решаются задачи по автоматизированному изготовлению лесных карт и анализу состояния лесного фонда. С использованием ГИС-технологий могут быть получены средства пространственного анализа с различным составом графической информации. ГИС-технологии позволяют в том числе отобразить участки, относимые к противоэрозионным лесам.

В соответствии с почвенно-эрозионной картой России (Рыбакова, 2002), лесные территории в горных областях Дальнего Востока относят к эрозионноопасным территориям, отмечены солифлюкционные, термокарстовые, карстовые явления. Рубка лесов на таких участках приводит к негативным природным процессам: дефляции и эрозии почв, развитию термокарста и солифлюкции, образованию оврагов, оползней, селей и каменистых россыпей. Следствие таких явлений – сокращение площади лесопокрываемых земель, снижение продуктивности последующих поколений леса, отсутствие возобновления в течение длительного времени. Противоэрозионная функция горных лесов восстанавливается крайне медленно из-за низкой скорости почвообразовательного процесса, которая даже в благоприятных условиях составляет лишь несколько миллиметров в столетие.

На землях лесного фонда леса, имеющие противоэрозионное значение, относят к лесам первой группы, выделяя их в категорию защитности «противоэрозионные леса» (КПЛ) с режимом ведения хозяйства, исключающим рубки главного пользования. Участки с малой площадью относят к «особо защитным участкам» (ОЗУ). На территории Азиатской части России лесопокрываемые земли КПЛ составляют 5.59 млн.га, или 0.9 % лесопокрываемых земель. На Дальнем Востоке, где 60% лесов отнесено к горным, противоэрозионные леса не выделены.

Оценка эрозионной уязвимости лесных земель проводилась нами с учетом региональных классификаций типов леса, в которых отражены природные особенности горных областей и которые применяются при лесоустройстве и ведении лесного хозяйства.

Потенциальная эрозионная уязвимость лесных земель оценивалась нами суммой баллов по нескольким геоморфологическим и почвенным показателям (Рыбакова, 2002). На основе анализа экспериментальных данных о развитии эрозионных процессов на вырубках нами определены предельные значения суммы баллов ПЭУ, при которых наблюдается значительная потеря или уничтожение плодородного слоя почвы, образование осыпей, каменистых россыпей, отсутствие лесовосстановления. Участки с типами леса, где сумма баллов ПЭУ выше предельных, отнесены нами к противоэрозионным, на которых запрещены рубки главного пользования.

Анализ размещения противоэрозионных участков леса в различных высотных зонах местности над уровнем моря позволяет установить высокогорные зоны с преобладанием лесов противоэрозионного назначения. Определение высокогорных зон с преобладанием противоэрозионных лесов в значительной мере упрощает выделение таких лесов при лесоустройстве и исключает, в ряде случаев, выделение ОЗУ в виде полос леса вдоль верхней его границы с безлесным пространством. Высокогорные зоны включают значительную площадь лавиноопасных склонов.

Все леса, расположенные в зонах, в которых противоэрозионные леса занимают более 80% общей площади лесопокрываемых земель рекомендуется относить к противоэрозионным. Выделение высокогорных лесов, для примера, проведено нами на Дальнем Востоке. Для этого в Сахалинской обл., Хабаровском и Приморском краях были подобраны ключевые лесничества, расположенные в различных горных областях и провинциях. Анализ размещения участков противоэрозионных лесов осуществляли на основе материалов лесоустройства по высотным зонам с шагом увеличения абсолютной высоты местности 100 м по специально составленным программам.

Анализ размещения противоэрозионных лесов по высотным зонам показал, что к высокогорным лесам необходимо относить все леса, расположенные выше абсолютных отметок, в регионах:

500 м – Джугджурская и Магаданская горные области (Хабаровский край – Охотское лесничество; Магаданская обл.);

600 м – Восточно-Сахалинская горная провинция (Сахалинская обл., лесничества – Ногликское, Тымское, Смирныховское);

800 м – Западно- и Южно-Сахалинская горные провинции (Сахалинская обл., кроме вышеуказанных лесничеств);

1000 м – Тукурингро-Джагдинская горная область; Северо-Сихотэ-Алинская горная провинция (Хабаровский край, лесничества Чумиканское, Кизинское, Уктурское. Тумнинское; Амурская область, лесничества – Желтулакское, Снежнегорское, Верхнезейское);

1100 м – Буреинская горная область (Хабаровский край, лесничества – Ургальское, Баджалское, Тырминское, Кур-Урминское, Амгуньское, Кербинское, Горинское);

- Западно-Сихотэ-Алинская и Самаргинская горные провинции (Хабаровский край, лесничества – Иннокентьевское, Нанайское, Сукпайское, Оборское, Хорское; Приморский край, лесничества - Светлинское, Дальнереченское);

1200 м – Западно-Восточно-Южно-Сихотэ-Алинская горные провинции (Приморский край, кроме вышеуказанных лесничеств).

Следует отметить, что, к сожалению, из-за отсутствия материалов границы высокогорных лесов в других ландшафтных провинциях Сибири нами не установлены.

Таблица. Прогноз площади противоэрозионных лесов на Дальнем Востоке.

Область, край	Общая площадь лесного фонда, млн. га	Выделено ОЗУ	Необходимо выделить		
			Всего	КПЛ	ОЗУ
Сахалинская обл.	6.95	<u>0.97</u> 14	<u>1.22</u> 18	<u>0.36</u> 5	<u>0.86</u> 12
Хабаровский край	73.73	<u>5.51</u> 7	<u>13.5</u> 18	<u>9.79</u> 13	<u>3.67</u> 5
Приморский край	11.96	<u>0.48</u> 4	<u>1.78</u> 15	<u>0.12</u> 1	<u>1.66</u> 14

Примечание. Числитель – млн. га, знаменатель - % к общей площади

С повышением высоты над уровнем моря в горных районах возрастает общая площадь противоэрозионных лесов, увеличивается представленность в ней земель непокрытых лесой растительностью (каменистых россыпей, скал, гольцов) и КПЛ. Преобладающая часть площади КПЛ, рекомендуемая к выделению относится к «высокогорным лесам». Например в Первомайском (Сахалинская обл.), Чумиканском и Баджальском (Хабаровский край) лесничествах, расположенных в высокогорных районах, представленность КПЛ в общей площади противоэрозионных лесов значительно выше (60-80%), чем в других лесхозах средне- и низкогорных районов. С понижением абсолютной высоты горных районов увеличивается доля ОЗУ в общей площади противоэрозионных лесов. Последнее характерно в Приморском крае и Сахалинской обл.

Прогноз площади противоэрозионных лесов свидетельствует о том, что в настоящее время их выделено недостаточно. Выделение противоэрозионных лесов требует упорядочения на основе научно-обоснованных нормативов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Косицын В.Н. Развитие ГИС-технологий в российском лесоустройстве // Аэрокосмические методы и геоинформационные технологии в лесоведении и лесном хозяйстве.. Материалы IV международной конференции . М. ЦЭПЛ РАН, 2007. С. 54-57.
2. Почвенно-эрозионная карта России. 1991. М 1:250000. Почвенный институт им. В.В. Докучаева. 25л.
3. Рыбакова Н.А. Противоэрозионная роль лесов в горных районах европейско-уральской части России. //Лесохозяйственная информация. 2002. N 11. С. 2-10.

ALLOCATON OF ANTI-EROSION FOREST IN MOUNTAIN AREAS OF THE FAR EAST

N.A.RYBAKOVA

Institute of Forest RAS

Method for detecting anti-erosion forests. Analysis of allocaton anti-erosion forests in moun-tainous areas of the Far East. Forecast area of anti-erosion forests in the mountains forests in Khabarovsk Krai, Primorye and Sakhalin Region.

КАРТОГРАФИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ДОЛГОВРЕМЕННОЙ ДИНАМИКИ ЛЕСНОГО ПОКРОВА ТУНКИНСКОЙ КОТЛОВИНЫ

А.В. СИЛАЕВ

Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН

В статье представлены результаты изучения антропогенных изменений геосистем Тункинской котловины за период с 1900 по 2010 гг. Материалами исследования послужили разновременные топографические, ретроспективные карты, данные дистанционного зондирования. Показаны изменения типов использования земель на примере лесных и распаханных территорий, как наиболее подверженных антропогенной модификации.

В качестве территории исследования нами выбрана Тункинская котловина, расположенная в Южном Прибайкалье (рис.). Тункинская котловина, расположенная между 52^0 и $51^030'$ северной широты, 101^0 и 103^0 восточной долготы, представляет собой сочетание низких равнин в межгорных котловинах и разделяющих их поднятий в виде низкогорных массивов (отрогов) (Щетников, 2004).

Равнинная часть котловины испытывала антропогенные изменения, начиная с палеолита, а со второй половины XVII века эти изменения стали интенсивнее и более глубокими. Поэтому большое значение, при исследовании именно измененных человеком геосистем, приобретает знание типов использования земель, как современных, так и имевших место в прошлом (Бешенцев, 2008). На территории Тункинской котловины можно выделить несколько типов использования земель: сельскохозяйственные угодья (пашни, выгоны, пастбища и сенокосы), зарастающие и заброшенные участки, гари и т.п. Одни из самых значительных изменений произошли вследствие сельскохозяйственных мероприятий, а именно, распашкой земель, которая сопровождалась преобразованием коренных геосистем. Лесопромышленные вырубки явились одним из главных факторов антропогенного воздействия, наиболее изменившие природный каркас котловины.

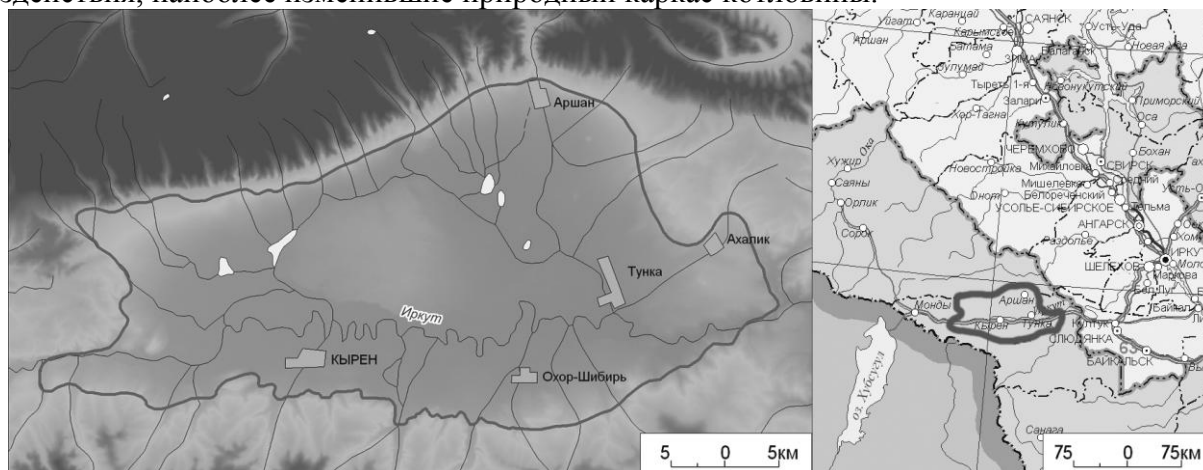


Рисунок. Территория исследования

На основе анализа литературных источников выделены 3 исторических периода: начало XX в. (1896-1914 гг.), середина XX в. (1960-1970 гг.) и начало XXI в. (2000-2010 гг.). Они выбраны для изучения трансформации геосистем, так как это, во-первых, годы, за которые происходили существенные качественные и количественные изменения территории, а во-вторых, данные промежутки времени, охватывающие фактически столетие, обеспечены картографическим материалом.

Исходные данные для геоинформационного картографирования и последующего анализа в соответствии с основными периодами освоения территории распределились на блоки:

- 1) ретроспективные топографические карты масштаба 1:84 000 издания 1896–1914 гг.;
- 2) разновременные топографические карты масштаба 1:100 000 (N-48-133, N-48-134), масштаба 1:200 000 (M-48-1, M-48-2);
- 3) данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) (Landsat - 1976-2010 гг., SPOT - 1969-1976 гг.);
- 4) разновременные статистические данные использования земель, лесоустроительные схемы масштаба 1:50 000, полевые описания.

При выявлении контуров лесных и распаханых территорий на период начала XX века были использованы ретроспективные топографические карты, масштаба 1:84 000, издания 1896–1914 гг., оцифровав которые был получен векторный слой, содержащий информацию о площадях покрытых лесной растительностью и занятых пашней в первом временном периоде исследования.

Для выявления распаханых территорий в 1970 и 2010 годах использовались космические снимки Landsat (MSS, 5 TM и 7 ETM+). Проводилось визуальное дешифрирование используя различные комбинации каналов, прямые и косвенные признаки (четкие очертания, линейные границы и т.п.) уточненные данными полевых исследований.

Освоение целинных и залежных земель привело к сильному расширению посевных площадей, на начало 20 века в период 1896-1914 годы на территории Тункинской котловины было распахано 204,92 км², распашка при этом сопровождалась сведением больших площадей лесного покрова (Ларин, 1991). Вся же площадь котловины равна 1444 км². Геоинформационный анализ разновременных картографических источников и данных дистанционного зондирования, позволил выявить, что в 60-70х годах прошлого века, всего было распахано 272,37 км², но при этом площадь заброшенных земель, которые были освоены в 1896-1914 составила 110 км², это прежде всего земли на менее плодородных почвах и на склонах, угол наклона которых превышает 3 градуса, и именно на большей части этой площади равной 74 км² лесной покров восстановился фрагментарно с преобладанием смешанного леса, на 18 км² лесной покров представленный коренными сосновыми породами восстановился полностью. Стоит отметить что общая площадь лесного покрова котловины составляет приблизительно 580 км², приблизительно 80 км² из них это территории после пожаров, представляющих на данный момент основную опасность для лесной растительности Тункинской котловины.

В настоящий момент лесные массивы используются для охоты и сбора дикоросов. Кроме того, имеют место несанкционированные вырубki леса и свалки мусора, примерно 5 км², от общей площади котловины, но в настоящее время в связи с созданием национального парка в 1991 году, рубки сокращены до минимума. Восстановительная динамика лесных угодий так же связана с сокращением сельскохозяйственной деятельности после распада СССР, на местах бывших пастбищ и пашен, наблюдается активное зарастание луговой растительностью и мелколиственными породами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бешенцев А.Н. Геоинформационная оценка природопользования. Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2008. 118 с.
2. Ларин С.И. Основные этапы освоения ландшафтов Тункинских котловин // Историко-географические исследования Южной Сибири. Иркутск, 1991. С. 70-85.
3. Щетников А.А., Уфимцев Г.Ф. Структура рельефа и новейшая тектоника тункинского рифта (Юго-Западное Прибайкалье). М.: Научный мир, 2004. 160 с.

CARTOGRAPHIC ANALYSIS OF LONG-TERM DYNAMICS OF FOREST COVER TUNKINSKAYA DEPRESSION

A.V. SILAEV

V.B. Sochava Institute of Geography SB RAS

The paper presents the results of the study into anthropogenic changes of geosystems within the Tunkinskaya depression for the period 1900-2010. Topographic and retrospective maps from different time periods, and remote sensing data were used as materials for study. Changes in the types of land use are shown by the forest cover and plowed areas as the most subjected to anthropogenic modifications.

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА КОСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА САНИТАРНОГО СОСТОЯНИЯ ЛЕСОВ «ВЕГА-ЛЕСОПАТОЛОГ»

И.А. УВАРОВ¹, Д.В. ЕРШОВ², КРЫЛОВ А.М.³, С.А. БАРТАЛЕВ¹, Е.А. ЛУПЯН¹

¹ Институт космических исследований РАН

² Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН

³ Федеральное агентство лесного хозяйства

В докладе изложены основные возможности информационной системы дистанционного мониторинга санитарного состояния лесов "Вега-лесопатолог" на основе спутникового сервиса Вега, ориентированного на решение задач мониторинга растительного покрова. Продемонстрированы основные задачи и технические особенности информационной системы, обсуждаются примеры ее использования для выявления и оценки динамики нарушений в лесах, вызванных различными факторами пирогенного и непирогенного характера.

Сегодня одним из наиболее эффективных, а главное оперативных и объективных источников информации о состоянии лесов являются спутниковые системы наблюдения. В настоящее время активно развиваются различные методы и технологии позволяющие проводить оценки состояния лесов и выявлять происходящие в них повреждения. Активно также ведутся работы по созданию информационных систем дистанционного мониторинга окружающей среды, природных и антропогенных объектов. Все это позволило специалистам ФБУ «Рослесозащита», Института космических исследований (ИКИ РАН) и Центра по проблемам экологии и продуктивности лесов (ЦЭПЛ РАН) в 2011 году создать на базе спутникового сервиса ВЕГА (Барталев и др., 2012) специализированную информационную систему «ВЕГА-лесопатолог», ориентированную на решение задач дистанционного мониторинга санитарного состояния лесов.

Основной целью системы является обеспечение информацией дистанционного мониторинга для решения задач по выявлению, анализу и интерпретации участков нарушения лесов и оценки их санитарного состояния. Для этого необходимо создать удобный инструмент работы с различной информацией, обеспечивающий:

- ведение архивов результатов обработки спутниковых данных необходимых для решения поставленных задач (в том числе, и технологии постоянной актуализации данных);
- взаимодействие с информационными ресурсами, используемыми для решения задач лесопатологического мониторинга (в первую очередь с архивами материалов наземного лесопатологического обследования);
- анализ различной (в основном картографической) информации, полученной как на основе спутниковых данных, так и на основе материалов наземных лесопатологических обследований;
- получение с помощью специальных инструментов и методик комплексной информации о санитарном состоянии лесов.

В настоящее время Система «Вега-Лесопатолог» в основном ориентирована на использование информации, поступающей со спутников Terra, Aqua и LANDSAT. В системе доступны и постоянно обновляются различные информационные продукты, получаемые на основе этих данных в системах ИСДМ Рослесхоз (Барталев и др., 2010) и спутниковом сервисе ВЕГА (Лупян и др., 2011) (например, карты растительности наземных экосистем и группы преобладающих лесных пород, различные вегетационные индексы, информация об

активных пожарах, площадях пройденных огнем, степени повреждения и т.д.). В системе также доступна информация из архивов ИСДМ Рослесхоз, полученная со спутников SPOT 2/4 (20 м), RapidEye (5 м).

Также в системе «Вега-Лесопатолог» имеется возможность работы с участками, на которых выявлены нарушения древостоя. Для этого создана специализированная база данных, обеспечивающая хранение всей необходимой информации для последующего анализа. В системе реализована возможность занесения информации о состоянии леса как по результатам визуального анализа спутниковой информации внутри системы, так и по результатам независимой автоматизированной обработки спутниковых данных. Участки также могут быть введены и на основе данных наземных обследований. Для любого участка строятся на основе спутниковых данных многолетние ряды вегетационных индексов, которые позволяют, в частности, анализировать по спектрам состояние растительности во времени. Для участка могут быть введены также и различные характеристики, например: вероятная причина повреждений, источник и способ получения информации о повреждениях и т.д.

Базовый функционал системы «Вега-Лесопатолог» фактически основан на возможностях спутникового сервиса «Вега» по доступу и тематическому анализу спутниковых данных различного пространственного и временного разрешения. Они позволяют выбирать и анализировать различные типы данных и их продуктов, оценивать состояние природных и лесных объектов, производить сравнение различных данных, выбирать и анализировать ряды вегетационных индексов в произвольных точках и на определенных пользователем объектах.

Одной из полезных и наиболее востребованных групп инструментов являются возможности анализа разновременных изображений. Например, можно выбрать данные по исследуемой территории за разные годы (месяцы и т.п.) и проанализировать, произошедшие измерения с помощью механизмов "шторка" или цветного синтеза разновременных изображений.

Важной является также возможность работы с информацией о лесных пожарах, площадях пройденных огнем и оценкой повреждений лесного покрова, полученной на основе спутниковых данных. При этом для одной гари в системе доступны различные виды информации. Например, информация о динамике лесного пожара на основе активного горения и степени повреждения огнем лесной растительности. Данную информацию специалисты лесопатологи могут использовать при планировании наземных обследований площадей пройденных пожарами.

Достаточно важными являются также возможности работы с метеорологической информацией. Они дают лесопатологу возможность получить пространственное распределение таких метеорологических показателей как температура воздуха и осадки за любую дату вегетационного сезона. В дальнейшем на основе этой информации могут рассчитываться индексы для оценки засушливости вегетационных сезонов, выявления экстремальных погодных условий и экспресс прогноза состояния лесной растительности.

В настоящий момент система введена в опытную эксплуатацию для территории Московской области. На основе имеющихся в системе данных в настоящее время, в частности, проводится оценка масштабов усыхания еловых насаждений в лесах Московской области, которые произошли в 2011 и 2012 годах. Эти усыхания вызваны в первую очередь засухой 2010 года. Полученная информация в дальнейшем может быть использована для проектирования санитарно-оздоровительных мероприятий, а также мониторинга и контроля данных мероприятий.

С учетом того, что все инструменты работы с данными в системе "Вега-Лесопатолог" ориентированы на работу удаленных пользователей, то система может быть расширена для использования не только в тестовом регионе (Московская область), но и на всю территорию Российской Федерации. На наш взгляд, уже сегодня имеющаяся информация может использоваться при планировании лесопатологических обследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Барталев С.А., Ершов Д.В., Лулян Е.А., Толпин В.А.* Возможности использования спутникового сервиса ВЕГА для различных задач мониторинга наземных экосистем // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т.9. № 1. – М.: ИКИ РАН. С. 49-56.
2. *Барталев С.А., Ершов Д.В., Коровин Г.Н., Котельников Р.В., Лулян Е.А., Щетинский В.Е.* Основные возможности и структура информационной системы дистанционного мониторинга лесных пожаров Федерального агентства лесного хозяйства (ИСДМ Рослесхоз) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2010. Т.7. № 2. С.97-105.
3. *Лулян Е.А., Савин И.Ю., Барталев С.А., Толпин В.А., Балашов И.В., Плотников Д.Е.* Спутниковый сервис мониторинга состояния растительности («ВЕГА») // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т. 8. № 1. С. 190-198.

INFORMATION SYSTEM OF SATELLITE MONITORING OF FOREST HEALTH CONDITION “VEGA-LESOPATOLOG”

**IVAN A. UVAROV¹, DMITRY V. ERSHOV², ALEXANDER M. KRYLOV³, SERGEY A. BARTALEV¹,
EUGENIE A. LUPIAN¹**

**¹Space Research Institute RAS
Center for forest ecology and productivity RAS
³Federal Forest Agency**

Presentation describes main possibilities of “VEGA-lesopatolog” information service, developed based on the Vega satellite service. The main service tasks, features and possibilities of using for forest health monitoring are discussed.

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ НЕФТЕГАЗОВОГО КОМПЛЕКСА ХМАО

В.А.ХАМЕДОВ, Ю.М.ПОЛИЩУК, В.В.РУСАКОВА

Югорский НИИ информационных технологий

Разработана структура системы мониторинга для оценки состояния лесных экосистем на основе геоинформационных технологий. В состав системы мониторинга включены база данных по состоянию лесных ресурсов и базы спутниковых и картографических данных. Разработана геоинформационная методика построения карты пожарной опасности лесов. Цифровые карты породного состава деревьев и пожарной опасности лесов разработаны на основе космических снимков.

Известно, что значительная доля лесных ресурсов России приходится на леса Западной Сибири, которые испытывают большое техногенное воздействие в результате деятельности предприятий Западно-Сибирского нефтедобывающего комплекса. Многочисленные лесные пожары, строительство линейных коммуникаций, вызывающее подтопление и усыхание лесных массивов, незаконные вырубki лесных массивов и отклонения от строительных проектов, биологическое повреждение и усыхание лесных насаждений в результате химического загрязнения почв и атмосферного воздуха вызывают значительные экологические и экономические ущербы (Лесной план Ханты-Мансийского автономного округа; Залява, 2007). В этих условиях оценка состояния лесных экосистем является важным инструментом контроля качества проведения природоохранных мероприятий. В связи с труднодоступностью большей части лесных территорий Ханты-Мансийского автономного округа (ХМАО) решение этой задачи невозможно без использования данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Поэтому для оперативного получения информации о состоянии лесов необходима многоуровневая система мониторинга,

основанная на совместных наземных и дистанционных (авиационных, спутниковых) наблюдениях.

Целью данной работы является разработка вопросов создания системы регионального мониторинга состояния лесных ресурсов на основе геоинформационных технологий с использованием наземных и спутниковых данных.

На рис. 1 приведена обобщенная структурная схема системы мониторинга лесов, ориентированной на использование современных программных средств геоинформационных систем (ГИС) ERDAS Imagine, ArcGIS и др. В состав системы мониторинга входят следующие компоненты: база данных о лесотаксационных характеристиках тестовых участков лесной территории и об уровнях воздействия на лесные комплексы природных и антропогенных факторов, база картографических данных, база спутниковых данных, а также прикладные программы анализа и прогноза изменения состояния лесов в условиях воздействия природных и антропогенных факторов.

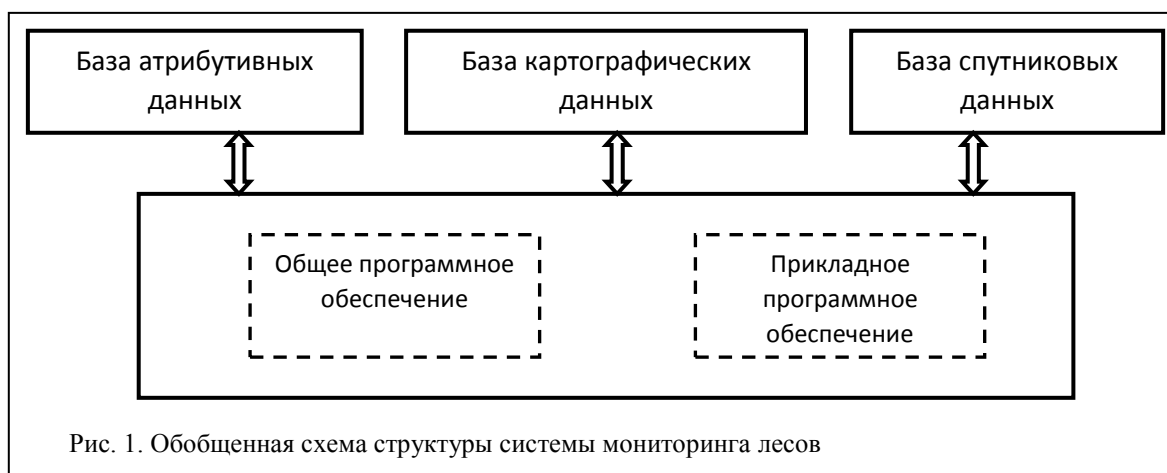


Рис. 1. Обобщенная схема структуры системы мониторинга лесов

База картографических данных включает набор цифровых карт породного состава лесов, гидрографической сети, населенных пунктов, инфраструктуры и др. Наиболее важными для оценки состояния лесных экосистем в системе мониторинга лесных ресурсов региона являются цифровые карты породного состава лесов и карты пожарной опасности. Методические вопросы создания карт породного состава лесов на основе космических снимков разработаны авторами и изложены в ряде публикаций. В частности, в работах (Хамедов и др, 2007; Копылов и др, 2007; Хамедов и др. 2006) изложена методика построения карты породного состава лесов, основанная на использовании спутниковых снимков среднего и высокого пространственного разрешения.

Для создания цифровой карты лесов региона (Хамедов, 2009) использовались широко доступные космические снимки Landsat-7 с пространственным разрешением 30 м. Классификация была выполнена по алгоритму ISODATA с использованием данных трех спектральных каналов с длинами волн 0,76-0,90 мкм, 0,63-0,69 мкм, 0,52-0,60 мкм.

Необходимость создания цифровой карты пожарной опасности лесных территорий связана с тем, что существующие в настоящее время карты пожарной опасности лесов создавались на основе материалов лесоустройства 90-х годов и более ранних материалов. Разработанная авторами методика построения карты пожарной опасности лесов с использованием спутниковых данных предполагает выделение на лесных картах 8 тематических классов ландшафтных выделов. Описание основных тематических классов приведено в таблице. Разделение лесных участков на классы проводится в соответствии с существующим в лесной отрасли порядком отнесения участков из состава земель лесного фонда к лесным и нелесным землям (Лесной план Ханты-Мансийского автономного округа).

Таблица. Описание тематических классов электронной карты лесов

Земли лесного фонда							
Лесные земли					Нелесные земли		
Покрытые лесом			Не покрытые лесом		Воды	Дороги, просеки	Болота
Темнохвойные породы	Светлохвойные породы	Лиственные породы	Гари, погибшие древостои	Вырубки, прогалины, пустыри			
Класс 1	Класс 2	Класс 3	Класс 4	Класс 5	Класс 6	Класс 7	Класс 8

Согласно (Лесной план Ханты-Мансийского автономного округа; Залява, 2007) вероятность возникновения лесных пожаров на лесных участках оценивается в соответствии со шкалой, состоящей из пяти классов природной пожарной опасности лесов. Класс пожарной опасности определяется возрастом древостоя, степенью близости как к заболоченным (или увлажненным) участкам, так и к производственным сооружениям и объектам инфраструктуры (линейные коммуникации, трубопроводы, дороги, площадные объекты обустройства и др.). Разработан алгоритм обработки атрибутивных данных, позволяющий определять принадлежность каждого лесного выдела к одному из пяти классов пожарной опасности. Схема алгоритма обработки атрибутивных данных для построения цифровой карты пожарной опасности приведена на рисунке 2.

В рамках решения задачи оценки состояния лесных экосистем и создания системы мониторинга состояния лесных ресурсов на основе геоинформационных технологий, наземных и спутниковых данных авторами были получены следующие результаты:

1. Разработана структура системы мониторинга состояния лесов в условиях воздействия природных и антропогенных факторов.
2. Определены совокупности показателей состояния лесных ресурсов и связей между ними и создана база атрибутивных данных о лесных ресурсах региона.
3. Создана база картографических данных для системы мониторинга лесов ХМАО с использованием разработанных методик создания цифровой карты породного состава лесов на основе спутниковых снимков и цифровой карты пожарной опасности лесных выделов на основе базы атрибутивных данных.
4. Разработаны требования к выбору спектральных каналов и пространственному разрешению спутниковых снимков для выявления негативных воздействий антропогенных и природных факторов на лесную растительность. На основе требований определен состав базы спутниковых данных.
5. Определен состав общего и прикладного программного обеспечения, необходимого для функционирования системы мониторинга состояния лесов.

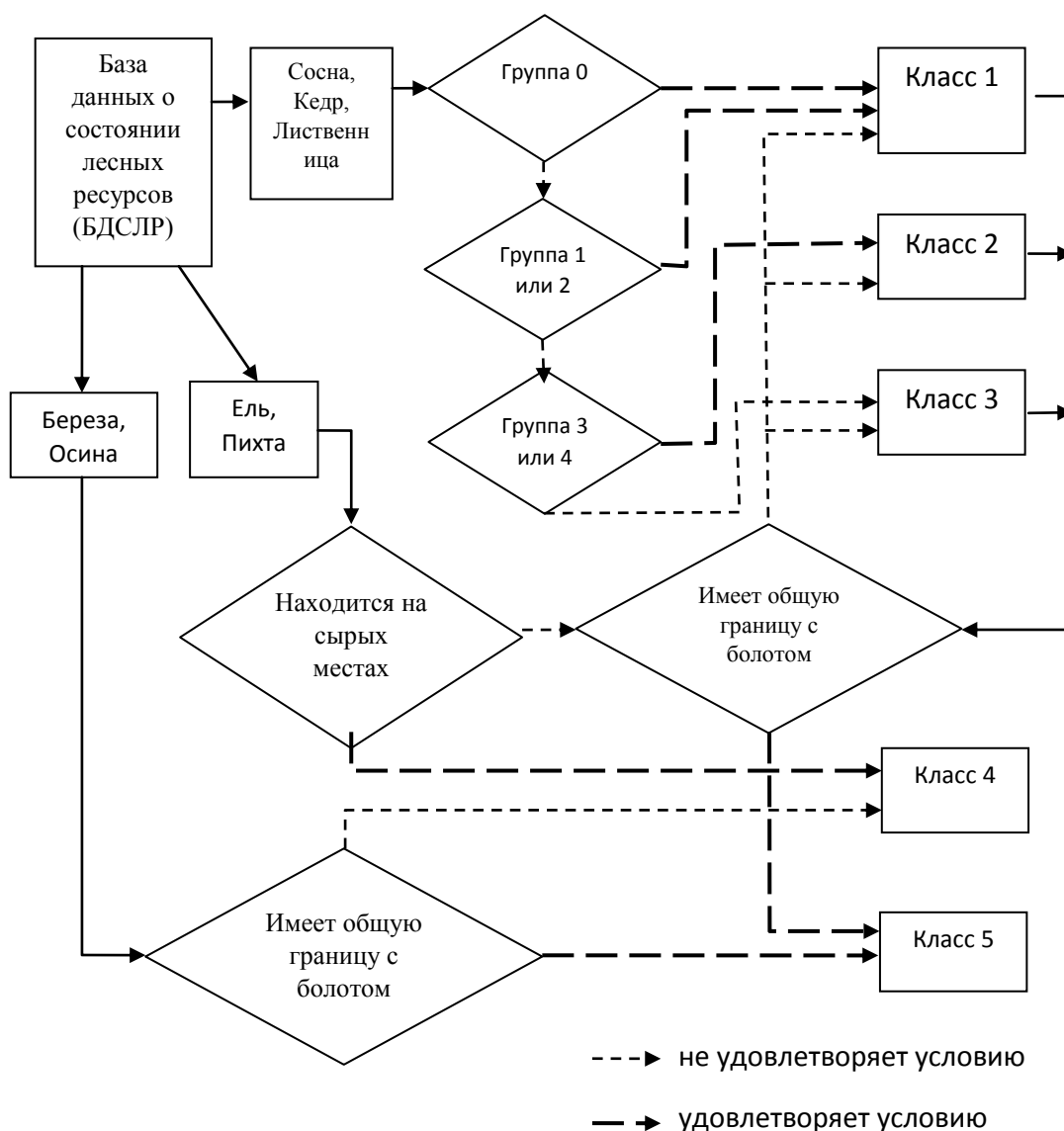


Рис. 2. Алгоритм построения карты пожарной опасности

ЛИТЕРАТУРА

1. Лесной план Ханты-Мансийского автономного округа – Югры. [http://www.admhmao.ru/economic/les_hoz/les_plan_1.pdf].
2. Залява Т.Д. Электронная тайга Югры, 2009, № 48. [<http://www.admhmao.ru/committe/frame.htm>].
3. Хамедов В.А., Копылов В.Н., Полищук Ю.М., Шимов С.В. Применение информационно-космических технологий в лесном хозяйстве // Матер. 4-ой Междун. конф. «Аэрокосмические методы и геоинформационные технологии в лесоведении и лесном хозяйстве» (Москва, 17-19 апреля 2007г.). - М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2007. - С. 81-83.
4. Копылов В.Н., Полищук Ю.М., Хамедов В.А. Синтез оптических и радиолокационных космических снимков при решении задачи оперативного обнаружения лесных гарей // Матер. 3-го Междун. научн. конгресса «Гео-Сибирь-2007» (Новосибирск, 25-27 апреля 2007г.). –Новосибирск: СГГА, 2007. – С. 157-161.
5. Копылов В.Н., Полищук Ю.М., Хамедов В.А. Геоинформационная технология оценки последствий лесных пожаров с использованием данных дистанционного зондирования // Геоинформатика, 2006.- №1.- С. 56-61.
6. Хамедов В.А., Копылов В.Н., Полищук Ю.М., Шимов С.В., Сугаипова А.Н. Создание карты лесов Ханты-Мансийского округа на основе космических снимков среднего разрешения // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов. Выпуск 6. Том II. - М.: ООО «Азбука-2000», 2009. - С. 474-478.

ASSRSSMENT OF FOREST ECOSYSTEM STATE UNDER IMPACT OF OIL-GAS PRODUCTION COMPLEX OF KHMAO

V.KHAMEDOV, Y.POLISCHUK, V.RUSAKOVA

Ugra Research Institute of Information Technologies

The structure of the monitoring system for the assessment of forest ecosystem based on GIS technologies. The system includes monitoring database on forest resources, and the bases of satellite and map data. GIS technique of mapping of forest fire danger is developed. Digital maps of species composition of trees and forest fire danger are based on satellite images.

МЕТОД ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ НА ОСНОВЕ АССИМИЛЯЦИИ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ В МОДЕЛЬ ПОЖАРНОЙ ДИНАМИКИ

С.А. ХВОСТИКОВ^{1,2}, С.А. БАРТАЛЕВ¹, Е.А. ЛУПЯН¹

¹Институт космических исследований РАН

²Московский государственный институт электроники и математики НИУ ВШЭ

В работе описывается процесс настройки прогностической модели распространения лесного пожара на основе спутниковых данных. В качестве основы прогнозного моделирования использовалась модель CFFBPS, разработанная и широко используемая в Канаде. Оценка точности оптимизированной модели показывают ее способность адекватно воспроизводить поведения пожара на территории России.

Возможность оперативного прогноза распространения лесного пожара может быть использована для повышения эффективности противопожарных мероприятий. Один из путей решения этой задачи основан на использовании моделей развития пожара. Как правило, для моделирования лесного пожара необходимы входные данные о его периметре в начальный момент времени, метеорологических условиях, пространственном распределении типов и запасов горючих материалов, рельефе местности. В масштабах России наиболее эффективным методом получения всех этих данных (за исключением метеоданных) является спутниковый мониторинг. Настоящая работа направлена на построение метода прогнозирования распространения лесного пожара, основанного на моделировании его поведения с использованием входной информации, получаемой по результатам обработки спутниковых данных.

На данный момент разработано множество различных моделей развития пожаров, предназначенных для разных условий и с различной степенью подробности описывающих процессы горения биомассы. В данной работе выполнена адаптация одной из существующих моделей пожаров с целью обеспечения возможности ее использования на территории России с использованием имеющихся входных данных. Основные эмпирические уравнения, описывающие поведение пожары, были взяты из системы Canadian Forest Fire Behavior Prediction System (CFFBPS), разработанной Канадской лесной службой. На основе этой системы была создана растровая модель поведения пожара, способная использовать данные дистанционного зондирования.

Модель имитирует поведение пожара с помощью системы эмпирических зависимостей, выражающих скорости распространения фронта пожара от ветра, влажности и характеристик горючих материалов. Влажность топлива в данной модели рассчитывается с учетом влажности и температуры воздуха, а также выпавших осадков. В качестве формы пожара в модели принимается эллипс, в котором расстояние от его фокуса до края задается скоростью распространения фронтового пожара, а соотношение его длины к ширине зависит от скорости ветра.

Моделирование осуществляется на регулярной сетке, центр «горящих» клеток в которой считается центром точечного пожара. На основании входных данных рассчитывается форма эллипса, по которой оценивается распространение пожара из клетки. В случае, если пожар достиг центра не горящей клетки, то она загорается и пожар распространяется уже из нее.

Входные данные о начальной форме пожара для моделирования получаются по данным спутникового спектрорадиометра MODIS (разрешение 1 км). В качестве источника данных о горючих материалах используется карта растительного покрова России, построенная по данным MODIS (разрешение 250 м). Для моделирования также используется цифровая модель рельефа CGIAR-SRTM (разрешение 250 м). Кроме этого модель использует метеорологические параметры, полученные от Росгидромета и обладающие разрешением 1/4 градуса и временным шагом 3 часа.

Оценка точности модели проводилась посредством сравнения результатов прогнозного моделирования поведения пожара на сутки вперед с его формой, полученной по спутниковым данным для того же момента времени. Для оценки точности было использовано более 40000 пожаров за 2007-2012 годы, для которых имелись наблюдения за два последовательных дня. При этом в своем исходном виде модель показала тенденцию к существенной (до десятикратной) переоценке площадей пожаров.

Для повышения точности модели была проведена настройка ее параметров, таких как скорости распространения пожара для различных типов растительности, коэффициенты в формулах, выражающих влияние склона, ветра, влажности и также ряд других параметров. Настройка параметров осуществлялась посредством их оптимизации с целью минимизации средней ошибки модели. Ошибка при оптимизации оценивалась на случайной выборке из 300 пожаров. Для оптимизации использовался генетический алгоритм Rgenoud, реализованный на языке R.

После оптимизации параметров показатель точности работы модели улучшился, как для наблюдений 2011 (оптимизируемого) года, так и для всего периода с 2007 по 2012 годы. Средняя ошибка, при этом, составила 1.7 раз для всех пожаров, а для крупных (более 500 га) пожаров она снизилась до 1.5 раза. Оптимизация модели по спутниковым данным позволила получить адекватно работающую на территории России модель, использующую преимущественно спутниковые данные для построения прогнозов.

Модель интегрирована в Информационную систему дистанционного мониторинга лесов Федерального агентства лесного хозяйства (ИСДМ-Рослесхоз) и позволяет прогнозировать поведение любого пожара на территории России в произвольный момент времени.

Представленные в работе результаты получены при поддержке Министерства образования и науки РФ (Государственный контракт № 14.515.11.0007 на выполнение НИР по теме «Разработка методов дистанционного мониторинга природных пожаров для оценки их воздействия на окружающую среду и прогнозирования техногенных рисков» - Шифр: 2013-1.5-14-515-0039-021)

FOREST FIRE BEHAVIOR PREDICTION BASED ON ASSIMILATION OF SATELLITE DATA INTO MODEL

S.A. KHVOSTIKOV^{1,2}, S.A. BARTALEV¹, E.A. LOUPIAN¹

¹Space Research Institute RAS

²Moscow State Institute of Electronics and Mathematics NRU HSE

This paper describes process of the predictive fire model calibration using remote sensing data. The model is adopted from the Canadian Forest Fire Behavior Prediction System. The model quality was assessed for years 2007-2012 and shows that model can predict fire behavior for a territory of Russia with high enough accuracy. The model was

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ СТРУКТУРА ЛАНДШАФТА КАК УСЛОВИЕ ПЛАНИРОВАНИЯ ЛЕСОПОЛЬЗОВАНИЯ

А.В. ХОРОШЕВ

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет

Предлагается последовательность этапов ландшафтно-экологического зонирования на уровне лесничества с целью создания условий для многофункционального устойчивого лесопользования. Демонстрируются возможности пространственного анализа ландшафтной структуры на нескольких иерархических уровнях на примере Кологривского лесничества Костромской области.

Ландшафтно-экологическое зонирование для устойчивого многофункционального лесопользования имеет следующие цели: 1) ранжировать территорию по риску возникновения необратимых разрушительных процессов при лесохозяйственном использовании; 2) выделить территории, вносящие ключевой вклад в устойчивое функционирование экосистем; 3) разделить территории, различающиеся по соотношению допустимой эксплуатации лесных ресурсов, ограниченной (щадящей) эксплуатации и защиты экосистем; 4) ранжировать территорию по степени потенциальной конфликтности природопользования.

Результатом ландшафтно-экологического зонирования являются компактные районы в пределах которых выдерживается единство приоритетных мер охраны лесных экосистем, рекомендуемых экологически безопасных технологий ведения лесозаготовок, рекомендуемого соотношения использования древесных и недревесных ресурсов леса.

Процесс зонирования целесообразно разделить на несколько этапов, согласующихся с иерархией природно-территориальных комплексов и речных бассейнов.

На первом этапе необходимо выделить территории, которые относятся к категориям особо охраняемых природных территорий или имеют ограничения или запрет на эксплуатацию лесных ресурсов согласно существующей нормативной базе (например, запретные и водоохранные полосы). На втором этапе рекомендуется отделить территории, которые принципиально отличаются по степени залесенности: следовательно, риск утраты экологических функций ландшафта при рубках отдельных лесных массивов либо критичен, либо относительно легко может быть компенсирован за счет сохранения соседних насаждений в ландшафте или речном бассейне. На третьем этапе территория ранжируется по риску активизации экодинамических процессов, способных коренным образом преобразовать морфолитогенную основу ландшафта (рельеф, состав почвообразующих отложений и подстилающих пород) и лесорастительные условия в частности (эрозии почв, усиления поверхностного стока, дефляции). Четвертый этап имеет целью разделение зон по вкладу в выполнение стокорегулирующих функций и функций сохранения биологического разнообразия при сходных условиях рельефа. В качестве критерия целесообразно использовать взаиморасположение разновозрастных и разнородных лесных насаждений и безлесных участков.

На наивысшем уровне выделяются территории, имеющие статус особо охраняемых и их буферные зоны. При наличии на территории заповедника (как в Кологривском лесничестве Костромской области), дальнейшее зонирование его территории для целей лесопользования утрачивает смысл ввиду принципиальной недопустимости каких-либо видов хозяйственного использования.

За пределами заповедника на высоком уровне зонирования следует разделить территории, отличающиеся по степени залесенности. Многолесные территории в пределах

лесной зоны состоят из разнообразных природных комплексов, которые в случае нарушения до некоторой степени взаимозаменяемы, т.е. способны компенсировать риск кратковременной утраты экологических функций соседними комплексами. Так, вырубка небольшой части выделов в пределах плоской водораздельной поверхности или малого бассейна позволяет животному населению переместиться в сохранившиеся выдела. Возрастающая на рубках скорость ветра гасится соседними стенками леса (а в идеале – еще и сохранными буферными полосами из тонкомерных и малоценных деревьев и кустарников). Усиление поверхностного стока на рубках необязательно ведет к нарушению водного режима реки при условии, что в ее бассейне сохраняется лесистость близкая к оптимальной (обычно для лесной зоны оценивается в 40-50 %) при относительно равномерном распределении лесов разного возраста и породного состава и рубок. Если в многолесных районах лесоразработки могут быть приоритетной хозяйственной функцией, то в малолесных в большинстве случаев – не более чем второстепенной на фоне приоритета экологических, рекреационных, иногда – охотничье-рыболовных и других хозяйственных функций, не связанных с уничтожением лесного покрова. Основными материалами для разделения малолесных и многолесных районов служат космические и аэрофотоснимки. Их интерпретация и расчет степени залесенности существенно облегчаются применением геоинформационных технологий и программ автоматизированной классификации изображений. Помимо расчета доли лесных и нелесных земель, на этом этапе важную вспомогательную роль могут играть разнообразные меры связности, фрагментации, разнообразия,

При разделении многолесных и малолесных районов следует учитывать разную природу обезлесенности. Так, в Кологривском лесничестве Костромской области почти сплошная обезлесенная полоса вдоль долины Унжи от с.Черменино до с.Ильинское связана с исторически очаговым сельскохозяйственным и селитебным освоением территории вдоль хорошо дренированных склонов долины Унжи с относительно плодородными почвами, сформировавшимися на выходах коренных карбонатных пород. Огромную роль в обезлесении сыграло и бывшее судоходное значение реки, а впоследствии и сооружение сухопутных транспортных путей вдоль реки. В этой полосе исторически обусловленная малолесность диктует необходимость сохранения лесных рефугиумов, которые к тому же в силу расположения в трехкилометровой полосе от русла имеют охранный статус. Приоритет охранный стратегии лесного хозяйства обуславливается также повышенным риском эрозии на крутых и покатых коренных склонах Унжи. Есть острая необходимость не допустить дальнейшего заиливания уже и так сильно обмелевшей за последние три десятилетия реки и разрушения необратимой овражной эрозией потенциально плодородных сельскохозяйственных угодий.

Иной вариант обезлесенных районов представляют территории недавних широколесосечных рубок, где обезлесенность можно считать временным явлением. Тем не менее, при единовременной (в пределах 10-15 лет) рубке на территории, сопоставимой по площади с бассейном малой реки, велик риск нарушения водного режима в этом бассейне и локального роста риска разрушительных эрозионных процессов. Примером являются малые бассейны правых притоков р.Понга в среднем течении. Основное направление лесного хозяйства в обезлесенных районах этой категории – содействие ускоренному восстановлению лесного покрова путем посадок и временный «мораторий» на рубку оставшихся насаждений в бассейне для поддержания стокорегулирующих (соотношение поверхностного и подземного стока, выравнивание стока по сезонам) и биозащитных (убежища зональной растительности для животных, сохранение источников обсеменения) функций до момента восстановления их на рубленных участках. Обычно время восстановления водорегулирующих функций по мере восстановления лесного покрова оценивается в 15-20 лет, то есть укладывается в класс возраста хвойных пород.

Дальнейший этап ландшафтно-экологического зонирования связан с оценкой риска возникновения необратимых экодинамических процессов, способных коренным образом

изменить как функционирование ландшафта, так и его социально-экономический потенциал. Соотношение приоритетов экологических и лесопромышленных функций лесных ландшафтов и поддержание баланса с другими социально-экономическими функциями – рекреационной, охотничье-рыболовной, эстетической и т.п. – может быть с достаточно высокой точностью оценено на основании характеристик рельефа. Как правило, каждое сочетание характеристик рельефа (типичные размеры мезоформ и микроформ, уклоны, вертикальная и горизонтальная расчлененность, ориентация форм рельефа, их плановые очертания, выпуклость и вогнутость склонов и др.) находятся в тесной генетической связи с характером почвообразующих и подстилающих отложений, а следовательно и с преобладающими лесорастительными условиями. Так, в Кологривском лесничестве песчаные водноледниковые равнины обычно имеют плоский или пологоволнистый рельеф, иногда осложненный буграми эолового происхождения; при этом риск эрозии невелик, но возможна активизация дефляции при нарушении растительного покрова. Моренно-камовые суглинистые равнины имеют крупнохолмистый рельеф с большой долей склоновых поверхностей. При лесоразработках там, как правило, резко активизируется нежелательный поверхностный сток в ущерб подземному, что чревато как смывом почв и дорожной эрозией, так и усилением разрушительных весенних половодий. Структурно-эрозионные равнины характеризуются наличием глубокооврезанных суженных долин с крутыми и покатыми склонами, по которым обычно обнажаются коренные породы; реки имеют ускоренное течение, временные водотоки обладают большой размывающей силой. Сильнопереесеченный рельеф, геологические и экспозиционные контрасты способствует возрастанию разнообразия местообитаний, в том числе появлению редких для тайги местообитаний с богатым минеральным питанием. В связи с этим повышена вероятность произрастания редких видов растений и сообществ, и в то же время повышен риск разрушения этих местообитаний эрозией и осыпными процессами при обезлесении. В подобных ландшафтных условиях выдела часто соответствуют критериям выделения особо защитных участков леса сразу нескольких категорий.

Материалами для зонирования на данном этапе служат топографические карты, а при доступности геоинформационных технологий – цифровые модели рельефа. На основе последних легко разрабатываются вспомогательные карты вертикальной расчлененности, горизонтальной расчлененности, уклонов поверхности, соллярной экспозиции, удельной площади водосбора, эрозионного потенциала рельефа и др. На основании анализа визуальной и морфометрической информации о рельефе выдвигаются гипотезы о генезисе форм рельефа и наиболее вероятном составе почвообразующих и подстилающих отложений. Наличие такого риска требует адаптации лесозаготовительных технологий (например, ориентации лесосек поперек склона, сокращения ширины лесосек, увеличения сроков примыкания, выбора сезона лесозаготовок, выбора лесозаготовительной техники, способов транспортировки древесины, способа лесовосстановления и др.), а во многих случаях – ограничений или запрета на лесозаготовки при приоритете экологических функций. При слаборасчлененном рельефе чаще допустим нормальный эксплуатационный режим, регламентируемый ведомственными нормативами. Сильнорасчлененный рельеф требует увеличения роли щадящих технологий лесопользования и увеличения площади особо защитных участков или лесов высокой природоохранной ценности по критериям систем лесной сертификации.

На четвертом этапе зоны со сходными характеристиками расчлененности рельефа подразделяются по вкладу в выполнение стокорегулирующих функций и функций сохранения биологического разнообразия. Подразумевается, что свойства ландшафта, ответственные за выполнение этих функций, как правило, более мобильны (менее устойчивы) по сравнению с характеристиками морфолитогенной основы и могут достаточно быстро изменяться в зависимости от антропогенного воздействия. Так, соотношение поверхностного и подземного стока меняется при рубках. Распределение речного стока по сезонам может меняться при изменении соотношения хвойных, лиственных лесов и вырубок

в бассейне. Биологическое разнообразие (как в количественном, так и в качественном смысле) меняется в ту или иную сторону при замене старовозрастных лесов посадками. В то же время часть природно-территориальных комплексов (например, болота приводораздельных депрессий) может устойчиво выполнять стокорегулирующие функции, а также предоставлять местообитания на фоне окружающих сильнонарушенных территорий, то есть до некоторой степени компенсировать утрату экологических функций геосистемой более высокого ранга. Основная задача этапа – выделить компактные группы природно-территориальных комплексов ранга урочища или подурочища, сопоставимых с группой выделов или индивидуальным выделом, которые требуют охранного или щадящего режима использования.

Еще одним критерием ландшафтно-экологического зонирования с точки зрения сохранения биоразнообразия являются меры типичности, редкости или уникальности урочищ (выделов) для территории лесничества или – шире – в региональном или национальном масштабе. В идеальном случае уникальные (как с экологической, так и с культурно-исторической точки зрения) природно-территориальные комплексы должны получать статус особо охраняемых природных территорий, на получение которого могут уходить многие годы и (как показывает пример заповедника «Кологривский лес») даже десятилетия. Если такого статуса не имеется, то при ландшафтно-экологическом зонировании необходимо выделять зоны щадящего лесопользования с сосредоточением редких и уникальных комплексов, часто являющихся хранилищами генетического фонда территории. Особое внимание необходимо уделять природным комплексам: с реликтовыми чертами (например, с невосстанавливающимися в современных условиях сообществами); экстразональным (например, острова широколиственных лесов в таежной зоне); содержащим уязвимые сообщества на краю своего ареала (например, лиственничники в европейской тайге); на редко встречающихся геологических отложениях (например, на известняках среди моренных суглинистых равнин); приуроченным к редким для региона формам рельефа (например, крутым склонам на фоне плоских равнин; примыкающим к редким водным объектам (например, крупным пойменным озерам, верховым болотам); с популяциями редких и охраняемых видов растений и животных (например, венерина башмачка, орлана-белохвоста); с наследием имеющих историческое и научное значение технологий лесного, сельского, водного, охотничьего, рыбного хозяйства (например, заброшенные каскады прудов, террасированные склоны, особые виды старых посадок леса).

Для каждого типа ландшафтно-экологических зон на примере Кологривского лесничества предложены требования к организации системы выделов. В зависимости от сложности ландшафтной структуры, прежде всего – степени расчлененности рельефа и риска возникновения разрушительных экзогенных процессов, предложено использовать в качестве основы для системы выделов либо относительно традиционный способ классов возрастов, либо строгая привязка границ выделов к естественным границам урочищ, имеющим геологическую или геоморфологическую природу. В обоих случаях указан приоритетный способ, не исключающий комбинирования с альтернативным способом. Например, в пределах относительно монотонных водораздельных поверхностей приоритетен традиционный способ оконтуривания выделов с геометрическими границами в соответствии с возрастом и составом древостоя, что в свою очередь определено расположением лесосек разного времени. Однако при этом необходимо идентифицировать криволинейные выдела, обусловленные расположением водосборных понижений, которые присутствуют практически на каждой плоской водораздельной поверхности. Также криволинейными могут быть границы отдельных выделов, связанных с выявленными местообитаниями жизнеспособных популяций редких и охраняемых видов растений и животных. В зависимости от степени дробности ландшафтной структуры (опять же связанной со степенью расчлененности рельефа) в разных зонах рекомендовано или не рекомендовано уменьшение размеров выделов.

LANDSCAPE SPATIAL PATTERN AS A CONDITION FOR FOREST USE PLANNING

A.V.KHOROSHEV

Moscow Lomonosov State University, Faculty of Geography

We propose a framework for landscape-ecological zoning at the level of forest districts aimed at multifunctional forest use. We demonstrate opportunities of landscape spatial pattern analysis at several hierarchical levels on the example of the Kologriv forest district in the Kostroma region.

К ХАРАКТЕРИСТИКЕ РАСТИТЕЛЬНОСТИ ДОЛИНЫ Р. АМАЛАТ (ВИТИМСКОЕ ПЛОСКОГОРЬЕ)

М.Г. ЦЫРЕНОВА, Е.М. ПЫЖИКОВА

Бурятский госуниверситет

В тексте рассматривается пространственная структура нарушенной растительности ключевого участка бассейна р. Амалат, окрестности п. Маловский, Баунтовского района республики Бурятия. Авторами выявлено разнообразие флоры и растительности, с применением геоинформационных технологий, разработаны геоботаническая карта и карта антропогенной нарушенности ключевого участка (масштаб 1:50000).

Витимское плоскогорье – один из интереснейших объектов северо-восточной части республики с долинно-сопочно-увалистым рельефом и характерным чередованием сравнительно невысоких хребтов-увалов (абс. высота 1200-1300м) и межгорных понижений (абс. высота 800-900м).

Цель работы заключалась в изучении современного состояния растительного покрова на ключевом участке бассейна реки Амалат (окрестности с. Маловский и с. Багдарин) как исторической территории родовых охотничьих и отгонно-пастбищных территорий баунтовских оленных эвенков (ороченов) родов Чильчигир, Киндигир, частично Туруягир, Малюкчэн, Эгдэрэн, сохранившим свою культуру в полной мере, поскольку остальные эвенкийские группы в Бурятии оставили оленеводство не так давно в силу объективных причин (Козулин). Самобытная культура хотя и формировалась на основе отсталых экстенсивных форм хозяйствования, но, как показывает время, в экстремальных природно-климатических условиях это наиболее оптимально для функционирования экосистемы «природа-человек-производство-этноэкологические традиции» (Савинов, 2007). Район исследования также интересен тем, что в течение довольно большого отрезка времени, более 150 лет, испытывал интенсивное антропогенное воздействие, выражающееся в промышленной разработке золота.

Десятилетия экстенсивного развития промышленности в регионе привели к глубокому экологическому кризису в природопользовании вообще, и в землепользовании, в частности. На месте уничтоженного почвенного покрова созданы, так называемые, «техногенные» ландшафты, значительная часть которых в течение многих десятилетий по различным причинам сохраняет облик техногенной пустыни. Особенностью таких техногенных ландшафтов является предельная степень нарушенности экосистем, крайнее замедление почвенно-восстановительных процессов и восстановления растительного покрова (Тайсаев, 2007). В настоящее время в районе исследования эвенкийские поселения отсутствуют, флора и фауна испытывают пресс антропогенной деятельности развивающейся золоторудной промышленности. Большую часть долинных территорий занимают промышленные отвалы, небольшую часть местное население использует под покосы и выпас личного скота, преимущественно КРС.

Авторы выявили разнообразие флоры и растительности и, с применением геоинформационных технологий, разработали геоботаническую карту и карту

антропогенной нарушенности ключевого участка (рис.1) (масштаб 1:50000). Площадь участка составляет около 10 км², по исследуемой территории протекают река Амалат и его притоки, реки: Ауник, Багдаринка и Гулинга.

Антропогенная растительность отличается спецификой хозяйственной деятельности района, в связи с суровыми климатическими условиями в районе исследования отсутствуют пахотные земли, что предопределяет слабое развитие сеgetальной растительности.

Сорная растительность встречается небольшими участками у охотничьих зимовий, летних сараев на сенокосах, бывших стоянок ГРП. В основном это луговая растительность, значительное участие в которой приобретают виды *Hordeum brevisubulatum*, *Potentilla anserina*, *Artemisia vulgaris*, *Plantago depressa*, *Urtica cannabina*, в окрестностях п. Маловск (левобережье р. Ауник) единожды отмечены *Convolvulus arvensis* и *Ametystea coerulea*.

Полное нарушение природных долинных ландшафтов наблюдалось на участках длительного использования дражной техники (долины рек Ауник, Багдаринка). Частичное нарушение отмечалось на полигонах, где россыпные месторождения поступили в эксплуатацию сравнительно недавно или с использованием только промприборов (ГМУ) (долина р. Гулинга).

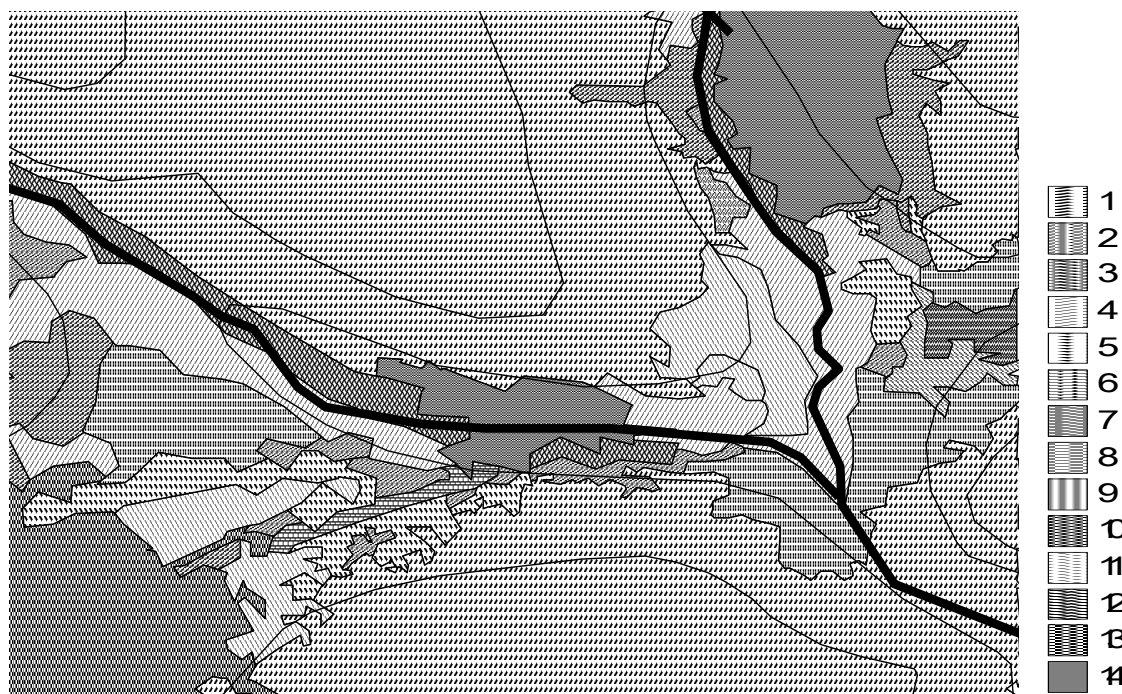


Рис. 1. Карта антропогенной нарушенности растительного покрова ключевого участка бассейна реки Амалат, в окрестностях п. Маловский (масштаб карты: в 1: 500).

Легенда к карте растительности ключевого участка

Естественная растительность

Леса

1. Лиственничник рододендровый на склонах и вершинах (*Larix gmelinii*, *Rhododendron dauricum*, *Duschekia fruticosa*, *Ledum palustre*, *Vaccinium uliginosum*, *V. vitis-idaea*, *Artemisia tanacetifolia*, *Lathyrus humilis*, *Majanthemum bifolium*).

Болота

2. Болото разнотравное (*Carex vesicata*, *C. limosa*, *C. meyeriana*, *C. appendiculata*, *Eriophorum vaginatum*).

Нарушенная растительность

Леса

3. Лиственничник зеленомошно-ерниковый (*Larix gmelinii*, *Betula fruticosa* subsp. *montana*, *B. Divaricata*, *Ledum palustre*), на отвалах 30-летней и более давности.

Луга

4. Луга заболоченные, частично закоркаренные (*Eriophorum polystachion*, *E. medium*, *E. vaginatum*, *Carex schmidtii*, *C. minuta*, *C. appendiculata*) на отвалах 10-15 летней давности.

5. Луга вейниковые (*Calamagrostis langsdorfii*, *C. purpurea*, *Carex appendiculata*, *C. schmidtii*, *Eriophorum polystachion*) на отвалах 10-15 летней давности.

6. Разнотравные луга с включениями ивовых растительных группировок (*Sanguisorba tenuiflora*, *Allium maximoviczii*, *Bistorta vivipara*, *Salix kochiana*, *S. taraikensis*) на отвалах 10-15 летней давности.

Кустарниковые сообщества

7. Ерники кустарничковые (*Betula fruticosa* subsp. *montana*, *Salix divaricata*, *Vaccinium uliginosum*) на отвалах 15-20 летней давности.

8. Ивняки заболоченные (*Salix rosmarinifolia*, *Salix kochiana*, *S. taraikensis*, *Carex appendiculata*, *C. schmidtii*, *S. myrtilloides*, *Eriophorum vaginatum*) на отвалах 15-20 летней давности.

9. Чозенники (*Chosenia arbutifolia*, *Ribes triste*, *Rosa acicularis*, *Chamaenerion angustifolium*, *Calamagrostis langsdorffii*, *Poa pratensis*, *Agrostis kudoii*) на отвалах 20-30-летней давности.

Антропогенные сообщества

10. Сообщества на самозарастающих нерекультивированных отвалах 20 – летней давности (*Chosenia arbutifolia*, *Ribes triste*, *Rosa acicularis*, в травянистом ярусе *Chamaenerion angustifolium*, *Calamagrostis langsdorffii*, *Poa pratensis*, *Agrostis kudoii*).

11. Сообщества на отвалах 1-3-летней давности (*Chamaenerion angustifolium*, *Neotorularia humilis*, *Alopecurus aequalis*, *Draba nemorosa*, *Plantago depressa*).

12. Отвалы годичные (растительность отсутствует).

13. Сенокосные угодья (продискованные поля).

14. Населенные пункты на насыпных галечниковых отвалах.

Рекультивированные отвалы имеются в нижнем течении р.Багдаринка, где горно-техническая рекультивация (разравнивание отвалов) была проведена более 30 лет назад. За этот период естественные экосистемы восстановлены и представлены светлохвойными редкопокровными лесами из *Larix gmelinii*.

На самозарастающих нерекультивированных отвалах 20-летней давности (долина р.Ауник) экосистемы представлены, в основном, чозенниками с *Chosenia arbutifolia*. В районе исследования отвалы являются аналогом естественного местообитания данного вида – песчано-галечникового аллювия низких пойм горных рек. Чозенники являются пионерными сериальными сообществами. Наиболее распространены редкопокровные и злаковые чозениевые рощи.

Отвалы 15-летней давности (долина р.Ауник) характеризуются восстановлением растительного покрова из ив: *Salix rorida*, *S. schwerinii*, *Populus suaveolens*, *Chosenia arbutifolia*, местами появляется молодая поросль *Larix gmelinii*.

В долинной части, на отвалах 10-15 летней давности распространены луговые сообщества с различными доминантами, которые используются местным населением под выпас и заготовки кормов на зимний период.

На отвалах 3-летней давности растительный покров носит фрагментарный характер. Важной особенностью является буйство рудеральной растительности из *Artemisia vulgaris*, *Erysimum cheiranthoides*, *Urtica angustifolia*, *Chenopodium album*.

На отвалах годичной давности (долина р.Гулинга) сообщества образует *Chamaenerion angustifolium*, *Neotorularia humilis*, *Alopecurus aequalis*, *Draba nemorosa*, *Plantago depressa*, отмечены проростки *Artemisia vulgaris*, *A. commutata*. Свежие отвалы совершенно лишены растительности, иногда на них появляются однолетники.

В связи с труднодоступностью района одним из основных видов транспорта являются вездеходы. В оставшихся от них колеях активизируются эрозионные процессы. Поселяются *Juncus bufonius*, *J. leucochlamys*, *Agrostis clavata*, *Becmannia syzigachne*, *Poa subfastigiata*, *Eleocharis acicularis*, *Persicaria hudsoniana*, *Polygonum aviculare* и др.

Интересными являются некоторые флористические находки на техногенных отвалах. Так в долине р.Ауник, в окрестностях п.Маловский были найдены ценопопуляции *Hippophae rhamnoides* (в зарослях *Salix rorida*), *Ephedra monosperma* (в транзитной части отвала южной экспозиции, подверженной пастбищной дигрессии), *Woodsia ilvensis* (в аккумулятивной части отвала северной экспозиции).

Таким образом, дальнейшие более детальные исследования позволят выявить закономерности формирования растительных сообществ при зарастании техногенных отвалов, сингенетические сукцессии и стратегии освоения территории отдельными видами.

Работа была выполнена при поддержке гранта РГНФ – 20011 № 11-06-12043в

ЛИТЕРАТУРА

1. Козулин В.Н. *Баунт* (прошлое и настоящее). – п. Багдарин Баунтовс. Р-на Бурятской ССР: типография газеты «Витимские зори». – 70 с.
2. Савинов Д.Д. Об историческом опыте рационального использования природных ресурсов народом саха// Современные проблемы этноэкологии и традиционного природопользования. Материалы Всероссийской науч.-практ. конференции. – Улан-Удэ: изд-во БГУ, 2007. – С. 27-28.
3. Тайсаев Т.Т. Самоорганизация мерзлотных ландшафтов и этноэкологические основы традиционного природопользования таяжскими номадами //Современные проблемы этноэкологии и традиционного природопользования. Материалы Всероссийской науч.-практ. конференции. – Улан-Удэ: изд-во БГУ, 2007. – С.74-78.

THE CHARACTERISTIC OF VEGETATION OF VALLY OF AMALAT RIVER (VITIM PLATEAU)

M.G.TSYRENOVA, E.M. PYJICOVA

Buryat state university, department of botany

In article it is given the spatial structure of disturbed vegetation of the key site of vally of Amalat river (Vitim plateau), by using geoinformation technologies were developed geobotanic map and map of disturbed vegetation (M 1: 50000).

ТИПОЛОГИЧЕСКОЕ РАЗНООБРАЗИЕ ЛЕСНОГО ПОКРОВА МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ НА ОСНОВЕ НАЗЕМНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ, ДИСТАНЦИОННОЙ ИНФОРМАЦИИ И СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ

Т.В. ЧЕРНЕНЬКОВА¹, М.Ю. ПУЗАЧЕНКО², Н.Е. КОРОЛЕВА³, Е.В. БАСОВА¹

¹ Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН

² Институт географии РАН

³ Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н.А. Аврорина

Представлены результаты оценки типологического разнообразия растительного покрова центральной части Кольского полуострова. Описаны основные этапы отображения пространственной вариабельности растительного покрова на основе совместного статистического анализа мультиспектральных данных дистанционного зондирования, цифровой модели рельефа и данных наземных геоботанических исследований, результатом которого является карта растительности м 1:100 000.

Отражение закономерностей пространственно-временной структуры растительного покрова является актуальной задачей исследований в биогеографии. Центральная часть Мурманской области - одна из модельных территорий, где реализована методика построения карты растительного покрова с использованием совмещения наземных и дистанционных данных.

Для Мурманской области существуют несколько опубликованных и относительно современных геоботанических карт в крупном и среднем масштабе, они охватывают лишь наиболее освоенные территории в центре области – это карта растительности восточной части Лапландского заповедника 1: 50 000 (под ред. В.Ю. Нешатаева, 2008), карта повреждений растительности в зоне воздействия комбината «Североникель» 1:250000 (Кравцова и др., 1999), карта растительности 1: 50 000 участка в северной лесотундровой части области (Лошкарева, 2012). Кроме того, к настоящему времени в области выполнено значительное количество геоботанических работ, имеющих большую ценность для изучения растительности. Однако для целей классификации и картографирования прямое их использование затруднено по ряду причин: отсутствия первичных данных - геоботанических описаний или сводных таблиц; отсутствия точных координат, использования различных

методов описания, неполная представленность всего разнообразия типов сообществ, а также неполнота охвата всех компонентов растительных сообществ.

Целью исследования является создание среднемасштабной карты актуальной растительности, отображающей основное типологическое разнообразие с учетом ландшафтного строения территории. Область исследования охватывает большую часть бассейна оз. Имандра и включает территорию Лапландского заповедника, горный массив Волчьих тундр, Мончетундр, Хибин и межгорную котловину с расположенным в ней горно-металлургическим производством (ГМК). Оцениваемая площадь модельной территории - около 9000 км² (рис. 1).

Последовательность основных этапов работы включает:

- 1) сбор данных в ходе наземных исследований;
- 2) разработку иерархической классификации растительных сообществ на основе результатов наземных исследований;
- 3) подготовку мозаик цифровых снимков и создание цифровой модели рельефа (ЦМР);
- 4) осуществление интерполяции классов растительных сообществ пошаговым дискриминантным анализом на основе МДДЗ и ЦМР;
- 5) построение карты растительного покрова на основе интерполированных классов растительных сообществ.

Полевые геоботанические описания (n=361) выполнены в период 2005-2011 гг. по стандартной методике на пробных площадях (20x20 м) с использованием GPS позиционирования. Предварительный выбор положения точек описаний в основных типах растительных комплексов проведен на основе визуального и количественного (автоматическая классификация) анализа ДДЗ, цифровой модели рельефа (ЦМР) и лесотаксационных данных, предшествующего полевым исследованиям.

Разработка классификации растительности как основы легенды геоботанической карты является важным условием не только построения наиболее адекватной модели растительного покрова конкретной территории, но и более полного познания закономерностей его пространственно-временной структуры. Отражение этих закономерностей - существенная задача картографирования растительного покрова.

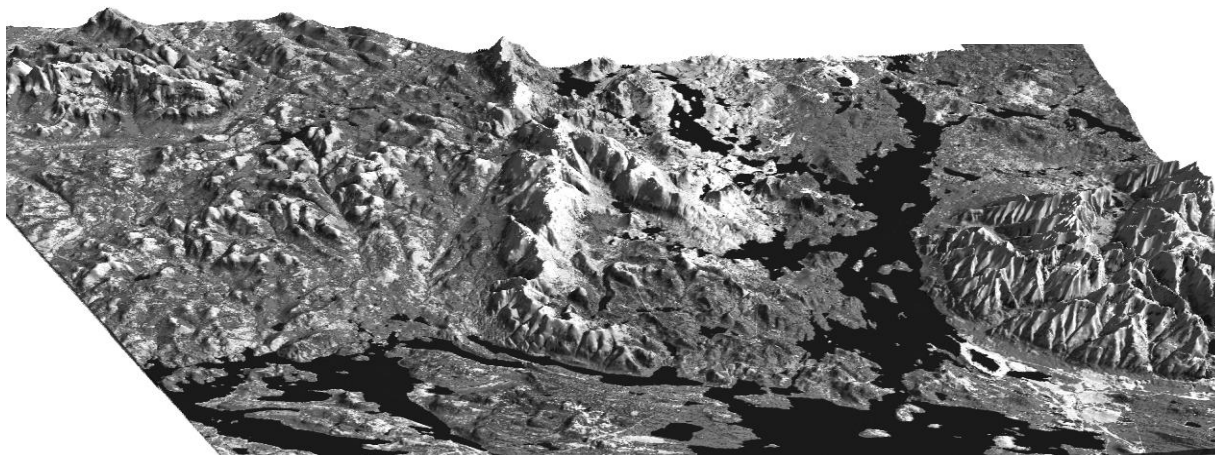


Рис. 1. 3-D модель региона исследований, построенная на основе ЦМР и мозаики снимков Landsat

В результате анализа полученных в ходе геоботанических описаний данных выполнена эколого-доминантная классификация, учитывающая структуру и состав фитоценозов, а также количественные соотношения компонентов сообществ (доминантов, содоминантов, экологических групп видов, ярусов). Основной классификационной единицей являлась *группа ассоциаций*, объединяющая фитоценозы одной формации с общей группой коллективных доминантов нижних ярусов, включающей виды определенных функциональных эколого-ценотических групп, в сходных условиях местообитаний.

Синтаксоны среднего ранга (*классы ассоциаций*) выделялись по доминирующей группе видов эдификаторных синузий верхнего (древесного) и наземного яруса, имеющих средообразующее значение и сохраняющих доминирующий статус при всех сочетаниях видов остальных ярусов. Синтаксоны высшего ранга – *формации* – выделяли по доминирующему виду или видам древесных растений, *типы растительности* – по господствующей экобиоморфе. При характеристике организации сообществ выявляли не только доминирующие и диагностические виды, но полный видовой состав, в том числе мохообразных и лишайников. На верхнем уровне выделены следующие типы растительности с учетом антропогенно-нарушенных вариантов в окрестностях ГМК:

I. Нивально-гольцовый пояс

1. Снежники

2. Гольцы (выходы коренных пород, россыпи щебнистого, каменистого, крупноглыбистого элювия с фрагментами растительного покрова не более 10%)

II. Тундровый пояс

3. Разреженная тундровая растительность (менее 30%) пологих склонов, плато, плоских вершин, гребней

4. Сомкнутая (более 30%) тундровая растительность на вершинах и склонах гор на маломощных автоморфных хорошо и умеренно дренированных почвах

5. Сообщества из травянистых мезофитов и психрофитов в ложбинах и депрессиях в горно-тундровом поясе

6. Луговая растительность в долинах ручьев и на влажных пологих склонах

III. Пояс березовых криволесий и редколесий

7. Березовые криволесья и редколесья (*Betula pubescens* ssp. *czerepanovi*) с отдельными елями (*Picea obovata*) и соснами (*Pinus sylvestris*)

IV. Северотаежные темнохвойные леса

8. Еловые леса (*Picea obovata*) с участием сосны (*Pinus sylvestris*) и березы (*Betula pubescens*)

V. Северотаежные светлохвойные леса и их производные типы

9. Сосновые леса (*Pinus sylvestris*) с участием березы (*Betula pubescens*)

VI. Северотаежные мелколиственные леса

10. Березовые леса (*Betula pubescens*) с участием ели (*Picea obovata*) и сосны (*Pinus sylvestris*)

11. Осиновые леса (*Populus tremula*)

VII. Болота

VIII. Антропогенно-преобразованные территории

IX. Водные объекты

На нижнем уровне классификации разнообразие растительности региона представлено 55 типологическими единицами, в составе которых выделены основные типы зональных тундровых, лесотундровых, лесных и болотных сообществ, а также их производные варианты с учетом ландшафтных особенностей территории.

Для оценки современного состояния растительного покрова применен подход, интегрирующий наземную и дистанционную информацию. **Использованы разносезонные МДДЗ** систем Landsat, регистрирующие состояния наземного покрова (биомасса, продуктивность, температура, влажность и др.) в величинах отраженного коротковолнового, средневолнового и собственного длинноволнового излучения. Подготовка цифровых снимков заключалась в создании их мозаик за май, июнь, июль, август и сентябрь с гистограммным выравниваем яркостей спектральных каналов. Минимальная площадь объекта картографирования, определяемая размером используемого в анализе пикселя, в соответствии с масштабом исследований составила 60 м.

Использование функций **цифрового моделирования рельефа** является важным для решения сопряженного анализа пространственного распределения показателей и

характеристик природных сообществ, типов лесных экосистем в зависимости от морфометрических показателей рельефа. ЦМР позволяет рассчитать характеристики для различных уровней организации рельефа (крутизна и форма поверхности, расстояние от локального водораздела, освещенность или экспозиция), отражающие разномасштабное перераспределение воды и солнечной радиации на земной поверхности. Индикационные морфометрические характеристики ЦМР обеспечивают основу для интерполяции показателей точечных полевых описаний на всю исследуемую территорию.

Осуществление **интерполяции классов растительных сообществ**, выделенных на основе характеристик биосистем, измеренных в процессе наземных исследований («обучающая выборка»), проводилась путем их сопоставления с МДДЗ и производными индексами, а также с ЦМР и ее производными характеристиками («внешние» переменные). В основе количественной реализации такого подхода лежит пошаговый дискриминантный анализ (Электронный учебник ..., 2001; Пузаченко, 2004, 2009). Суть метода заключается в подборе взаимно независимых линейных комбинаций «внешних» переменных (дискриминантных осей), в наибольшей степени разделяющих оцениваемые в ходе наземных исследований классы растительных сообществ. Наличие статистически значимых взаимосвязей между ними и «внешними» переменными позволяет провести интерполяцию исследуемых классов для всей модельной территории. Относительное качество дискриминации определяется как доля верно определенных моделью классов от исходно заданных. Взаимно независимые оси дискриминантного анализа задают непрерывное отображение дифференциации территории относительно выделенных классов растительных сообществ через характеристики ЦМР и МДДЗ. Связь дискриминантных осей с характеристиками МДДЗ, ЦМР, полевых описаний и других источников информации позволяет интерпретировать отображаемое ими пространственное варьирование с точки зрения процессов и факторов, определяющих наблюдаемую пространственную дифференциацию. В результате изменение вклада и/или исключение дискриминантных осей дает возможность моделировать пространственную дифференциацию анализируемых классов растительности в зависимости от прогнозируемых изменений соответствующих им процессов и факторов.

Заключительным этапом является **построение карты растительного покрова** на основе перевода результатов интерполяции классов в векторный формат с фильтрацией объектов площадью в один пиксель и оформлением легенды. Сопоставление выделенных нами классификационных единиц продемонстрировало сходство с тематическими классами карты растительности Лапландского заповедника (2008).

В результате работы выявлены эколого-ценотические закономерности пространственной организации растительного покрова центральной части Кольского полуострова, разработана классификация растительности как основы легенды геоботанической карты и создана сама карта актуального состояния растительного покрова территории с использованием независимых источников пространственных данных. Наличие данной карты и обширная библиография по растительности области «доиндустриального» периода, а также имеющиеся картографические материалы дают возможность ретроспективного анализа динамики растительности почти на вековом временном отрезке и планирования экологического мониторинга для территории Лапландского заповедника, горного массива Хибин, а также окрестностей ГМК.

ЛИТЕРАТУРА

1. Карта растительности Лапландского государственного заповедника. Восточная часть. 1: 50 000 (Отв. ред. В.Ю.Нешатаев, 2008).
2. *Кравцова В.И., Рессле А.И., Тутубалина О.В.* Повреждение растительности в зоне воздействия комбината «Североникель» // Экологический атлас Мурманской области. Москва-Апатиты: ИППЭС КНЦ РАН, Географический факультет МГУ, 1999.
3. *Лошкарева А.Р.* Исследование и картографирование современного состояния и динамики северной растительности на примере Кольского полуострова на основе космических снимков // Магистерская

- диссертация. МГУ им. М.В. Ломоносова, географический ф-т, каф. картографии и геоинформатики. Москва, 2012.
4. Пузаченко Ю.Г. Математические методы в экологических и географических исследованиях. М.: ACADEMA, 2004. 416 с.
5. Пузаченко М.Ю. Оценка состояния лесов на основе полевой и дистанционной информации на примере юго-запада Валдайской возвышенности // Лесные ресурсы таежной зоны России: проблемы лесопользования и лесовосстановления. Мат. Всероссийской науч. конф. (с международным участием). Петрозаводск: КарНЦ РАН. 2009. С. 79–81.
6. Электронный учебник по статистике. М.: StatSoft, Inc., 2001. <http://www.statsoft.ru/home/textbook/default.htm>.

FOREST ECOSYSTEMS DIVERSITY OF THE MUSMANSK REGION BASED ON FIELD RESEARCH, REMOTE SENSING DATA AND STATISTICAL METHODS

T.V.CHERNENKOVA¹, M.JU.PUZACHENKO², N.E.KOROLEVA³, E.V.BASOVA¹

¹Center for forest ecology and productivity RAS

²Institute of geography RAS

³Polar-Alpine Botanical Garden-Institute of Kola Science Center RAS

The results of typology diversity assessment of vegetation of the central part of Kola Peninsula are given. The main steps of modeling cartography which include the common statistical analysis of multispectral remote sensed data (MRSD), digital elevation model (DEM) and field researches are presented. The map of vegetation characterized the greatest part of the Lapland nature reserve, the territory of the Khibiny mountainous, as well as polluted area near metallurgical plant (1:100 000) is the result of the classification and analysis biodiversity investigated area.

КАРТА ПОЖАРОВ ВОРОНЕЖСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ПРИРОДНОГО БИОСФЕРНОГО ЗАПОВЕДНИКА

М.П. ШАШКОВ¹, Е.А. СТАРОДУБЦЕВА², Н.В. ИВАНОВА³

¹ Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН

² Воронежский государственный природный биосферный заповедник

³ Институт математических проблем биологии РАН

Создана векторная карта пожаров, случившихся на территории Воронежского заповедника с 1936 по 2011 гг. Вычислены площади гарей, выявлены наиболее пожароопасные участки. Всего за историю наблюдений зафиксировано 750 возгораний, огнем пройдено почти 2000 га. Точно локализованы 59 пожаров, общей площадью 1278 га.

Вступление. Пожары - один из наиболее разрушительных факторов воздействия на природу. Лесные пожары вызывают катастрофические изменения всех компонентов лесного биогеоценоза: в зависимости от интенсивности пожара затрагиваются и повреждаются древесно-кустарниковый ярус (вплоть до полного выпадения), напочвенный покров, животное население, выгорает углерод биомассы и органических горизонтов почвы. Таким образом, пожары коренным образом изменяют характер сукцессионных процессов (Бобровский, 2004, Чертов, 2012).

В связи с этим, с одной стороны, актуальна проблема мониторинга лесных пожаров, а, с другой - изучение направленности и результатов послепожарных сукцессий.

К настоящему времени существует несколько систем мониторинга лесных пожаров, направленных на оперативное выявление очагов возгораний с помощью данных дистанционного зондирования Земли (Ярошенко, 2012). Кроме того, в отечественной

практике широко применяется технология оценки пожароопасности по условиям погоды на основе данных метеостанций (Сухинин, 2006).

Для изучения послепожарных сукцессий большой интерес представляют долговременные ряды данных и картографические материалы по гарям разных лет. Такие сведения фиксируются на заповедных территориях России в рамках выполнения мониторинговых исследований по программе Летописи природы.

В Воронежском государственном заповеднике роль пожаров в формировании растительного покрова территории изучается на протяжении нескольких лет. Сформирован массив данных по пожарам, проанализированы многолетние данные о возгораниях (их причины, площади, приуроченность к типам леса и типам условий местопроизрастания), описаны различные стадии послепожарных сукцессий (Стародубцева, 2004, 2005). Выявлено, что в настоящее время пожары играют значительную роль в поддержании биологического разнообразия заповедной территории (Стародубцева и др., 2012).

Цель данной работы - создание геоинформационной системы (ГИС) на основе данных о пожарах на территории Воронежского заповедника.

Воронежский заповедник организован в 1923 г. в северной половине крупного островного лесного массива лесостепи – Усманского бора, расположенного на границе Липецкой и Воронежской областей. Близость населенных пунктов, участок Юго-Восточной железной дороги между станциями Усмань и Графская, пересекающий территорию заповедника с севера на юг, а также большая доля старовозрастных сосновых лесов определяют высокую пожароопасность этой территории.

Материал и методы. Для создания электронной карты использованы следующие источники данных: границы пожарищ и точечные очаги возгораний, нанесенные на планшеты, данные Летописи природы заповедника, а также контуры гарей, полученные с помощью GPS-навигатора. Имеющиеся данные охватывают временной промежуток с 1936 по 2011 гг. Отметим, что для 1939-40, 1952-54 годов данные о пожарах отсутствовали.

В качестве ГИС выбрана открытая QuantumGIS 1.8.2 (Quantum ..., 2013). Бумажные планшеты были отсканированы, полученные растровые изображения привязаны по векторному слою квартальной сети, контуры пожаров векторизованы. Система координат ГИС на основе равновеликой конической проекции Альберса. Топографические элементы (дороги и населенные пункты) взяты из открытого проекта OSM (OpenStreetMap ..., 2013).

Результаты. В результате оцифровки растровых изображений и анализа данных Летописи природы были созданы два векторных слоя:

1. Полигональный слой для контуров пожаров на основе данных планшетов и контуров GPS-навигатора. В качестве атрибутивной информации указывались: дата пожара, номер квартала, выдел, источник данных, тип пожара, число случаев, площадь возгорания, указанная в источнике данных. В данном слое не соблюдаются правила топологии, т.к. площади пожаров разных лет перекрываются, а некоторые территории выгорали за период наблюдений неоднократно.
2. Квартальная сеть (полигональный слой), в атрибутивной таблице которой содержатся данные из Летописи природы о числе возгораний в каждом квартале, датах пожаров, а также площади возгораний отдельно для каждого квартала.

На основе анализа векторных слоев и атрибутивных данных была вычислена общая площадь, пройденная огнем с 1936 по 2010 гг., которая составила почти 2000 га. Всего зафиксировано около 750 возгораний, подавляющее большинство которых перешли в низовой пожар, верховых пожаров зафиксировано 3, общей площадью 35 га.

Чаще всего пожары фиксировались в 1937 (46 случаев), 1972 (37 случаев), 2002 (42 случая) и в 2010 годах (42 случая) годах. Максимумы количества пожаров совпадают с максимумами площадей, пройденных пожарами. В 1956-58, 1980-1985, 1987, 2004-05 годах пожаров на территории заповедника не зафиксировано (рис. 1). Точно территориально локализовано 59 пожаров общей площадью 1278 га (большая часть площади, пройденной пожарами за всю историю наблюдений).

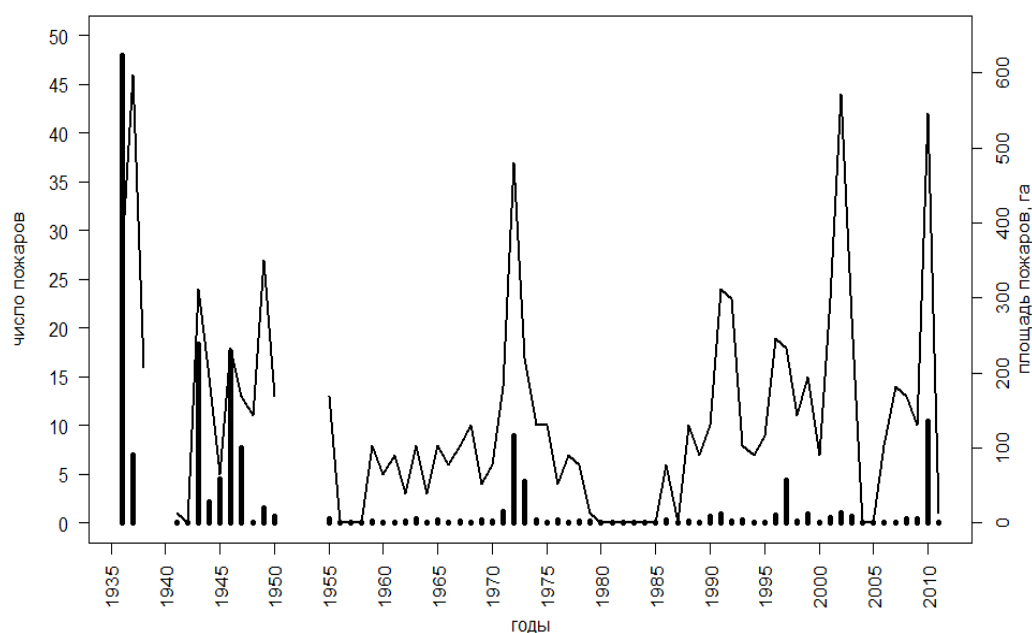


Рис. 1. Многолетняя динамика пожаров на территории Воронежского заповедника (линией обозначено число пожаров, столбиками – площади)

Карта пожаров (рис. 2) показывает, что горевшие участки на территории заповедника локализованы неравномерно.

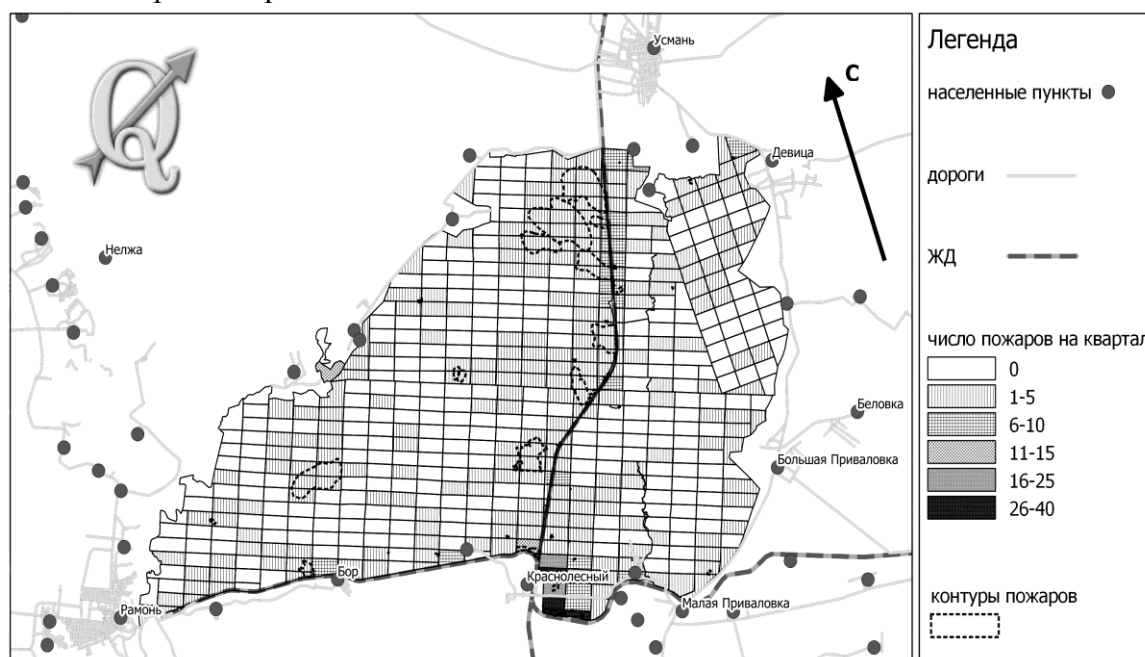


Рис. 2. Карта-схема пожаров на территории Воронежского заповедника

Наиболее пожароопасные участки находятся вблизи поселка Краснолесный (станция Графская). Также пожароопасным является коридор вдоль железной дороги, при этом, возникающие вблизи нее возгорания могут распространяться на большие площади вглубь лесного массива. В 95% случаев горят сосновые леса, на долю осинников приходится 2,5%, дубняков – 1,6%, березняков – 0,8% от общего количества пожаров. Практически все пожары на территории заповедника антропогенного происхождения (Стародубцева, 2004). В ландшафтном отношении большая часть пожаров, а также наиболее крупные по площади горельники приурочены к четвертой надпойменной террасе р. Воронеж. Эта территория является водоразделом рек Усмань и Воронеж, она характеризуется наиболее высокими отметками над уровнем моря. Поверхность водораздела рек Воронеж-Усмань волнистая,

сложенная бугристыми песками. В фитоценоотическом отношении преобладают сосновые и березовые леса, в меньшей степени представлены дубняки и осинники; в западинах между песчаными буграми образовались болота. Значительные колебания влажности поверхностных почвенных слоев, свойственные водоразделу, приводят к тому, что в засушливые годы на этой территории создаются благоприятные условия для распространения пожаров.

Обобщенные в рамках разработанной ГИС данные являются основой для дальнейшего мониторинга пожаров на территории Воронежского заповедника и постановки проблемных исследований по влиянию пожаров не только на растительный покров, но и на другие компоненты экосистем охраняемого природного комплекса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бобровский М.В. Лесные почвы: биотические и антропогенные факторы их формирования // Восточно-Европейские леса / Под ред. О.В. Смирновой. Кн. 1. М.: Наука, 2004. С. 381–427.
2. Стародубцева Е.А. Роль пирогенного фактора в формировании растительного покрова Воронежского биосферного заповедника // Актуальные проблемы управления заповедниками в Европейской части России: Материалы юбилейной научно-практической конференции. – Воронеж, 2004. – с. 148-150.
3. Стародубцева Е.А. Лесные пожары в Воронежском заповеднике // Состояние особо охраняемых природных территорий Европейской части России: Сборник научных статей, посвященный 70-летию Хоперского заповедника (пос. Варварино, Воронежская область, 20-23 сентября 2005 г.). – Воронеж: Изд-во Воронеж. ун-та, 2005. – С. 530-535.
4. Стародубцева Е.А., Ханина Л.Г., Смирнов В.Э. Динамика растительного покрова Воронежского заповедника с учетом ландшафтной структуры территории // Сборник статей и лекций IV Всероссийской школы-конференции «Актуальные проблемы геоботаники» (1-7 октября 2012 г.). – Уфа, 2012. – С. 308-313.
5. Сухинин А.И., Макрей Д.Дж., Пономарев Е.И. Геоинформационная система оценки, картирования и прогноза пожароопасного состояния лесов на основе спутникового мониторинга // ИНТЭРЭКСПО ГЕО-СИБИРЬ №2-2, 2006, с. 239-246 Чертов О.Г. и др.
6. Имитационное моделирование влияния лесных пожаров на пулы углерода в хвойных лесах Европейской России и Центральной Канады // Лесоведение, №2 2012, с. 3-10
7. Ярошенко А.Ю. О дистанционном мониторинге природных пожаров в Российской Федерации // Земля из космоса: наиболее эффективные решения. №11 2001, с. 45-53
8. QuantumGis ver.1.8.2 Open Source Geographic Information System. URL: <http://www.qgis.org/> (accessed March 2013)
9. OpenStreetMap Свободная вики-карта мира URL: <http://www.openstreetmap.org/> (accessed March 2013)

THE FIRES MAP OF THE STATE NATURAL BIOSPHERE RESERVE «VORONEZHSKY»

M.P. SHASHKOV¹, E.A. STARODUBTZEVA², N.V. IVANOVA³

¹Institute of Physicochemical and Biological Problems in Soil Science RAS

²State Natural Biosphere Reserve «Voronezhsky»

³Institute of Mathematical Problems of Biology RAS

The vector map of fires that occurred in the territory of the Voronezh Reserve from 1936 to 2011 was developed.

Areas of burnt-out was calculated, the most fire risk areas was detected. 750 fires was recorded, the fire covered is about 2000 hectares. 59 fires were georeferenced, with a total area 1278 hectares.

КОНТРОЛЬ ДИНАМИКИ КРУПНЫХ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ, ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ И СВОЕВРЕМЕННОСТИ ИХ ОБНАРУЖЕНИЯ И ТУШЕНИЯ

П.П. ШУЛЯК, Г.Н. КОРОВИН, Д.В. ЕРШОВ

Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН

В докладе приводится методика оценки своевременности обнаружения и эффективности тушения крупных лесных пожаров на основе комплексного анализа их динамики, данных метеонаблюдений и задействованных на пожаре ресурсов. Реализация методики была выполнена с использованием ГИС-приложения ARCGIS, позволяющего анализировать динамику каждого пожара по мере его развития, отображая результаты анализа в табличной, графической (диаграммной) и картографической форме.

Информационная система дистанционного мониторинга лесных пожаров (ИСДМ) в качестве информационной системы эксплуатируется в ФГУ «Авиалесоохрана» Федерального агентства лесного хозяйства (Рослесхоз) с 2005 года.

Различные этапы и аспекты функционирования системы неоднократно освещалась в работах и на конференциях различного уровня (Коровин и др., 2004; Барталев и др., 2008; Лупян и др., 2011). Одно из направлений связано с использованием ГИС-анализа для повышения эффективности принятия управленческих решений (Ершов и др., 2010). В частности, до последнего времени недостаточно проработанными оставались задачи, связанные с контролем динамики крупных лесных пожаров, оценкой эффективности и своевременности их обнаружения и принятых мер по их тушению. Этой проблеме посвящена настоящая работа.

Методические основы разработаны чл.-корр. РАН Георгием Николаевичем Коровиным в рамках проектов по развитию системы мониторинга лесных пожаров (Отчет 2010 г.). Основная задача формулируется как выявление причин перехода лесных пожаров в категорию крупных и их неконтролируемого распространения на больших территориях. Как следствие, здесь же решается задача оценки эффективности и своевременности обнаружения пожаров и принимаемых мер по борьбе с огнем.

Анализ динамики крупных лесных пожаров и принимаемых мер по их ликвидации проводится на трех уровнях: местном (в границах лесничеств, муниципальных образований); региональном (в границах субъектов Российской Федерации) и национальном (в границах Российской Федерации). Он проводится с учетом зонирования территории страны по доминирующим видам мониторинга лесных пожаров – наземного, авиационного, космического 1-го и 2-го уровня.

Очевидно, что в зонах космического мониторинга 2-го уровня, где лесные пожары не регистрируются субъектами РФ, основной причиной перехода лесных пожаров в категорию крупных и неконтролируемого распространения является отсутствие каких-либо мероприятий по борьбе с огнем. Здесь приходится лишь констатировать существующее положение вещей, а именно, формировать отчетность в виде распределения крупных пожаров по длительности их распространения и величине пройденной огнем площади.

Для остальных зон проводится полноценный ГИС-анализ, базирующийся на данных отчетности субъектов Российской Федерации, результатах дистанционного мониторинга, и данных о погодных условиях. Он проводится раздельно по данным спутниковых наблюдений и ежедневной отчетности субъектов РФ по крупным пожарам, с учетом дополненной информации о принятых мерах по борьбе с огнем и заключается в построении и анализе временных рядов площадей этих пожаров, погодных условий в районах их действия, и задействованных на тушении ресурсов.

Основными причинами перехода пожаров в категорию крупных рассматриваются: отсутствие мер по борьбе с огнем, несвоевременное обнаружение, несвоевременное обслуживание, несвоевременная локализация очагов горения.

Основными причинами неконтролируемого распространения пожаров, рассматриваются: непринятие мер по их тушению, тушение без наращивания сил и средств с огнем, тушение с медленным (запаздывающим) наращиванием ресурсов, тушение с относительно эффективным наращиванием ресурсов.

Для проведения анализа все зарегистрированные спутником крупные лесные пожары делятся на две группы:

- **Не зарегистрированные субъектами РФ пожары** не тушатся и не включаются в официальную отчетность.
- **Зарегистрированные субъектами РФ пожары** делятся на контролируемые (тушившиеся) и не контролируемые (не тушившиеся).

Основу анализа составляет группа зарегистрированных субъектами РФ пожаров.

По причинам перехода в категорию «крупных» пожары делятся на следующие группы.

- **Несвоевременно обнаруженными** считаются пожары, которые обнаружены после их регистрации по спутниковым данным, а также пожары, обнаруженные до их регистрации из космоса, но на недопустимо больших площадях ($>Q$). Допустимая площадь пожара при обнаружении задается, как внешняя переменная (средняя площадь обнаружения для анализируемой пространственной единицы).
- **Несвоевременно обслуженными** считаются пожары, тушение которых не начато в течение суток после их своевременного обнаружения. Началом тушения считается дата появления на пожаре сил и средств борьбы с огнем. Она устанавливается по данным оперативной отчетности субъектов РФ по лесным пожарам.
- **Неподдающимися контролю (локализации)** при начальной атаке считаются верховые пожары и пожары, распространяющиеся при сильном ветре. Основанием для отнесения пожара к данной категории является прирост площади, пройденной верховым огнем, или скорость ветра более 10 м/сек.
- **Несвоевременно локализованными** считаются своевременно обслуженные пожары, которые не локализованы в процессе начальной атаки (к началу горимости следующего дня) из-за нехватки задействованных сил и средств борьбы с огнем. Задействованные на пожаре ресурсы считаются недостаточными, если соответствующий им предельный периметр очага горения не превышает его фактический периметр к началу тушения огнем.

По причинам неконтролируемого распространения крупные пожары делятся на четыре категории.

- **Обслуженными без наращивания ресурсов** считаются крупные пожары, на которых задействованные при начальной атаке силы и средства борьбы с огнем в дальнейшем не наращивались.
- **Обслуженными с медленным (запаздывающим) наращиванием ресурсов** считаются крупные пожары, на которых наращивание ресурсов не успевало за нарастанием требуемых объемов работ по тушению и не обеспечило локализацию очагов горения до выпадения фронтальных осадков.
- **Обслуженными с относительно эффективным наращиванием ресурсов** считаются крупные пожары, на которых темпы наращивания ресурсов были достаточны для ликвидации очагов горения до выпадения фронтальных осадков.

Наборы данных, программная реализация. В работе используются три основных потока данных: пожары по спутниковым данным, пожары по данным СФ и метеоданные Гидрометеосетра. Все три потока исходных данных накапливаются и хранятся на серверах ИКИ и частично согласованы. Каждый спутниковый пожар имеет привязку к ближайшей метеостанции. Крупные пожары по спутниковым данным и данным регионов сопоставлены, в соответствии с методикой, описанной в работе (Отчет, 2009). Привязка метеостанций к пожарам по данным регионов осуществляется в процессе работы алгоритма.

Программный комплекс обработки данных имеет две составляющие: автоматизированную и интерактивную.

Работу блока автоматизированной обработки инициирует резидентный модуль. С помощью SQL-запросов осуществляется последовательное (или, где возможно - сопряженное) обращение к базам данных ИСДМ-Рослесхоз. После необходимых преобразований на SQL-сервере формируется единый набор данных по согласованному списку пожаров, укомплектованный всеми необходимыми для анализа составляющими. Завершающей операцией является прошивка каждого пожара результирующей таблицы кодами причин перехода в категорию крупных и неконтролируемого распространения. На сервере эти данные обновляются ежедневно и доступны в ГИС для дальнейших видов анализа, включая пространственные и многолетние обобщения.

Комплекс интерактивной обработки оформлен в виде отдельного интерфейсного модуля, автономно реализующего все вышеперечисленные операции. Многооконный интерфейс позволяет анализировать динамику каждого пожара по мере его развития, отображая результаты анализа в табличной, графической (диаграммной) и картографической форме. Кроме того, модуль обеспечивает формирование указанных форм сводной отчетности на любой выбранный регион в формате Excel. Сам модуль может выступать в качестве приложения ГИС-комплекса в среде ArcGIS. При этом, решаются задачи оценки своевременности и эффективности мер тушения как в общем виде (табличная и графическая отчетность на уровне страны в целом или крупных агрегатов типа Зоны охраны, Субъекты Федерации и т.п.), так и задачи оперативной оценки состояния и динамики каждого пожара.

ЛИТЕРАТУРА

1. Барталев С.А., Ершов Д.В., Коровин Г.Н., Котельников Р.В., Лупян Е.А., Щетинский В.Е. Информационная системы дистанционного мониторинга лесных пожаров Федерального агентства лесного хозяйства РФ (Состояние и перспективы) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2008. Т. 5. № 2. С. 419-429.
2. Ершов Д.В., Ковганко К.А., Шуляк П.П. Современные возможности геоинформационной системы мониторинга лесных пожаров ГИС-ИСДМ Рослесхоз // Пожаровзрывобезопасность. Научно-технический журнал ООО «Издательство «Пожнаука» – М.: 2010. Том 19, № 3, с. 38-46.
3. Коровин Г.Н., Ершов Д.В., Лупян Е.А., Мазуров А.А., Тащилин С.А. Российская система спутникового мониторинга лесных пожаров // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, г. Москва, 2004 г., С.47-57
4. Лупян Е.А., Мазуров А.А., Назиров Р.Р., Прошин А.А., Флитман Е.В., Крашенинникова Ю.С. Технологии построения информационных систем дистанционного мониторинга // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т. 8. № 1. С. 26-43.
5. Отчет по теме: Разработка методов и алгоритмов оценки динамики крупных лесных пожаров, своевременности и эффективности мер по их тушению (Лот №15). Государственный Контракт № Р-7К-10/15 от « 13 » августа 2010 г. между ФГУ «Рослесресурс» и ЦЭПЛ РАН

LARGE FOREST FIRE DYNAMIC CONTROL, EFFECTIVENESS AND TIMELINESS OF FIRE DETECTION AND SUPPRESSION

P.P. SHULYAK, G.N. KOROVIN, D.V. ERSHOV

Center for forest ecology and productivity RAS

Complex analysis of fire dynamic, meteorological data and fire suppression resources for effectiveness and timelines of fire detection and suppression control assessment. The following methodic was developed. Realizing of methodic is based on the GIS-technologies, witch allows to make an analysis of each fire and present results in table, graphic (diagrams) and cartographic forms and interfaces.

РЕПРОДУКТИВНАЯ СПОСОБНОСТЬ И КАЧЕСТВО СЕМЕННОГО МАТЕРИАЛА КЛИМАТИПОВ СОСНЫ В ОПРЕДЕЛЕННЫХ УСЛОВИЯХ ПРОИЗРАСТАНИЯ

О.А. ЯМАЛЕЕВ¹, М.А. НИКОЛАЕВА²

¹Филиал ФБУ «Рослесозащита» - «ЦЗЛ Ленинградской области»

²Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет

Представлены результаты анализа развития географических культур сосны обыкновенной, созданных в Республике Башкортостан. Выращен посадочный материал – полусибсовое потомство 16 климатипов. На основании оценки сохранности и роста потомств климатипов выделены лучшие для района испытания. Исследование и оценка результатов выполняются впервые.

Географические культуры сосны обыкновенной (*Pinus silvestris* L.) обладают широким спектром фенотипической и генетической изменчивости, что позволяет им занимать огромный ареал в Евразии. Отдельные популяции вида тесно адаптированы к местным почвенно-климатическим условиям и формируют устойчивые внутривидовые таксоны – климатические экотипы, знание особенностей которых является основой для организации лесосеменного хозяйства. Принимая во внимание основную цель исследования – совершенствование действующего «Лесосеменного районирования...» (Лесосеменное районирование..., 1992) и отбор лучших инорайонных климатипов для интродуцирования, особое значение имеют потомства с достаточно высоким потенциалом самовозобновления (Кищенко, 2000; Наквасина, Бедрицкая, 2000; Николаева, Жигунов, 2012).

Объекты и методика исследований Географические культуры сосны, заложенные в 1976 г. в Республике Башкортостан, являются одним из звеньев Всесоюзного опыта, поставленного по единой для страны программе и методике ВНИИЛМ (Изучение имеющихся..., 1972). Данный объект заложен под руководством И.Х. Нугаева на территории Юматовского лесничества Уфимского лесхоз-техникума, кв. 28, на площади 15,0 га; в настоящее время площадь объекта - 13,4 га. Географические координаты – 54°31' с.ш., 56°25' в.д. На рисунке 1 показано определение местоположения участка наложением растровой схемы и векторного планового плана лесонасаждения на фотоплан, полученный с помощью метода дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ).

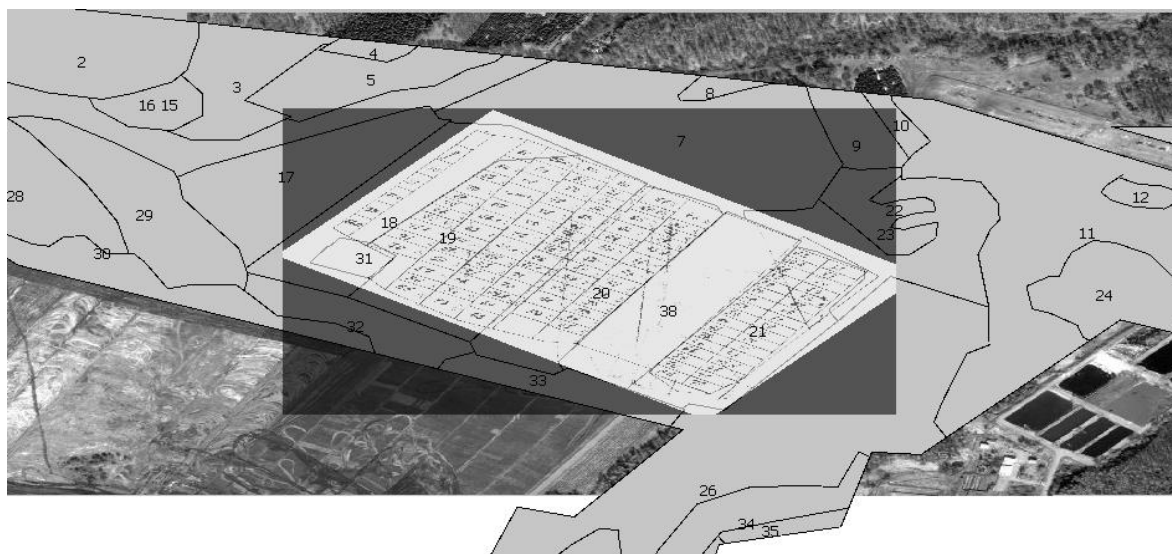


Рис. 1. Определение местоположения участка

Данные о координатах точек (1-23), с привязкой к квартальному столбу в точке «0», снятые навигатором GPS/GLONASS в системе координат WGS 84 показаны на рисунке 2.

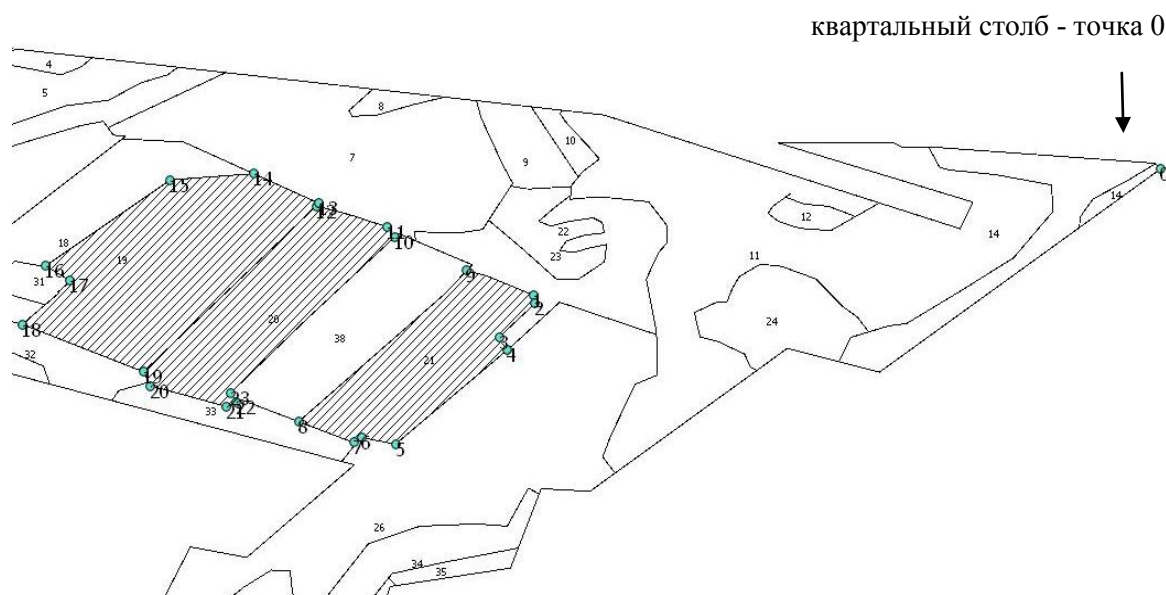
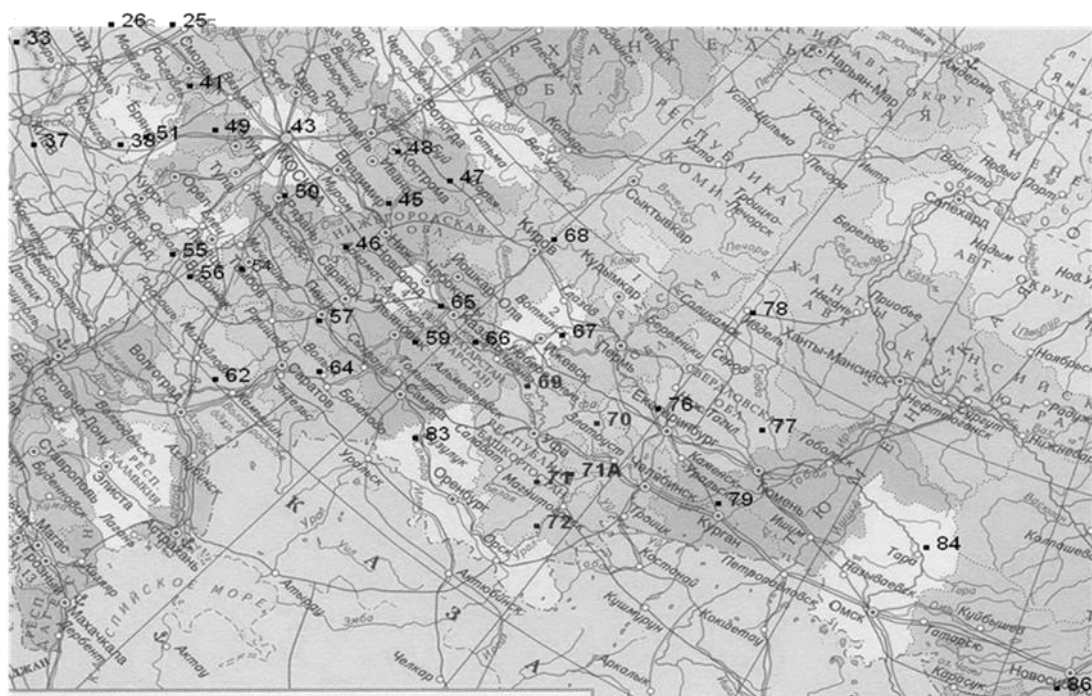


Рис. 2. Координаты точек (1-23), с привязкой к квартальному столбу в точке «0», снятые навигатором GPS/GLONASS в системе координат WGS 84

В соответствии с Приказом Рослесхоза от 09.03.2011 (Приказ Рослесхоза, 2011) территория объекта относится к Южно-Уральскому лесостепному району, с Лесосеменным районированием (Лесосеменное районирование..., 1992) - к Южно-Уральскому лесосеменному району, Башкирскому лесостепному подрайону.

Климат – континентальный. Макрорельеф – равнина. Почвы – темно-серые лесные, среднесуглинистые, имеют кислую реакцию; содержание фосфора и калия - высокое, подвижных фосфатов – среднее, азота – значительное, обеспеченность подвижным гумусом - достаточное. Тип лесорастительных условий – С₂.



25, 26, 49, ... 86 – номера климатипов по гос.реестру

Рис. 3. Места заготовок семенного материала сосны обыкновенной

Посадка культур проведена на территории бывших сельхозугодий после сплошной вспашки почвы с оборотом пласта, блоками, в 3-кратной повторности, вручную 2-летними

сеянцами; густота посадки – 5,3 тыс.шт./га.

Испытываются семенные потомства сосны обыкновенной (*Pinus silvestris* L.) 37 климатипов, в том числе подвид *P. silvestris* L. ssp. *kulundensis* Sukazew. – новосибирский вариант № 86. На рисунке 3 указаны места заготовок семенного материала, который использовался при создании географических культур в Республике Башкортостан.

С целью оценки качества семенного материала «перемещенных» климатипов в географических культурах, осуществлен сбор шишек с заранее отобранных модельных деревьев и из полученных семян выращен посадочный материал – полусибсовое потомство 16 климатипов, данные о географическом происхождении которых представлены в таблице. Определение физиолого-биохимических показателей хвои сеянцев сосны проводили по методикам (Луцик, Панасюк, 1981; Lisker, 1994).

Таблица. Местонахождение материнских климатипов сосны обыкновенной, представленных в географических культурах Республики Башкортостан

Лесной район	№ пункта по гос. реестру	Район заготовки семян (регион, область, лесхоз)		Географические координаты	
				с.ш.	в.д.
Район смешанных лесов европейской части РФ	45	Нижегородская	Городецкий	56°40'	43°28'
	46		Первомайский	54°56'	43°50'
	43	Московская, Куровской		55°32'	38°57'
	50	Рязанская, Солотчинский		54°40'	39°45'
	49	Калужская, Калужский		54°25'	36°16'
	41	Смоленская, Рославльский		54°00'	33°00'
	69	Башкортостан		55°30'	54°40'
Район степей европейской части РФ	62	Волгоградская, Камышинский		50°10'	45°24'
Северо-Уральский	78	Екатеринбургская	Ивдельский	60°40'	60°24'
Средне-Уральский таежный	76		Ревдинский	56°50'	59°58'
	77		Тавдинский	58°04'	65°18'
Южно-Уральский лесостепной	79	Курганская, Курганский		55°28'	65°20'
	70	Республика Башкортостан	Дуванский	55°42'	57°54'
	71А		Белорецкий	53°57'	58°24'
	71		Авзянский	53°25'	57°40'
	72		Зилаирский	52°24'	58°40'

Результаты исследований Изучение физиологического состояния шишек показывает, что их влажность зависит, прежде всего, от сроков сбора и поврежденности. В поздние сроки сбора (март) относительная влажность варьировала в пределах 14-21%, что говорит об их зрелости, и имела слабую зависимость от географического происхождения. В ранние сроки сбора (ноябрь) влажность шишек составляла от 27% (нижегородско-городецкое) до 36% (курганское потомство), и имела прямую зависимость от географического происхождения материнских климатипов с удалением на восток и обратную - с удалением на север.

Процент выхода семян из шишек оказывает слабое влияние на качество семян и выращиваемого посадочного материала. Тем не менее, выход семян колеблется в значительных пределах - от 0,8-0,9% (московское, смоленское) до 3,3-4,0% (екатеринбургские потомства), и имеет высокую зависимость от географического фактора: с удалением мест материнских насаждений на север выход семян из шишек выше ($r = 0,85 \pm 0,14$).

Масса семян, как один из показателей полноценности семенного материала, имеет слабую связь с географическим происхождением климатипов, как с удалением на север ($r = -0,19$), так и на восток ($r = 0,20$); тем не менее, варьирует в значительных пределах - от 4,7 г (семена московского происхождения) до 6,8 г (башкирского).

Энергия прорастания семян, независимо от географического происхождения семян, в большинстве вариантов высокая - 72-98%, в том числе в потомствах восточных климатипов - свердловских и башкирских.

Лабораторная всхожесть, в целом, достаточно высокая (максимальная - 99%, в потомстве екатеринбургских климатипов – ревдинского и тавдинского); выше - с удалением мест происхождения материнских климатипов на восток ($r = 0,41 \pm 0,25$).

Таким образом, лабораторный анализ качества семенного материала показал, что даже наиболее удаленные от мест исходных материнских насаждений потомства имеют показатели не хуже, чем у местного климатипа.

Приживаемость культур сосны во II поколении в год посадки очень высокая, - 98-100%. Инвентаризация 3-летних культур продемонстрировала сохранность - 91-100%, которая больше зависит от микроусловий мест посадки особи, чем от географического происхождения семян. В целом наблюдается успешный рост всех представленных потомств. В зависимости от варианта среднее значение высоты варьирует в пределах от 62,4 см (смоленское) до 70,3 см (башкирское потомство)

Установлено, что в первые годы развития, как и в материнских географических культурах I поколения, рост культур во II поколении по высоте лучше с удалением районов исходных происхождений на юг ($r = - 0,39 \pm 0,29$) и восток ($r = 0,63 \pm 0,24$).

Прослежена связь показателей качества семенного материала с параметрами роста культур, которая показала слабое влияние массы семян на рост культур в раннем возрасте. Большее влияние на рост культур в 3-летнем возрасте оказывают энергия прорастания ($r = 0,68 \pm 0,18$) и всхожесть семян ($r = 0,60 \pm 0,23$), в значительной мере предопределяющие силу роста и успешность развития растений в первые годы их жизни.

Изучали содержание и гемагглютинирующую активности (ГА) белков-лектинов в хвое климатипов сосны различного географического происхождения. Применение лектинов хвои в ботанико-географических лесоводственных исследованиях, благодаря уникальным свойствам фитогемагглютининов, является перспективным методологическим подходом. Нами исследованы фитолектины и функциональное состояние хлорофилл-белковых комплексов (ХБК) хвои сеянцев в потомстве различных климатипов *Pinus sylvestris* L., произрастающих в климатических условиях Башкортостана.

Между климатипами выявлены существенные различия по абсорбции лазерного излучения ХБК хвои, а также по степени диффузного и зеркального отражения света, что свидетельствует о различиях во внутренней структуры хвои географических культур сосны в зависимости от условий произрастания. Изменения структуры хлоропластов отражает способность климатипов сосны переносить стрессовые воздействия. Уменьшение отношения хлорофилла *a* к хлорофиллу *b* в хвое географически удаленных климатипов также свидетельствует об адаптивных перестройках фотосинтезирующего аппарата сосны, что является адаптивной реакцией сеянцев. Чем ниже показатель соотношения хлорофилла *a* к хлорофиллу *b*, тем менее растение устойчиво к воздействию климатических факторов места произрастания. Оценка ГА лектинов хвои показала, что семенное потомство даже самых отдаленных в географическом плане происхождений имеет показатели не хуже, чем у местного южно-уральского климатипа. К ним можно отнести сеянцы, происходящие из Калужской, Рязанской, Московской, Нижегородской областей. Таким образом, на ранней стадии развития географических культур сосны оценка ГА лектинов и $Ab, \%$ света демонстрирует закономерные связи с фактором их географического происхождения, предопределяя успешность развития климатипов в первые годы после посадки. Некоторые параметры соотношения зеленых пигментов, анатомо-морфологическое строение хвои, ГА лектинов и абсорбция света ХБК позволяют сделать заключение о начавшихся процессах адаптации сосны к внешним условиям. Поэтому можно спрогнозировать сохранение соснами стабильного состояния в течение продолжительного времени.

ЛИТЕРАТУРА

1. Изучение имеющихся и создание новых географических культур: Программа и методика работ / Под ред. Е.П. Проказина. Пушкино: ВНИИЛМ, 1972. - 52 с.
2. Кищенко И.Т. Рост и развитие аборигенных и интродуцированных видов семейства *Pinaceae* Lindl. в

условиях Карелии. Петрозаводск: Изд. ПГУ, 2000. - 211с.

3. Лесосеменное районирование основных лесообразующих пород в СССР. М.: Лесная промышленность, 1982. - 368 с.

4. Луцик М.Д., Панасюк Е.Н. Лектины. – Львов: Высш.шк., 1981.- 156 с.

5. Наквасина Е.Н., Бедрицкая Т.В. Влияние интенсивности роста деревьев на семеношение у потомства северных происхождений на ранних этапах репродукции // Лесн. журн., 2000.- № 1. - С. 47-51.

6. Николаева М.А., Жигунов А.В. Фенологические и репродуктивные особенности ели в географических культурах Ленинградской области // Лесоведение, 2012. - № 2. – С. 35-46.

7. Приказ Рослесхоза от 09.03.2011 г. № 61 «Об утверждении Перечня лесорастительных зон Российской Федерации и Перечня лесных районов Российской Федерации». - М., 2011. – 19 с.

8. Lisker J.S. New physical methods and system for automatic determination of state of plant and seeds // Automatic control of food and biological processes. Paris: Elsevier, 1994. P. 75-82.

REPRODUCTIVE ABILITY AND QUALITY OF SEED MATERIAL CLIMATYPE OF THE PINE IN CERTAIN CONDITIONS OF GROWTH

O.A. YAMALEEV¹, M.A. NIKOLAYEVA²

¹Branch of the Federal Budget Institution «Russian Centre of Forest Health» - «Leningrad Centre of Forest Health»

²St.-Petersburg state Forest Technical University

Presents the results of the analysis of the development of geographical plantations of Scots Pine, created in the Republic of Baškotorstan. The landing material – half-sibsd progeny 16 climatotypes is grown up. Based on an assessment of the preservation and growth of different progenies are best for the test. Research and evaluation are performed for the first time.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	стр. 3
Василий Иванович Сухих – лесоустроитель, ученый, преподаватель	4
Жизненный путь выдающегося ученого и общественного деятеля Георгия Николаевича Коровина	7
Проблемы и перспективы изучения лесов. Общие вопросы	
<i>Алтынов А.Е., Карпухин С.С., Черненко А.Н.</i> Представление пространственных данных о лесном фонде в геоинформационной модели региональной природно-хозяйственной системы	10
<i>Барталев С.А., Ершов Д.В., Исаев А.С., Лукина Н.В., Лупян Е.А.</i> О современных возможностях непрерывной инвентаризации лесов России на основе спутниковых данных	13
<i>Березин Л. В., Шаяхметов М. Р.</i> Проблемы преподавания лесного почвоведения и решения научных проблем в аграрном университете	15
<i>Воробьева Т.А., Голубева Е.И., Зенгина Т.Ю., Тульская Н.И.</i> ГИС-технологии в системе подготовки специалистов по направлению «Экология и природопользование»	20
<i>Иванова Ю.Д., Суховольский В.Г.</i> Чистая первичная продукция древесных пород в бореальных лесах России	23
<i>Ильючик М.А., Цай С.С.</i> Технологии обработки материалов аэрофотосъемки и космической съемки высокого разрешения и применение их при картографировании лесов в лесоустройстве Республики Беларусь	25
<i>Исаев А.С., Лямцев Н.И., Ершов Д.В.</i> Геоинформационные методы в системе лесопатологического мониторинга	29
<i>Косицын В.Н.</i> Современное использование данных дистанционного зондирования Земли в целях лесоучетных работ	32
<i>Кравцова В.И., Тутубалина О.В.</i> Оценка глобальной циркумполярной космической карты экотона тайга-тундра	36
<i>Лупян Е.А., Барталев С.А., Флитман Е.В., Егоров В.А., Ефремов В.Ю., Стыценко Ф.В., Ершов Д.В., Антонов В.Н., Крамарева Л.С.</i> Спутниковые наблюдения лесных пожаров в России в 21 веке	40
<i>Лупян Е.А., Ершов Д.В., Барталев С.А., Исаев А.С.</i> Информационная система дистанционного мониторинга лесных пожаров и их последствий: результаты последнего десятилетия и перспективы	43
<i>Макар С.В.</i> Моделирование регионального многофункционально-устойчивого лесопользования	47
<i>Мишина А.Н.</i> Применение данных дистанционного зондирования для оценки эффективности лесохозяйственных мероприятий	50
<i>Моисеев Б.Н.</i> Так сколько же у нас лесных гарей?	53
<i>Приставко А.А., Бердов А.М., Избовин С.М.</i> Возможность использования ДЗЗ с современных и перспективных Российских космических аппаратов при ГИЛ РФ	56
<i>Пузаченко Ю.Г., Кренке А.Н., Пузаченко М. Ю., Сандлерский Р.Б.</i> Общие принципы использования мультиспектральной дистанционной информации в исследовании лесов	59
<i>Пушкин А.А., Ильючик М.А.</i> Ресурсная оценка поврежденных лесных насаждений	

и объектов лесопользования на основе материалов космической съемки и геоинформационных технологий	63
<i>Савин И.Ю., Хабарова О.В., Медведева М.А.</i> Многолетняя динамика лесной растительности Евразии, выявленная с использованием архива спутниковых данных GIMMS	67
<i>Солонцов О.Н.</i> Анализ возможности применения материалов дистанционного зондирования Земли для решения задач государственной инвентаризации лесов	71
<i>Суховольский В.Г., Иванова Ю.Д.</i> Чистая первичная продукция древесных пород: оценка с использованием модели распределения фитомассы по фракциям дерева	79
<i>Трубин Д.В., Абрамова Л.В.</i> Перспективы развития отношений в информационном пространстве лесного комплекса в связи с совершенствованием аэрокосмических методов	83
<i>Федоров С.В., Мухина А.С.</i> Дистанционный мониторинг использования лесов Российской Федерации и пути его совершенствования	87
<i>Шалимова Е.М., Дерюгин А.А., Брунова З.С.</i> Особо защитные участки лесов – состояние информации, проблемы формирования системы	90
<i>Швиденко А.З., Щепаченко Д. Г., МакКаллум Я.</i> Системное объединение дистанционных и наземных методов в исследованиях углеродного цикла лесов России	92

Аэрокосмические методы в лесоведении, лесном хозяйстве и экологии

<i>Алешко Р.А., Гурьев А.Т., Торхов С.В.</i> Анализ структурных связей дешифровочных признаков спутниковых снимков и таксационных параметров лесных территорий	97
<i>Барталев С.А., Егоров В.А., Ефремов В.Ю., Лупян Е.А., Стыценко Ф.В., Флитман Е.В.</i> Технология оценки площади пожаров на основе комбинированного использования спутниковых данных MODIS и Landsat-TM/ETM+	100
<i>Бровкина О. В.</i> Выявление изменений в лесах на основе обработки материалов космической съемки (на примере ООПТ «Смоленское Поозерье»)	103
<i>Владимирова Н.А., Есипова Е.С. Крылов А.М.</i> Использование данных космической съемки Landsat для создания общедоступной карты лесов Архангельской области и выявления изменений в лесном покрове с середины 70-х гг. XX века	106
<i>Внотченко С.Л., Достовалов М.Ю., Ермаков Р.В., Коваленко А.И., Мусинянц Т.Г., Риман В.В., Смирнов С.Н., Шишанов А.В.</i> Радиолокационные методы для лесного хозяйства	108
<i>Гаврилюк Е.А., Ершов Д.В.</i> Тематическое картографирование породной структуры лесов на основе спутниковых изображений Landsat-TM\ETM+	112
<i>Галкин Ю.С., Потапов В.Н.</i> Метод обработки информации с гиперспектрометров при дешифровке объектов аэрокосмического мониторинга	115
<i>Горохова И.Н, Борисочкина Т.И., Шишконокова Е.А.</i> Экологический мониторинг урбоэкосистемы с использованием аэрокосмической информации	119
<i>Григорьева О.В.</i> Перспективы использования данных дистанционного зондирования для инвентаризации зеленых насаждений городов	122
<i>Григорьева О.В.</i> Экологическое зонирование лесов в районе высокого техногенного воздействия	125
<i>Гудкова Д.А., Ершов Д.В.</i> Ретроспективный анализ динамики лесного покрова территории новой Москвы по спутниковым данным	129
<i>Данилин А.И., Данилин И.М., Корец М.А., Нисневич А.Е., Онучин А.А., Свищев Д.А., Скудин В.М.</i> Опыт использования лазерной локации и цифровой аэросъемки для таксации лесов	130

<i>Данилова И.В., Рыжкова В.А, Корец М.А.</i> Методика автоматизированного дешифрирования стадий восстановительной динамики лесной растительности	134
<i>Елсаков В.В.</i> Материалы спутниковых съемок в анализе изменений лесных фитоценозов особо охраняемых ландшафтов Урала	138
<i>Жаринов С.Н.</i> Космический мониторинг в оценке последствий лесных пожаров (на примере Тверской области)	141
<i>Жарко В.О., Барталев С.А., Егоров В.А.</i> Картографирование породной структуры лесного покрова России по спутниковым данным MODIS	144
<i>Журин В.М., Князева С.В., Эйшлина С.П.</i> Эколого-динамическое изучение лесов на основе космических снимков и цифровой модели рельефа	146
<i>Калинкевич А.А., Кутуза Б.Г., Крылова М.С., Слюсарев В.И.</i> Об опыте использования многочастотного РСА радиолокационного комплекса в исследованиях отражательных свойств сосновых лесов	149
<i>Киреев Д.М.</i> Сравнительная пригодность снимков Landsat-TM и Landsat ETM+ при ландшафтных исследованиях Северо-Запада России	153
<i>Королева Н.В., Ершов Д.В.</i> Анализ динамики лесного покрова Нижнего Приангарья Красноярского края за последние 20 лет по спутниковым данным Landsat	157
<i>Костяшкин Д.С. Горобец А.Н., Горобец Н.Н.</i> Оценка стадии рекреационной депрессии лесной среды по данным космической радиолокации высокого разрешения	160
<i>Кошелев А. В., Кошелева О. Ю.</i> Дистанционная оценка сохранности пригородных зеленых насаждений Волгограда	164
<i>Кравцова В.И., Лошкарев А.Р.</i> Дистанционные методы исследования динамики экотона тайга-тундра на Кольском полуострове	167
<i>Кренке А.Н., Пузаченко Ю.Г., Пузаченко Ю.М., Сандлерский Р.Б.</i> Применение данных дистанционного зондирования и многомерного анализа в лесотаксации и информационном обеспечении лесного хозяйства	171
<i>Крылов А.М., Малахова Е.Г.</i> Перспективы применения результатов дешифрирования космической съемки Landsat TM/ETM+ для прогнозирования повреждения еловых лесов короедом-типографом и оценки устойчивости насаждений	175
<i>Кузнецов О.В., Кириллова О.Н.</i> Оценка зеленых насаждений городского округа «Город Хабаровск»	178
<i>Куулар Х.Б.</i> Мониторинг изменения лесных экосистем Уюкского хребта с использованием снимков	180
<i>Мелентьев В.В., Мателенок И.В.</i> Опыт спутниковой СВЧ широтно-зональной дифференциации ландшафтов таежной, лесотундровой и тундровой природных зон Западной Сибири	183
<i>Михайлов С. И.</i> Опыт проведения высокочастотного мониторинга участков активного лесопользования с применением оптических и радиолокационных данных дистанционного зондирования	187
<i>Москаленко Т.С., Барталев С.А.</i> Использование данных MODIS для мониторинга усыхания темнохвойных лесов Московской области	188
<i>Мягова Д.А., Ершов Д.В.</i> Выявление и оценка масштабов усыхания еловых лесов по спутниковым данным на примере нескольких районов Московской области	190
<i>Пузаченко М.Ю.</i> Многомерный анализ растительного покрова юго-запада Тверской области на основе ДДЗ, ЦМР и полевой информации	192
<i>Рубанов К.А.</i> Использование нейросетевого подхода для классификации данных ДДЗ в целях динамического картографирования лесных экосистем	197
<i>Сандлерский Р. Б. Пузаченко Ю.Г.</i> Термодинамические характеристики южно-таежных биогеоценозов по данным дистанционного зондирования	200

<i>Сирин А.А., Маслов А.А., Валяева Н.А., Глухова Т.В., Цыганова О.П.</i> Картирование торфяных болот Московской области по данным космической съемки высокого разрешения	204
<i>Сочилова Е.Н., Еришов Д.В.</i> Методы определения значений таксационных показателей лесных насаждений на основе комплексной обработки спутниковых данных и наземных наблюдений	207
<i>Стыценок Ф.В., Барталев С.А., Егоров В.А., Лупян Е.А.</i> Метод оценки степени повреждения лесов пожарами по спутниковым данным MODIS	211
<i>Терехин Э.А.</i> Исследование связи между биометрическими показателями лесных насаждений Белгородской области и их спектральными отражательными свойствами	214
<i>Трифонов Е.М., Хохряков В.Р.</i> Исследование различных алгоритмов автоматизированного определения заболоченных территорий на примере Смоленского Поозерья	218
<i>Черемисин М.В., Бурков В.Д.</i> Аэрокосмический мониторинг лесов на основе дистанционно-ориентированных выделов средствами оптических и радиолокационных данных ДЗЗ	221
<i>Черных Л.В., Черных Д.В.</i> Автоматизированное контурное дешифрирование цветных синтезированных изображений, полученных с летательного аппарата Alos при лесоустройстве	224
<i>Чимитдоржиев Т.Н., Гармаев А.М., Кирбижекова И.И., Быков М.Е., Гусев М.А., Денисов П.В., Федоркова Ю.В.</i> Использование БП ДЗЗ для решения задач лесоустройства на примере Республики Бурятия	228
<i>Шарый П.А., Шарая Л.С., Пинкий Д.Л.</i> Изменение NDVI лесных экосистем Северного Кавказа как функции климата и рельефа	232

Картографирование и ГИС-технологии в лесоведении, лесном хозяйстве и экологии

<i>Алейников А.А.</i> Опыт использования технологии FIELD-MAP в исследовании структуры лесных экосистем	237
<i>Алейников А.А., Ковганко К.А., Сенько В.С.</i> Бассейновый анализ территории горного участка Печеро-Илычского заповедника	241
<i>Алексеев А.С., Никифоров А.А.</i> Анализ влияния формы поверхности рельефа на структуру и продуктивность лесных ландшафтов с применением 3D моделирования на базе ГИС	245
<i>Антипин В.К., Токарев П.Н.</i> Использование ГИС-технологий в современном болотоведении (на примере болот Карелии)	249
<i>Архипенко Н.А., Пушкин А.А.</i> Геоинформационные технологии в управлении особо охраняемыми природными территориями на примере Национального парка «Браславские озера»	252
<i>Бочарников М.В., Огуреева Г.Н.</i> Бореальные леса Сибири и Монголии на южной границе распространения и проблемы их картографирования	255
<i>Браславская Т.Ю., Абатуров А.В., Кулешов А.П.</i> База данных по многолетней динамике древостоев на постоянных пробных площадях в лесных сообществах Подмоскovie	259
<i>Васильев О.Д., Михеева А.И., Кадетов Н.Г.</i> Картографирование популяций инвазивных растений на городских ООПТ с использованием ДДЗ (на примере заказника «Воробьевы горы»)	261
<i>Глаголев В.А., Коган Р.М.</i> Применение ГИС-технологий для оценки напряженности пожароопасных сезонов на примере территории Еврейской	

автономной области и Хабаровского края	262
<i>Гурьев А.Т., Алешко Р.А., Васендина И.С., Шошина К.В.</i> Информационная система мониторинга и управления лесными ресурсами	266
<i>Жирин В.М., Эйдлина С.П., Князева С.В., Золина Т.А.</i> Применение элементов зарубежной технологии лесоинвентаризации в лесном фонде северо-востока страны	270
<i>Завадская А.В., Яблоков В.М.</i> Разработка геоиндикационных методов для мониторинга уникальных и редких термальных экосистем (на примере долины гейзеров, Кроноцкий заповедник)	272
<i>Киреев Д.М., Сергеева В.Л.</i> Ландшафтная подготовка специалистов направления «Информационные технологии»	276
<i>Князева С.В., Золина Т.А., Орлова О.Л., Жуковская И.П., Рыльков О.В.</i> Картографическое обеспечение природоохранной и рекреационной деятельности НП «Куршская коса»	278
<i>Князева С.В., Эйдлина С.П.</i> Организация пространственных и атрибутивных данных в системе лесопатологического мониторинга по международной программе ICP Forests	282
<i>Колобов А.Н.</i> Имитационная компьютерная модель пространственно-временной динамики древесных сообществ	286
<i>Маклаков В.В.</i> Использование результатов космической деятельности и геоинформационных систем для управления особо охраняемыми природными территориями	290
<i>Малышева Н.В., Золина Т.А., Владимирова Н.А., Райченко Н.Э., Попик С.А.</i> Методика и опыт подготовки электронного атласа карт информационно-справочного типа для визуализации данных государственного лесного реестра	293
<i>Малышева Н.В., Орлова О.Л., Золина Т.А., Райченко Н.Э., Попик С.А.</i> Прикладные исследования по созданию планово-картографических материалов инвентаризации зеленых насаждений и иных объектов особо охраняемых территорий г. Москвы	296
<i>Малышева Н.В., Попик А.Г.</i> Использование ГИС и САПР при инвентаризации зеленых насаждений и иных объектов особо охраняемых территорий г. Москвы	300
<i>Орлова О.Л., Бородин А.Г., Малышева Н.В., Золина Т.А., Райченко Н.Э., Попик С.А., Анисимова П.С.</i> Опыт комплексного использования материалов лазерного сканирования, аэросъемки и ГИС для оценки зеленых насаждений в коридорах и охранных зонах линий электропередач	302
<i>Парфенова Е.И., Чебакова Н.М., Корец М.А.</i> Биоклиматическая модель высот насаждений Средней Сибири	305
<i>Рыбакова Н.А.</i> Выделение противозрозионных лесов в горных районах Дальнего Востока	307
<i>Силаев А.В.</i> Картографический анализ долговременной динамики лесного покрова Тункинской котловины	310
<i>Уваров И.А., Ершов Д.В., Крылов А.М., Барталев С.А., Лупян Е.А.</i> Информационная система космического мониторинга санитарного состояния лесов «ВЕГА – лесопаталог»	312
<i>Хамедов В.А., Полищук Ю.М., Русакова В.В.</i> Оценка состояния лесных экосистем в условиях воздействия нефтегазового комплекса ХМАО	314
<i>Хвостиков С.А., Барталев С.А., Лупян Е.А.</i> Метод прогнозирования лесных пожаров на основе ассимиляции спутниковых данных в модель пожарной динамики	318
<i>Хорошев А.В.</i> Пространственная структура ландшафта как условие планирования лесопользования	320
<i>Цыренова, М.Г. Пыжикова Е.М.</i> К характеристике растительности долины р.	

Амалат (Витимское плоскогорье)	324
<i>Черненко Т.В., Пузаченко М.Ю., Королева Н.Е., Басова Е.В.</i> Типологическое разнообразие лесного покрова Мурманской области на основе наземных исследований, дистанционной информации и статистических методов	327
<i>Шашков М.П., Стародубцева Е.А., Иванова Н.В.</i> Карта пожаров Воронежского государственного природного биосферного заповедника	331
<i>Шуляк П.П., Коровин Г.Н., Еришов Д.В.</i> Контроль динамики крупных лесных пожаров и оценка эффективности и своевременности мер по их тушению	335
<i>Ямалеев О.А., Николаева М.А.</i> Репродуктивная способность и качество семенного материала климатипов сосны в определенных условиях произрастания	338
Содержание	343