

В.В. Асмус (ГУ «НИЦ «Планета»)

В 1976 г. окончил Московский институт электронного машиностроения по специальности «прикладная математика». После окончания института работает в ГУ «НИЦ «Планета». В настоящее время – директор ГУ «НИЦ «Планета», доктор физ.-мат. наук, профессор.

В.А. Кровынцев (ГУ «НИЦ «Планета»)

В 1970 г. окончил Севастопольский приборостроительный институт по специальности «радиоинженер». До 1988 г. работал в Морском гидрофизическом институте Академии наук Украины, затем в ГУ «НИЦ «Планета». В настоящее время – зав. отделом ГУ «НИЦ «Планета», кандидат физ.-мат. наук.

Использование данных космической съемки RapidEye для классификации природных объектов

Введение.

Фрагмент снимка, полученного с космического аппарата (КА) RapidEye 21 августа 2009 г., охватывает территорию лесного экспериментального участка «лог Таежный» Валдайского филиала Государственного гидрологического института Росгидромета (ВФ ГГИ). Участок лог «Таежный» с 1990 г. является частью территории Национального парка «Валдайский» (ВНП). На территории ВФ ГГИ находится контрольная точка сети наземных метеорологических измерений Росгидромета и Всемирной метеорологической организации (ВМО). Кроме того, территория ВФ ГГИ многие годы используется ВМО для проведения интеркалибровки метеорологических приборов для измерения осадков и испарения. В ВФ ГГИ установлен терминал спутниковой системы сбора данных с наземных платформ, посредством которого осуществляются оперативный сбор данных наземных измерений и ретрансляция через метеорологические спутники в единый центр обработки данных.

В центре участка «лог Таежный» (географические координаты: 57°57,7' с.ш. и 33°20,5' в.д.) в однородном массиве зрелого елового леса расположена лесная градиентная установка (комплекс устройств, состо-

А.М. Алферов (ГУ «НИЦ «Планета»)

В 1964 г. окончил Московский физико-технический институт по специальности «инженер-аэрофизик». После окончания института работал в ЦНИИМаш, ИПМ РАН им. М.В. Келдыша, ИГКЭ, ВНИЦлесресурс, с 2001 г. – в ГУ «НИЦ «Планета». В настоящее время – зав. лабораторией ГУ «НИЦ «Планета», кандидат физ.-мат. наук.

Н.П. Иванова (ГУ «НИЦ «Планета»)

В 1987 г. окончила Московский институт геодезии и картографии по специальности «аэрофотосъемка». После окончания института работает в ГУ «НИЦ «Планета». В настоящее время – научный сотрудник отдела тематической обработки спутниковой информации.

ящий из трех мачт, высотой по 49 м каждая). Конструкция, размеры и место размещения градиентной установки выбраны с учетом возможностей изучения распределения метеорологических элементов внутри древостоя и над лесом. Детальные наземные наблюдения за метеоземлементами в условиях леса проводились в 1959–1990 гг. на специальной площадке на логу Таежном на лесной градиентной установке. Наблюдения включали детальные круглосуточные измерения температуры и влажности воздуха, скорости ветра на различных высотах, измерения осадков над лесом, актинометрические наблюдения над лесом и под пологом леса. Там же проводились измерения температуры почвы от поверхности до глубины 320 см. В последние годы на высотных мачтах градиентной установки лесного полигона «лог Таежный» проводятся работы по организации измерений концентраций и потоков CO₂ и других парниковых газов между атмосферой и лесными экосистемами методом вихревой ковариации.

Из-за хорошей изученности данной территории наземными средствами, возможности постоянного ведения на ней большого количества гидрометеороло-

гических и других наземных измерений, а также благодаря наличию специального оборудования, приспособлений, отапливаемых помещений для проведения длительных непрерывных гидрометеорологических наблюдений, полигон «лог Таежный» и другие природные участки, закрепленные за ВФ ГГИ, используются в Росгидромете в качестве тестового полигона для валидации спутниковых измерений.

ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ПОЛИГОНА «ЛОГ ТАЕЖНЫЙ»

Лесной экспериментальный участок «лог Таежный» расположен в центральной части Валдайской возвышенности, которая входит в состав конечно-моренного пояса северо-запада Русской равнины, сформировавшегося в ходе последнего валдайского оледенения. Анализ фондовых данных ВФ ГГИ и ВВП и других опубликованных материалов

показал, что основная часть территорий, непосредственно граничащих с экспериментальным участком «лог Таежный», расположена к востоку от Привалдайской гряды, и занимает сложно построенный ландшафт пологоволнистой, местами плоскохолмистой водно-ледниковой равнины, прилегающей с юго-востока к акватории озера Валдайское (рис. 1). Рельеф территории расчлененный – многочисленные холмы и гряды (их относительная высота до 20-50 м, крутизна склонов 15-20° и более) чередуются с западинами, ложбинами стока и небольшими равнинами, а все многообразие форм можно рассматривать как сложное сочетание трех типов рельефа: моренного (преимущественно конечно-моренного), зандрового и камового. Западины и котловины, расположенные между моренными холмами, озами и камами, нередко заняты небольшими озерами.



А



Рис. 1
Фрагмент топографической карты окрестностей Валдайского озера, на юго-восточной периферии которого расположен лесной участок «лог Таежный» (А). Вид на лесной массив экспериментального участка «лог Таежный» с одной из мачт градиентной установки (Б). Съемка 24.09.2008 г.

Почвообразующими породами являются моренные отложения: валунные суглинки и супеси, флювиогляциальные пески и озерно-ледниковые песчаные отложения, торфяные отложения. С разнообразием форм рельефа и почвообразующих пород связана пестрота и сложность почвенного покрова. Преобладают палево-подзолистые суглинистые и скрытоподзолистые супесчаные почвы, сменяющиеся в межхолмовых понижениях болотными торфянисто- и торфяноглеевыми почвами. На мощных песках озковых и дюнных гряд формируются типичные таежные подзолы. Наличие сложного сочетания генетических форм моренного, камового, зандрового и озкового рельефа обусловило пестроту ландшафтной структуры и структуры растительного покрова. Лесная растительность расположена в пределах нескольких ландшафтов: 1) мелкохолмистой моренно-камовой равнины на средних карбонатных моренных суглинках; 2) мелкогрядово-холмистой камово-озковой равнины на двучленах; 3) озерно-водно-ледниковой равнины, а также заболоченных ландшафтов аллювиальных равнин.

Наиболее продуктивные лесные сообщества формируются на вершинах и склонах моренных и камовых холмов, сложенных преимущественно суглинками, и представлены высокобонитетными ельниками. Сосны являются индикатором залегания супесчаных поверхностных отложений: чем больше их мощность, тем значительнее доля сосны в древостое. В зависимости от литологии отложений и условий трофности на вершинах и склонах моренных форм формируются неморальные ельники, разнотравно-черничные, ельники-кисличники, кислично-черничные и папоротниково-кисличные, майниково-кисличные. Песчаные озковые гряды и дюны сложены мощными песками. Связанный с ними тип местообитаний характеризуется низкой трофностью и дефицитом увлажнения (сухие гигротопы). В данных местообитаниях формируются высокобонитетные сосняки брусничники-зеленомошники и черничники. Древостой на болотах, как правило, разреженный, сомкнутость крон низкая (от 0,2 до 0,4). Лесной покров на болотах относится к разряду редколесья. На низинных болотах преобладают низкобонитетные елово-березово-ольховые редколесья. На пере-

ходных болотах формируется елово-березовое редколесье с примесью сосны. Деревья имеют меньшую плотность, чем на низинных болотах, и относятся к низкому классу бонитета. Наихудшие условия местообитания древостоя формируются в условиях верховых сфагново-пушицевых болот. Эти типы местообитаний характеризуются очень низкой трофностью и высокой переувлажненностью, верховой сфагновый торф отличается очень низкой зольностью. В условиях верховых болот преобладают низкобонитетные сосново-березовые редколесья.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОЛИГОНА «ЛОГ ТАЕЖНЫЙ» ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПОТОКОВ CO₂ И ДРУГИХ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ МЕЖДУ АТМОСФЕРОЙ И ЛЕСНЫМИ ЭКОСИСТЕМАМИ

Анализ литературных данных по использованию метода вихревой ковариации для измерения потоков CO₂ между лесными экосистемами и атмосферой показал, что на измеряемые потоки CO₂ существенное влияние в отдельные периоды измерений может оказывать горизонтальная адвекция из-за пространственной неоднородности растительного покрова. Измерительная система, установленная на вышке, позволяет определить некоторое осредненное значение потока для территории (участка леса), с которой происходит вынос CO₂ к датчикам измерительной аппаратуры. В зависимости от высоты расположения измерительной аппаратуры, скорости ветра и стратификации атмосферы территория выноса («fetch») может изменяться от нескольких гектаров до нескольких квадратных километров и охватывать не только исследуемый участок леса, но и окружающую его территорию. Минимальная площадь выноса обычно наблюдается в дневные часы при хорошо выраженной неустойчивой стратификации атмосферы, максимальная – в ночные часы при устойчивой или нейтральной стратификации атмосферы над лесом. Максимальные всплески потоков CO₂, например, могут наблюдаться за счет выноса CO₂ с сопредельных болотных участков либо с участков увлажненных торфянистых почв.

В связи с указанным обстоятельством при осуществлении мониторинга потоков CO₂ и других парниковых газов в лесной экосистеме «лог Таежный» с помощью аппаратуры, устанавливаемой на лесной градиентной установке, для корректной интерпретации измерений потоков CO₂ необходимо располагать оперативными данными о неоднородности распределения растительности, ее продуктивности также и на сопредельных территориях, которые могут быть получены только спутниковыми методами. При решении этой задачи следует учитывать тот факт, что площадь экспериментального участка «лог Таежный», представляющего собой довольно однородный массив зрелого елового леса, составляет 0,45 км². Указанная площадь фактически определяет требования к масштабу тематического картографирования структуры растительного покрова, который должен быть обеспечен при автоматизированной классификации многозональных спутниковых изображений. Отметим, что при крупномасштабном ландшафтном картографировании объекты площадью от 0,5–3,0 км² до 10–20 км² соответствуют территориальным комплексам ранга урочищ. Для этих целей необходимо использовать материалы многозональных космических съемок с высоким разрешением, не хуже 100 м. Среди существующей спутниковой информации, охватывающей многолетние периоды, наиболее пригодными для оценки сезонной и межгодовой изменчивости пространственной неоднородности продуктивности растительности в том или ином районе являются многозональные изображения спутников серии Landsat с разрешением 30 м.

Закономерности связи растительности, рельефа, спектральных характеристик, выявленные в процессе комплексного анализа спутниковых и наземных данных для ключевых экспериментальных участков ВФ ГГИ, предполагается впоследствии экстраполировать за их пределы согласно данным геоботанического районирования. В свою очередь, корректная интерпретация измерений потоков CO₂ наземными методами и экстраполяция полученных данных на другие территории невозможны без проведения предварительного тестирования тематических карт раститель-

ного покрова, получаемых методом автоматизированной классификации многозональных спутниковых изображений, при поэтапном уточнении данных для ключевых участков экспериментальной базы ВФ ГГИ и сопредельных территорий.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СПУТНИКОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ И КЛАССИФИКАЦИИ ОБЪЕКТОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ ТЕСТОВОГО ПОЛИГОНА «ЛОГ ТАЕЖНЫЙ»

Предварительный анализ цветосинтезированных изображений на исследуемую территорию («лог Таежный»), полученных с 1990 по 2002 г. по данным КА Landsat (разр. 30 м) с использованием спектральных диапазонов (мкм) 0,525-0,605 (2); 0,630-0,690 (3); 0,750-0,900 (4), показал следующее. Большая часть территории покрыта лесами. Собственно сельскохозяйственные и селитебные земли занимают небольшую площадь и локализованы в северной части территории. В юго-западной и юго-восточной частях большую площадь занимают крупные карьерные разработки. Карьеры имеют на изображениях самый яркий оттенок, что обусловлено максимальной отражательной способностью обнаженной почвы. Визуально можно отметить пространственную мозаичность лесов территории. Распространенные в западной части участка сомкнутые еловые леса на дистанционных изображениях имеют более темный тон. Сосновые леса в целом имеют чуть более светлый тон. Заболоченные древостои выделяются на дистанционных изображениях благодаря в целом более светлому тону. Максимальная продуктивность характерна для пойм ручьев, растительности прибрежной полосы оз. Валдай и молодых лесов в юго-западной части территории. Елово-сосновые леса независимо от степени увлажнения их местообитания отличаются низкой продуктивностью. Территория имеет характерную транспортную инфраструктуру: дороги, линии электропередач. Эти объекты отчетливо видны на космических снимках и могут использоваться для тестирования результатов автоматизированной классификации.

Периоды съемки, приходящиеся на май и летние месяцы, являются наиболее благоприятными для дифференциации древесной растительности, болот, заболоченных елово-сосновых лесов и заболоченных участков под смешанным лесом. Период весеннего облиствения благоприятен для распознавания лиственных пород в связи с разновременным прохождением ими фенофаз. Для него характерны благоприятные условия освещения. С точки зрения распознавания лиственных пород представляют интерес ранневесенние снимки периода весеннего зазеленения лесного массива. Этот период наибольших цветовых различий – наилучший для получения цветосинтезированных изображений. В весенний период со слабым развитием листвы поверхность полога на снимках высокого разрешения воспринимается в виде прозрачной легкой кисеи, через которую может просматриваться поверхность земли. Период полного облиствения летом характеризуется стабильностью, продолжительностью и наилучшими условиями освещения. Зеленая растительность достигает своего наивысшего развития, древесной лиственных и смешанных насаждений образует плотный полог с устойчивой зеленой окраской. Недостаток летних снимков – плохая просматриваемость поверхности земли. В видимой зоне спектра контрасты между древесными породами незначительны. Для съемки наиболее эффективна инфракрасная зона спектра, где удается получить достаточные контрасты между группой хвойных и лиственных древесных пород. Следует отметить, что в ряде случаев целесообразно использовать и осенние снимки, полученные в период постепенного и различного изменения окраски лиственных пород. На осенних снимках высокого разрешения по тону и цвету можно зафиксировать различия внутри группы лиственных. Недостатки осеннего периода – его краткость, не всегда благоприятные условия погоды, худшая освещенность, неодновременность прохождения фенологических фаз в большом массиве, различная окраска древесных пород по биологическим причинам (клены осины).

Основная задача работ, выполненных в 2009 г., определялась необходимостью предварительного тестирования по имеющейся для экспериментального

участка «лог Таежный» спутниковой и подспутниковой информации тематических карт состояния растительного покрова, получаемых методом автоматизированной классификации многозональных спутниковых изображений, с целью идентификации факторов, вносящих наибольший вклад в неопределенность выделяемых классов растительного покрова.

Для решения различных задач космического мониторинга в ГУ «НИЦ «Планета» создана технология автоматизированного распознавания и классификации объектов окружающей среды по многозональным спутниковым изображениям. В программной системе, поддерживающей эту технологию, реализованы методы распознавания и классификации без обучения (кластерный анализ) и классификации с обучением [1]. Подсистема неконтролируемой классификации без обучения в программной системе представлена двумя алгоритмами – методом средних и методом анализа мод многомерной гистограммы. Результаты кластерной обработки применяются для выбора тестовых участков, используемых в подсистеме распознавания с обучением. Подсистема классификации с обучением (контролируемая классификация) в программном комплексе состоит из семи классификаторов (один поэлементный классификатор и шесть объектных), основанных на использовании байесовской стратегии максимального правдоподобия, и двух объектных классификаторов, основанных на минимуме расстояния. Выбор оптимального решающего правила (с точки зрения точности распознавания) производится на этапе обучения по результатам классификации тестовых участков. Технология нашла широкое применение при проведении классификации почвенного, растительного, снежного, ледяного, облачного покровов, а также водной среды.

Ниже рассматриваются результаты предварительного тестирования тематических карт структуры растительного покрова части Валдайского района, включающей экспериментальный участок «лог Таежный» и непосредственно прилегающие территории, полученных методом автоматизированной классификации данных КА Landsat (разрешение 30 м) и RapidEye (разрешение 5 м).

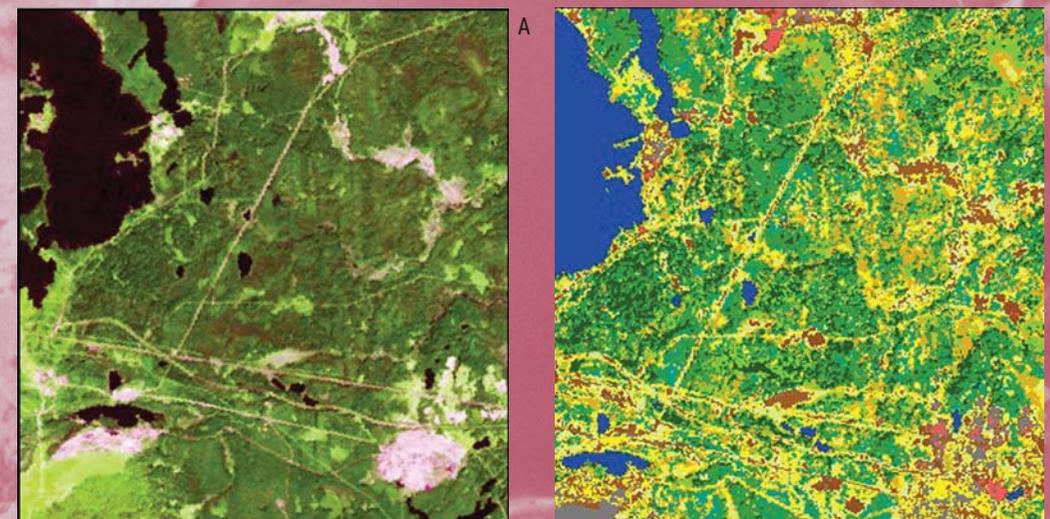


Рис. 2.
А. Исходное цветосинтезированное изображение. КА Landsat, 03.05.1990 г.
Б. Тематическая карта, полученная в результате тематической автоматизированной классификации

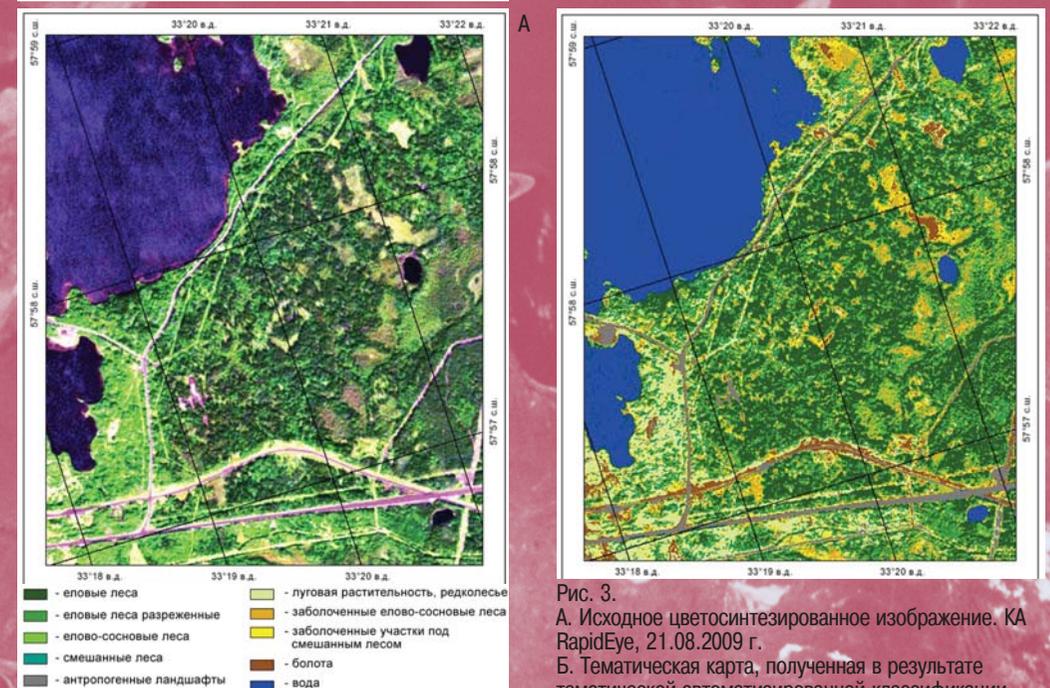


Рис. 3.
А. Исходное цветосинтезированное изображение. КА RapidEye, 21.08.2009 г.
Б. Тематическая карта, полученная в результате тематической автоматизированной классификации

На рис. 2 приведены цветосинтезированное изображение исследуемого района по данным КА Landsat (разрешение 30 м) и тематическая карта, полученная методом автоматизированной классификации. На рис. 3 представлены цветосинтезированное изображение исследуемого района по данным КА RapidEye (разрешение 5 м) и тематическая карта, полученная методом автоматизированной классификации. Физическая и генетическая трактовка выделенных классов растительного покрова получена без привлечения полевых данных на основе априорных данных, доступных фондовых материалов о растительности и рельефе, а также общих физико-географических представлений [2–5].

Для тестирования результатов автоматизированной классификации данных КА Landsat, полученных 03.05.1990 г., использовались материалы полевых исследований, выполнявшихся до 1990 г. Отметим, что большая часть перечисленных фондовых данных о растительности исследуемого района была получена на основе полевых наблюдений, выполненных более 20 лет назад, поэтому они оказались недостаточно пригодными для тестирования материалов космической съемки высокого разрешения. Прежде всего, при использовании опубликованных фондовых материалов значительные трудности возникают при необходимости привязки полевых наблюдений к картографической основе.

Для тестирования результатов автоматизированной классификации данных КА RapidEye, полученных 21.08.2009 г., использованы опубликованные материалы полевых наблюдений, выполненных в исследуемом районе в 2004–2007 гг. сотрудниками географического факультета МГУ [6]. Результаты этих полевых наблюдений, в частности, содержат данные таксации древостоя на трансектах с шагом не более 20 м и шириной не менее 20 м, с измерением следующих параметров каждого дерева: высота (м), диаметр ствола (см), диаметр кроны (м), возраст, ярус, состояние. Трансекты проходят от точки 33°20' в.д. и 57°58' с.ш. вдоль меридиана 33°20' в.д. и круга широты 57°58' с.ш., т.е. на расстоянии около 500 м западнее и севернее от мачт лесной градиентной установки. Кроме того,

трансекты пересекают ряд типичных ландшафтов этого района. Выделенные классы растительного покрова в наибольшей степени совпадают с классами поверхности рельефа. Наиболее достоверно классы растительного покрова выделяются в границах урочищ.

Все выделенные классы достоверно подтверждаются (распознаются) полевыми данными, причем еловые сомкнутые леса как доминантный тип растительных сообществ имеют самый высокий процент распознавания. Высокая корреляционная связь приурочена к вершинам и склонам моренных и камовых холмов, а также к крутым приозерным берегам и долинам рек. В этих экотопах доминируют разные типы ельников. Следовательно, отмечается довольно строгое соответствие классов растительности условиям местообитания данных комплексов.

В переходных позициях на покатых и крутых склонах коэффициент корреляции меньше. В этих местообитаниях к ельникам примешиваются сосняки и мелколиственные породы, которые недостоверно различаются на снимках, полученных в начале мая и в конце августа, по-видимому, из-за изменения отражательной способности кроны. Болотные и заболоченные местообитания и антропогенно-нарушенные земли характеризуются слабой корреляционной связью. Низкая связь обусловлена как высоким варьированием растительного покрова в зависимости от изменения увлажнения на болотах и заболоченных местообитаниях, так и сильным изменением отражательной способности кроны мелколиственных и сосновых сообществ, преобладающих в данных экотопах.

Сопоставление классов древесной растительности (на основе тематических карт структуры растительности, полученных по данным спутниковой съемки с интервалом около 20 лет), показало, что наиболее значимыми факторами, определяющими структуру пространственного распределения растительности в исследуемом районе, являются параметры структуры поверхности рельефа и обусловленные ими параметры распределения гидрологического стока и увлажнения территории (высота, уклоны, удельная площадь водосбора), а также морфометрические величины, описывающие ландшафтно-геохимические механизмы аккумуляции вещества (уклоны, кривизна).

муляции вещества (уклоны, кривизна).

Сравнение дешифрированных классов с полевыми лесотаксационными данными, полученными в 2004–2006 гг., подтвердило вывод о том, что максимальный вес в распознаваемости классов вносят суммы диаметров стволов отдельных пород. Высокая роль для распознавания классов принадлежит количеству деревьев основной породы и сумме запасов древостоя. То есть суммы диаметров стволов пород являются хорошим показателем породного состава древостоя, степени сомкнутости и диаметра кроны и, следовательно, спектральных характеристик полого леса. Соответственно этот показатель может быть наиболее достоверно интерполирован по космическому изображению на достаточно обширную площадь.

Сопоставление с ландшафтной картой и данными полевых исследований подтвердило априорную информацию о том, что ель является доминантной породой в пределах ландшафта мелкохолмистой моренно-камовой равнины. Ельники преобладают в пределах урочищ моренных холмов и гряд на вершинах холмов. Здесь сумма диаметров ели (по площадкам 20x20 м) достигает 250–350 см. Классы еловых лесов наиболее часто встречаются в пределах ландшафта, представленного пологими и пологопокатыми склонами холмов. Здесь сумма диаметров ели достигает максимального значения 450–550 см, а запасы древостоя – 600–700 м³/га. Наиболее характерные участки произрастания сосны расположены в пределах урочищ выпуклых вершинных поверхностей холмов, где суммы диаметров сосны составляют в среднем 250–300 см. В типично сосно-

вых обитаниях – урочищах верховых сфагновых болот, соответствующих местностям озерно-водно-ледниковой равнины, – суммы диаметров сосны составляют в среднем 350–400 см. Классы заболоченных елово-сосновых лесов и заболоченных участков под смешанным лесом преобладают в пределах возвышенных дюнных гряд и заболоченного ландшафта зандров, где формируется заболоченный лес. Здесь суммы диаметров древостоев достигают максимальных значений (400–500 см). В этих природных комплексах, по-видимому, образуются неблагоприятные, экстремально влажные и сухие условия для роста и развития конкурентов сосны (ель). Наиболее резкое изменение состава лесной растительности отмечается при смене моренно-камовых ландшафтов на ландшафты зандровых равнин – еловые леса сменяются елово-сосновыми. Согласно полевым данным, смена местностей отмечается по появлению второстепенных древесных пород, а также по изменению суммы диаметров какой-либо второстепенной породы; появление березы, а особенно ольхи в болотных условиях является индикатором повышения трофности и смены типа болот. Эти факты следует детально учитывать при проведении полевых исследований.

Достоверность классификации определялась по выделенным классам лесной растительности (рис. 2, 3), пересекающимся указанными выше ландшафтными трансектами. Результаты оценки качества классификации по данным КА Landsat и по данным КА RapidEye представлены в табл. 1.

Таблица 1.

Оценка качества распознавания классов лесной растительности, полученных методом автоматизированной классификации с использованием снимков КА Landsat и КА RapidEye, по данным ландшафтной карты и полевых описаний древостоев

| Классы лесной растительности | Процент достоверно распознанных классов | |
|--|---|-------------------------------------|
| | Изображения КА Landsat (разр. 30 м) | Изображения КА RapidEye (разр. 5 м) |
| 1 Еловые леса сомкнутые | 65 | 83 |
| 2 Елово-сосновые леса | 43 | 54 |
| 3 Смешанные леса | 60 | 78 |
| 4 Заболоченные елово-сосновые леса | 46 | 61 |
| 5 Заболоченные участки под смешанным лесом | 43 | 59 |

Из приведенных в табл. 1 данных видно, что процент достоверно распознанных классов лесной растительности значительно выше при использовании изображений КА RapidEye. Еловые сомкнутые леса как доминантный тип растительных сообществ имеет самый высокий процент распознавания. В целом распознаваемость описанных в поле древостоев на основе дешифрованных классов превышает 50%, что говорит об удовлетворительной согласованности данных и пригодном для экстраполяции качестве классификации. Основная доля в ошибках распознаваемости классов приходится на соседние, близкие по содержанию и смыслу классы. Определенная доля ошибки связана с различием характеристик съемки, а именно с годом

Процентное содержание объектов, дешифрованных на одной и той же территории по фрагментам изображений КА Landsat и КА RapidEye

| Объекты | Процентное содержание объектов, дешифрованных на одной и той же территории | |
|--|--|----------------------|
| | Landsat: 03.05.1990 | RapidEye: 21.08.2009 |
| 1 Еловые леса сомкнутые | 13,8 | 25,1 |
| 2 Еловые разреженные леса | 17,1 | 15,7 |
| 3 Елово-сосновые леса | 2,7 | 4,3 |
| 4 Смешанные леса | 7,3 | 4,8 |
| 5 Заболоченные елово-сосновые леса | 7,9 | 9,5 |
| 6 Болота | 7,8 | 5,0 |
| 7 Заболоченные участки под смешанным лесом | 1,5 | 2,0 |
| 8 Луговая растительность | 14,1 | 6,6 |
| 9 Антропогенные ландшафты | 1,8 | 2,7 |
| 10 Вода | 26,0 | 24,3 |

Тематические карты структуры растительности, полученные с использованием изображений КА RapidEye, позволяют более надежно выделять классы, различающиеся по характеру растительного покрова, породному составу, продуктивности и степени увлажнения. Следовательно, они более достоверно характеризуют современную структуру растительного покрова и наиболее предпочтительны для целей выявления факторов пространственной дифференциации древесной растительности.

Результаты проведенного комплексного анализа обработанных материалов спутниковых и наземных наблюдений позволили определить состав полевых

съемки, сезоном и с разрешением – 30 м и 5 м. Поэтому использованные для тестирования данные полевых наблюдений, выполненных в различные годы и отличающихся по точности привязки к картографической основе, могут попадать в другие классы.

Сравнение с данными полевых наблюдений показывает, что снимки RapidEye позволяют значительно повысить точность выделения еловых сомкнутых лесов и участков, занятых луговой растительностью. Об этом свидетельствуют данные табл. 2, где результаты классификации по снимку КА RapidEye сопоставлены с результатами классификации для того же участка по данным КА Landsat.

Таблица 2.

наблюдений, необходимых для уточнения тематических карт состояния растительного покрова экспериментального участка «лог Таежный» и сопредельных территорий, получаемых методом автоматизированной классификации многозональных спутниковых изображений высоко разрешения. Для использования методов автоматизированного распознавания (с обучением) прежде всего необходимо получение более детальных (ранга подурочищ) данных о единицах растительного покрова на ключевых экспериментальных участках с привязкой наземных объектов с помощью GPS-приемников. Поскольку результаты тестирования полученных тематических карт состояния растительного покрова выявили слабую кор-

реляционную связь по отношению к классам растительности, соответствующим болотным и заболоченным местообитаниям, в первую очередь требуется актуализация данных для участков верховых олиготрофных и низинных болот, расположенных на расстояниях 500-2000 м южнее и восточнее экспериментального участка «лог Таежный».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Использование данных КА RapidEye позволило получить детальные данные о распределении растительного покрова и других объектах окружающей природной среды на полигоне «лог Таежный».
2. Тематические карты, полученные на основе использования данных КА RapidEye, позволяют осуществить более точную расстановку тестовых участков для проведения классификации (по методу распознавания с обучением) многоканальных спутниковых изображений, полученных с других космических аппаратов.
3. Использование данных КА RapidEye позволило уточнить состав полевых наблюдений для более полного представления о распределении природных объектов тестовой территории.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Асмус В.В., Бучнев А.А., Пяткин В.П. Контролируемая классификация данных дистанционного зондирования Земли. //Автометрия. 2008., том 44, №4, с. 1-8.
2. Ватковский О.С. Анализ формирования первичной продуктивности лесов. М., 1976. - С. 85-113.
3. Лазукова Г.Г., Герасимова М.И. Сосновые биогеоценозы Валдая и возможные пути их трансформации. /Мелиорация почв Русской равнины. М., 1982. - С. 175-186.
4. Структура и функционирование экосистем Южной тайги. Институт географии АН СССР, М., 1986.
5. Экология и продуктивность лесов Нечерноземья (на примере Валдая). Изд-во МГУ, 1980, 143 с.
6. Акбари Х, Сысуев В.В., Бондарь Ю.Н. Индикаторные свойства древостоя в ландшафтах краевой зоны валдайского оледенения. // Вестник МГУ, серия 5, география, № 6, 2006. - С. 59-65.

ГЛАВНОЕ СОБЫТИЕ В ОБЛАСТИ НАВИГАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В РОССИИ

РЕГИСТРАЦИЯ:
+7 (495) 784 66 25

Международный
конгрессно-выставочный
проект

НАВИГАЦИОННЫЕ
СИСТЕМЫ, ТЕХНОЛОГИИ И УСЛУГИ

Генеральный
Информационный
Партнер



Генеральный
Интернет-Партнер



Экспертные
Партнеры



IV МЕЖДУНАРОДНЫЙ ФОРУМ ПО СПУТНИКОВОЙ НАВИГАЦИИ 1-2 ИЮНЯ 2010

МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА
НАВИТЕХ-ЭКСПО
1-3 июня / www.navitech-expo.ru

ЦВН «ЭКСПОЦЕНТР»
Москва, Россия

WWW.GLONASS-FORUM.RU
WWW.NAVIGATION-FORUM.RU
INFO@NAVIGATION-FORUM.RU

К участию приглашены:

отраслевые ведомства и ассоциации, НИИ, ОАО «НИС», ОАО «Российские космические системы», ОАО «Концерн ПВО «Алмаз-Антей»; ЗАО «КБ НАВИС»; ОАО «РИРВ»; NAVTEQ CIS; НПП «Транснавигация»; ОАО «МКБ «КОМПАС»; Торсион Positioning Systems Inc. «Навигационные системы» (ПО Автоспутник); «М2М телематика»; SPIRIT TELECOM; Ижевский радиозавод; ГОС НИИ Аэронавигация; НПК «ДЖИ ПИ ЭС КОМ»; ОАО «НИИАС»; ООО «Макро ГРУПП»

Организаторы форума



Организатор выставки

