

УДК 504.064.37

Спутниковый мониторинг горных лесных экосистем Саян

Е.И. Пономарёв*,

Д.М. Исмаилова, Д.И. Назимова

*Институт леса им. В.Н. Сукачёва СО РАН,
Россия 660036, Красноярск, Академгородок, 50/28¹*

Received 4.03.2011, received in revised form 11.03.2011, accepted 18.03.2011

В статье предлагается новый подход к использованию данных дистанционного зондирования низкого и среднего пространственного разрешения для картирования и сезонного мониторинга лесного покрова. Приводятся результаты исследований структуры и динамики растительности, с 1960 г. проводимых на трех ключевых участках, расположенных в Западном и Восточном Саяне. Спутниковые данные (NOAA/AVHRR and TERRA/Modis imagery) о районе исследования доступны за 1996-2009 гг. Характеристики различных лесных поясов и формаций были показаны в контексте их идентификации и изменения спектральных характеристик в течение периода вегетации. Детальная характеристика горных лесных высотно-поясных комплексов с потенциально различным составом лесобразователей важна для организации эффективного управления лесами и мониторинга на региональном и локальном уровне.

Ключевые слова: горные бореальные леса, высотно-поясные комплексы, данные дистанционного зондирования, база данных, сезонный мониторинг, спектральные характеристики.

Введение

Горные лесные экосистемы Саян характеризуются высокой степенью изменчивости на высотном градиенте, а также спецификой их функционирования, проявляющейся на ландшафтно-экологическом уровне. Изучение данных особенностей экосистем основывается на результатах многолетнего пространственно-временного анализа, выполняемого для обширных территорий юга Сибири. Такого рода мониторинг биоразнообразия и сезонного функционирования гор-

ных лесных экосистем требует привлечения материалов спутниковых съемок. При этом немаловажное значение имеет регулярность обновления спутниковых данных в течение сезона вегетации, что накладывает ограничения на выбор используемых спутниковых систем.

Методические основы и принципы использования данных дистанционного зондирования разрабатываются с середины XX в. для различных целей, в том числе геоботанического и ландшафтного картографирова-

* Corresponding author E-mail address: evg@ksc.krasn.ru

¹ © Siberian Federal University. All rights reserved

ния, мониторинга за состоянием различных компонентов экосистем (Виноградов, 1984; Gates et al., 1965; Goward, 1989; Барталев и др., 1998; Bohn et al., 2000), а также при описании биоклиматического расчленения горных областей и прилегающих к ним пространств, связанного с флористическим составом растительности, историей его формирования, современными динамическими процессами (Ермаков, 2009).

В настоящее время с использованием снимков разного пространственного разрешения (SPOT-Vegetation, TERRA/Modis, NOAA/AVHRR, Landsat-7) выполняется обзорное картографирование растительности различных районов Алтае-Саянского экорегиона (Назимова и др., 2005; Ермаков и др., 2007 и др.) и других районов Сибири (Kharuk et al., 2003). Несмотря на сложность общей картины и конфигурации зон, региональные биоклиматические модели растительности позволяют определить современные зоны по ключевым показателям климата – теплообеспеченности, влагообеспеченности и степени континентальности (Поликарпов и др., 1986; Биоразнообразие..., 2006).

Регулярные спутниковые съемки позволяют проследить изменение спектральных характеристик природных зон и высотных поясов, проявляющееся как в пространстве, так и во времени. Это новый аспект изучения функционирования зональных экосистем. Данный подход эффективно работает при использовании серий съемок исследуемого района, отражающих динамику развития в течение всего периода вегетации, а также отдельных сроков, приуроченных к определенным фенофазам (Nazimova et al., 2000; Bartaley, Belward, 2002; Коновалова, Дробушевская, 2002).

Основная цель данного исследования направлена на выявление и идентификацию высотно-поясных подразделений лесного по-

крова и анализ вариации соответствующих спектральных признаков, проявляющихся при проведении дистанционных съемок со спутников.

Район работ, материалы и методы

Исследования проведены на тестовых участках Восточного Саяна – полигоны «Дивногорский», «Столбы» и Западного Саяна – полигон «Ермаковский» (рис. 1). Здесь представлено все разнообразие хвойных лесообразователей и три высотно-поясных комплекса (ВПК) – подтаежный светлохвойный (сосново-мелколиственный), черневой осиново-пихтовый с кедром и горно-таежный пихтовый, типичных для низкогорных ландшафтов с гумидным климатом. Классы ВПК соответствуют лесорастительным поясам и объединяют одноименные ВПК разных округов Северной Алтае-Саянской провинции по сходству климата и потенциального состава лесообразователей.

Сопряженный анализ был реализован по данным многолетних спутниковых съемок и материалов наземного обследования ключевых участков, которые взяты в качестве основы при калибровке и валидации результатов дешифрирования спутниковых материалов.

В работе использовались данные много-спектральной съемки низкого пространственного разрешения со спутников TERRA/Modis (250 м, 1000 м). Основное их достоинство применительно к данной задаче – высокая обзорность и скорость обновления информации, что является необходимым условием для проведения мониторинга фенологического состояния экосистем. Обработывались данные в трех спектральных диапазонах TERRA/Modis: 0,62 – 0,67 мкм, 0,84 – 0,87 мкм (каналы 1 и 2, ориентированные на анализ вегетационных признаков) и 10,78 – 11,28 мкм (канал 31,

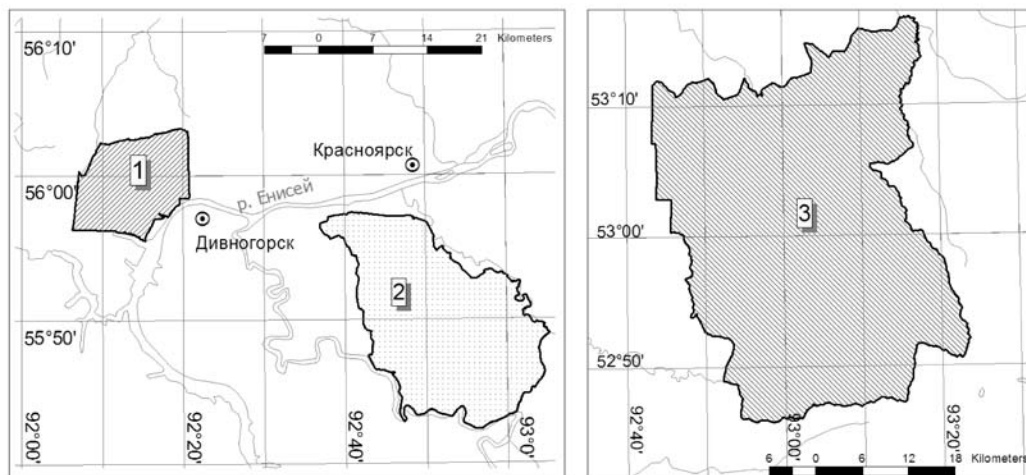


Рис. 1. Район исследований. Тестовые полигоны: 1 – «Дивногорский», 2 – «Столбы», 3 – «Ермаковский»

фиксирующий радиометрическую температуру поверхности). С учетом информативности съемки за 2005-2009 гг. нами было отобрано 9 снимков, представляющих район исследования в весенний период, 20 снимков периода лета и 8 снимков за сентябрь-октябрь. Ранее (Nazimova et al., 2000; Назимова и др., 2005) аналогичные исследования проводились нами на материалах съемки NOAA/AVHRR в 1, 2 и 5 каналах, имеющих рабочие диапазоны 0,58 – 0,68 мкм, 0,725 – 1,10 мкм, 11,5 – 12,5 мкм соответственно.

Указанные в работе спутниковые данные были подвергнуты предварительной обработке, включая навигационную коррекцию, коррекцию на угол Солнца, калибровку данных и преобразование в заданную географическую проекцию. Классификация спутниковых данных основывается на общеизвестных методах и алгоритмах контролируемой классификации (Берлянт, 2000) с использованием общеизвестных программных продуктов (ERDAS IMAGINE).

Для сопоставления, проверки и детализации результатов взяты композитные кадры, полученные с аппарата SPOT-4 (про-

странственное разрешение 20 м) в результате пространственного совмещения серии сцен в границах тестовых участков. Используемые каналы имеют рабочие диапазоны 0,50 – 0,59 мкм, 0,61 – 0,68 мкм и 1,58 – 1,75 мкм. В работе мы брали данные съемки за вегетационный период (май – август) 2009 г.

Банк данных по структуре и динамике растительного покрова тестовых полигонов был сформирован на основе проведенных долговременных (1960 – 2009 гг.) наземных обследований (Исмаилова, Назимова 2009; Гостева и др., 2004). Обработка была проведена с использованием возможностей геоинформационных систем (ГИС). ГИС ключевых полигонов содержит оцифрованный по каждому выделу план лесонасаждений, таксационные описания и цифровую векторную модель рельефа (Бабой и др., 2009).

На стадии предварительной обработки при проведении классификации материалов спутниковых съемок сигнатуры обучающих выборок были согласованы с данными наземных обследований. Такой же подход применен при калибровке и валидации результатов классификации. Выделяемым классам

присваивалась атрибутивная информация из банка данных наземных обследований.

Результаты и обсуждение

В ходе обработки спутниковой информации и сравнения ее с наземными данными выявлено структурное разнообразие ВПК на уровне слагающих их формаций и серий типов леса, а также на уровне эколого-ценотических групп (ЭЦГ) травяного покрова. Спектры ЭЦГ послужили надежным интегральным диагностическим признаком для выделения подтайги, черневого и таежного ВПК даже при сильной антропогенной нарушенности лесов и смене состава древостоя, поскольку являются надежными индикаторами экологических особенностей и сезонной ритмики ВПК (Молокова, Назимова, 1995).

Результаты классификации снимков TERRA/Modis в пределах точности, определяемой пространственным разрешением, показали удовлетворительное совпадение с наземными данными. На снимках полигона «Столбы» (Восточный Саян) успешно клас-

сифицируются подтаежный (с фрагментами лесостепи) и горно-таежный темнохвойный ВПК (рис. 2). Зональная статистика выделяемых классов варьирует в течение сезона вегетации (Дробушевская, Пономарев, 2006). Кроме того, в силу ограничений, накладываемых разрешающей способностью съемки, ошибку вносят интразональные категории (в частности, темнохвойные насаждения в долинах рек), которые не выделяются в самостоятельный класс с удовлетворительной точностью. Анализ зональной статистики, усредненной по результатам классификации, представлен в табл. 1. В течение сезона вегетации в буферной зоне между ВПК наблюдается взаимное перераспределение. Наибольшая степень вариации результатов классификации проявляется в середине лета, в то время как съемки, проведенные весной и в конце лета, позволяют получить наиболее приемлемые оценки существующих классов ВПК. Класс интразональных темнохвойных насаждений (ельников в долинах рек) в силу причин, оговоренных выше, на результи-

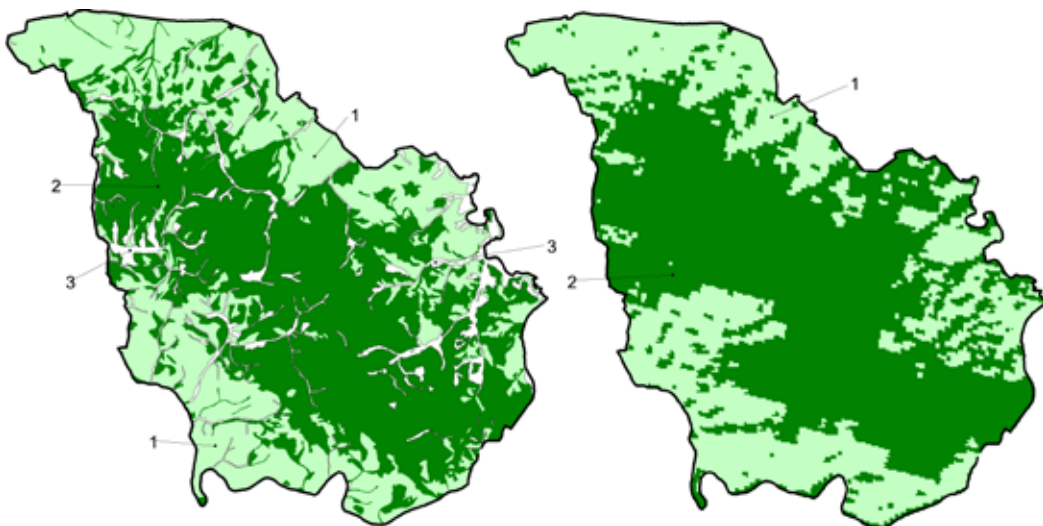


Рис. 2. Идентификация высотно-поясных комплексов (ВПК) на основе обработки материалов съемки TERRA/Modis. Полигон «Столбы». Слева – векторная карта по результатам лесоустройства, справа – результат классификации изображения с последующей бинаризацией. 1 – подтаежно-лесостепной ВПК, 2 – горнотаежный ВПК, 3 – интразональные категории (ельники в долинах рек)

Таблица 1. Средние значения взаимных перекрытий классов, %

№	Высотно-поясные комплексы	Классы по TERRA/Modis	
		1	2
1	Подтаежно-лесостепной	67,5	32,5
2	Горно-таежный	19,7	80,3
3	Интразональный	73,5	26,5

рующей картосхеме включен в подтаежный ВПК.

При анализе снимков TERRA/Modis на территорию полигона «Дивногорский» дополнительно внутри темнохвойного ВПК были идентифицированы площади с преобладанием кедра, вырубок и молодняков лиственных пород. Детализации подвергся и ВПК светлохвойно-мелколиственных травяных лесов (подтайги). По результатам проведенной классификации, согласующимся с данными инвентаризации, сосняки с примесью березы составляют около 70 %, а границы контуров близки к границам полигонов векторного слоя, сформированного по данным лесоустройства (рис. 3). Листопадные хвойные (лиственница) и мелколиственные (осина) в данном случае объединились и попали в категорию «безлесные территории», что можно отчасти объяснить сроком проведения съемки (ранняя весна) до распускания хвои и листвы у этих древесных видов.

Таким образом, обработка съемки TERRA/Modis позволяет оценить соотношение групп формаций и некоторых более мелких категорий, а кроме того, с обусловленной масштабом съемки точностью выявлять границы зон тайги и подтайги и проводить дифференциацию внутри каждого из этих ВПК. Доступность этой информации в различные сроки вегетации дает возможность отслеживать кратковременную и долговременную динамику состояния лесного покрова.

Как уже отмечалось, показатель обеспеченности теплом во многом определяет переход между высотными поясами. Один из возможных подходов для вычисления соответствующего показателя – анализ съемки в инфракрасном диапазоне спектра, в частности использование тепловых каналов TERRA/Modis. Распределение температурного поля является одной из спектральных характеристик растительного покрова, представляющей интегральный вклад всех компонентов экосистемы (подстилающая поверхность, формационный состав) и их состояния (степень нарушенности, фенологическое состояние, степень сомкнутости верхнего полога). По нашим оценкам, в избыточно-влажном климатическом секторе Саян, куда относится полигон «Ермаковский» (Поликарпов и др., 1986), смена высотных поясов по всему профилю коррелирует с градиентом температурного поля, построенного на основе съемки TERRA/Modis в тепловом диапазоне (31 канал). При этом пространственная локализация низкорослых ВПК (подтаежного и черневого) в большей части коррелирует с распределением температурного поля начала июня – это раннелетняя фаза сезона вегетации. Светлохвойно-мелколиственные разнотравные леса подтайги уже опережают в своем сезонном развитии пихтово-осиновые и кедрово-пихтовые крупнотравно-папоротниковые черневые леса на 4 – 5 дней за счет более раннего таяния снега и лучшего

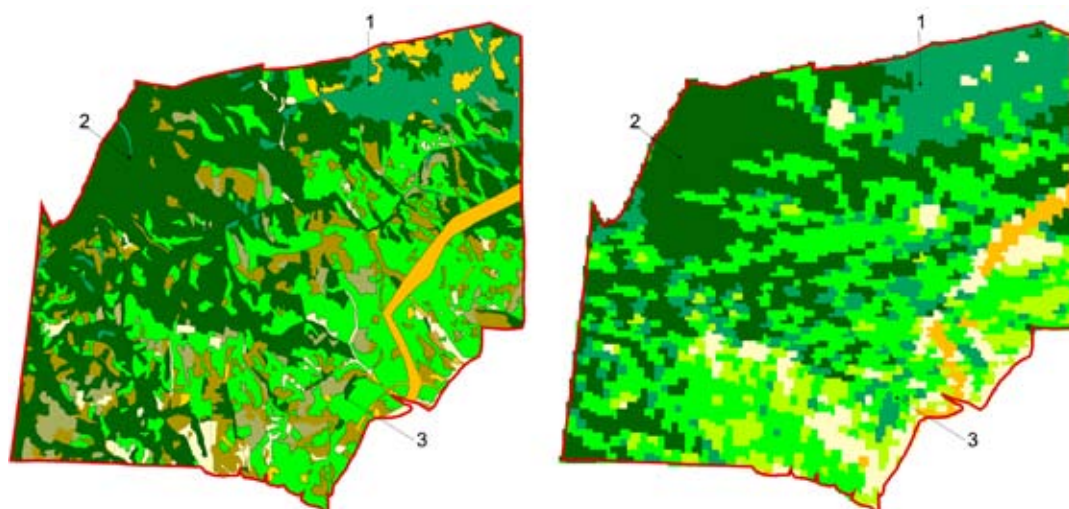


Рис. 3. Пример идентификации высотных поясов на основе обработки данных TERRA/Modis. Полигон «Дивногорский». Основные классы: 1 – таежно-черновой ВПК, участки с преобладанием кедра; 2 – таежно-черновой ВПК, территории с преобладанием темнохвойных (пихта; в долинах ель); 3 – подтаежный ВПК, территории с преобладанием сосны

прогрева. Разница значений радиометрической температуры поверхности вдоль профиля протяженностью 40 км может составлять 10 – 15 °С, снижаясь к середине лета до 2 – 5 °С.

Отмечено, что высотно-поясная дифференциация может искажаться на температурных картах вследствие различного рода антропогенных воздействий, например после проведения условно-сплошных вырубок на горных склонах. Так, выделенная на выноске (рис. 4) область имеет температурный режим, отличный от окружающей территории таежно-чернового ВПК (рис. 4, выноска, *a*), что обусловлено присутствием новых вырубок в таежно-черновых кедровниках, заросших крупнотравьем и кустарниками (рис. 4, выноска, *b*). Прослеженные изменения не были учтены в векторных картографических слоях, созданных без учета данных дистанционного зондирования последних лет. При этом представленный участок детектируется как на материалах съемки среднего пространственного разрешения (фрагмент сним-

ка SPOT-4 представлен на рис. 4 на выноске), так и на съемках с низким разрешением, например в тепловом диапазоне радиометра TERRA/Modis.

В целом высотный градиент радиометрической температуры в зоне перехода от подтайги к высокогорному ВПК не остается постоянным, и в течение вегетационного сезона наблюдается его динамика. Она не всегда однозначна, как показывает сравнение материалов спутниковых съемок в разные периоды. Данные наземных наблюдений, как следует ожидать, помогут обобщить эти закономерности при обработке большего количества данных.

За рубежом использование космической съемки началось значительно раньше, однако сделать вывод о том, что в России картирование лесов бореальной зоны Евразии отстает от зарубежного уровня, было бы неверно.

В Институтах географии РАН и СО РАН работы В.А. Николаева, Ю.С. Толчельникова, С.В. Викторова и А.С. Викторова, Ю.Г. Пузаченко с соавторами и др. связаны с внедрени-

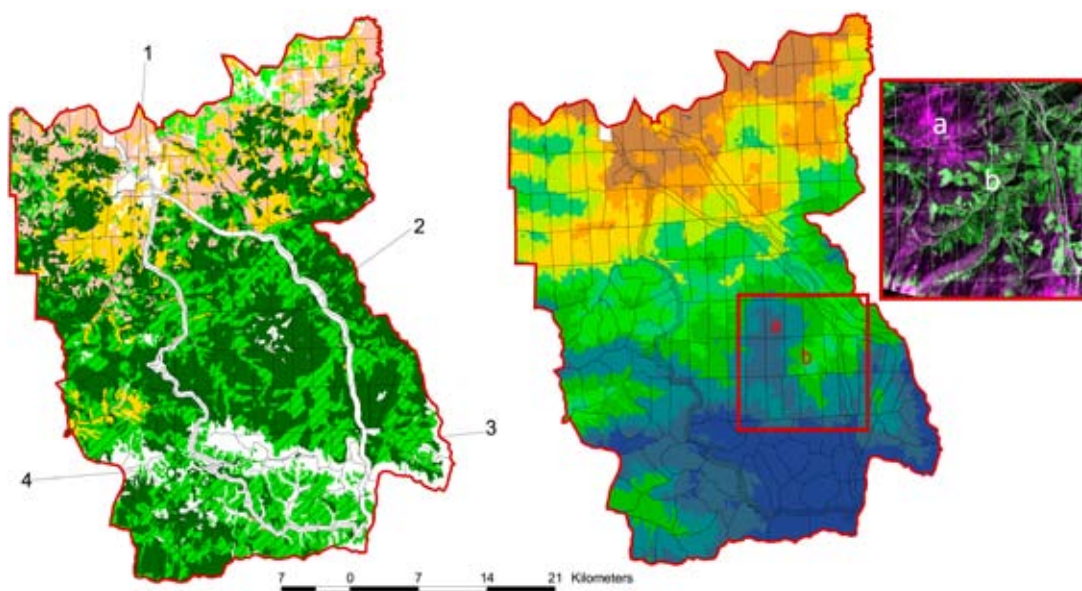


Рис. 4. Пример классификации спутниковых данных и анализ температурных градиентов. Полигон «Ермаковский». Слева – векторная карта по материалам лесоустройства, справа – картосхема по результатам обработки съемок в тепловом диапазоне. Условные обозначения: 1 – подтайга сосново-мелколиственная (*Pinus sylvestris*, *Betula pendula*); 2 – низкорные черневые леса: мелколиственные (*Betula platyphilla*, *B. alba*, *Populus tremula*), пихтовые (*Abies sibirica*) и смешанные на месте старых вырубках в черневых кедровниках с пихтой (*Pinus sibirica*, *Abies sibirica*); 3 – среднегорные таежно-черневые (*Abies sibirica*, *Pinus sibirica*); 4 – субальпийские редколесья (*Pinus sibirica*, *Abies sibirica*), луга, ерники, тундры. На выноске – фрагмент изображения SPOT-4: а – таежно-черневой ВПК; б – вырубки в таежно-черневых кедровниках, заросшие крупнотравьем и кустарниками

ем цифровых методов тематической картографии с использованием ДДЗ в ландшафтную индикацию, в решение прикладных задач исследований почв, растительности, ландшафтного покрова. В последние годы обобщение трудов по данной тематике сделано в ряде монографий (Белов и др., 2002; Коновалова, 2009 и др.). Эти работы высветили перспективы разрабатываемого подхода к полисистемному картографированию на основе учения о геосистемах В.Б. Сочавы и применения ДДЗ (Географические исследования..., 2007). Сотрудниками ИКИ в составе международной группы создана карта растительности России на основе снимков Spot Vegetation (Bartalev et al., 2003). Однако в подобных работах, как правило, не проводится дифференциации лесных поясов по биоклиматическим при-

знакам, что не позволяет выделить горные пояса лиственно-светлохвойной подтайги и лиственно-темнохвойных черневых лесов, потому что доля мелколиственных в том и другом поясе преобладает.

Преимущество нашей работы – принципиально новая легенда, отражающая структуру высотной поясности на макросклонах горного окружения. Пояса рассматриваются как биогеоклиматические единицы зонального ранга, для которых важна сезонная динамика, поэтому признаки фенологического состояния экосистем на космоснимках применяются нами в качестве диагностических. В нашей работе мы используем эколого-ландшафтный подход, развитый для российских условий В.Б. Сочавой и А.Г. Исаченко, а он близок к биогеоклиматическому зонированию горных

территорий в работах зарубежных авторов (Ecosystems of British Columbia, 1991 и др.).

Предложенный подход позволяет выделять на спутниковых изображениях низкого пространственного разрешения (таких как NOAA/AVHRR, TERRA/Modis) классы ВПК для Западного и Восточного Саяна: подтаежный, черневой (таежно-черневой), горно-таежный, высокогорный, которые образуют высотные спектры в двух лесорастительных провинциях с разной степенью гумидности климата. Они представляют собой разные высотные лесорастительные пояса, которые целесообразно отражать на картах и на планах насаждений в среднем масштабе (1:50 000 и мельче). Их практическое значение для многоцелевого природопользования очевидно. По результатам проведенных исследований сделан вывод о необходимости использования съемок в тепловом диапазоне спектра в целях мониторинга сезонной ритмики развития горных экосистем и уточнения контуров ВПК. Этот подход предполагается в дальнейшем применять при картографировании всей зоны южной тайги Средней Сибири по спутниковым снимкам низкого и среднего пространственного разрешения.

Спутниковые съемки в различных диапазонах спектра позволяют фиксировать текущие изменения в структуре растительного покрова горных территорий, связанные с антропогенными воздействиями и иными природными факторами. Такого рода изменения могут быть зафиксированы на снимках высокого разрешения, а также и при сопряженном анализе данных низкого пространственного разрешения. Материалы спутниковых съемок приобретают большую информативность по мере их накопления как за разные годы, так и в различные фенологические сроки. Эти данные незаменимы для мониторинга функционирования лесных экосистем и выявления

их критических состояний, особенно вблизи южного предела их естественного произрастания.

Разрабатываемый подход к картографированию и мониторингу состояния лесов в Сибири опирается на систему фундаментальных географических знаний и связан с созданием интегрированных ГИС. Эта преемственность – необходимое условие успешного применения создаваемых ГИС в практических целях.

Заключение

Во влажном климатическом секторе Саян по снимкам поздней весны и конца лета были получены наиболее приемлемые границы ВПК подтайги и темнохвойной горной тайги, согласующиеся с материалами лесостроительства и наземными исследованиями. С помощью съемки TERRA/Modis проведена оценка соотношения групп формаций темнохвойных, светлохвойных, мелколиственных лесов и некоторых более дробных категорий и дифференциация контуров формаций внутри каждого из этих ВПК.

В избыточно-влажном климатическом секторе Саян смена высотных поясов по всему профилю коррелирует с градиентом температурного поля. Эта корреляция прослеживается на картах тепловых полей, построенных по данным съемки TERRA/Modis в тепловом диапазоне (31 канал). Фенологические различия светлохвойно-мелколиственных разнотравных лесов подтайги и пихтово-лиственных крупнотравно-папоротниковых черневых лесов наиболее значимо проявляются в начале лета (третья декада мая – июнь), что определяет более высокий уровень надежности их разделения при использовании сопряженного анализа спектральных характеристик покрова и тепловых каналов.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ №08-04-00-600-а и №08-04-00-613-а, № 09-04-98040-р_Сибирь_а и Проекта СО РАН №27.2 в рамках Программы РАН «Биологическое разнообразие».

Список литературы

Бабой С.Д., Гостева А.А., Исмаилова Д.М., Назимова Д.И., Степанов Н.В. (2009) Создание банка данных по разнообразию флоры и растительности черневых лесов Западного Саяна. Формирование баз данных по биоразнообразию – опыт, проблемы, решения: мат. Междунар. научно-практ. конф. Барнаул, с. 38-43.

Барталев С.А., Ершов Д.В., Исаев А.С. (1998) Оценка дефолиации лесов по носпектральным спутниковым изображениям методом декомпозиции спектральных смесей. Исследование Земли из космоса. 3: 95 –107

Белов А.В., Лямкин В.Ф., Соколова Л.П. (2002) Картографическое изучение биоты. – Иркутск: Облмашинформ, 160 с.

Берлянт А.М. (2000) Дистанционное зондирование и географические информационные системы. Часть. 1. М.: ИННЕКС-92, 140 с.

Биоразнообразие и динамика экосистем: информационные технологии и моделирование. (2006) Ред. В.К. Шумный, Ю.И. Шокин, Н.А. Колчанов, А.М. Федоров. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 648 с.

Виноградов Б.В. (1984) Аэрокосмический мониторинг экосистем. М.: Наука, 320 с.

Географические исследования Сибири. (2007) Т.4. Полисистемное тематическое картографирование. Ред. Черкашин А.К. Новосибирск: Гео, 412 с.

Гостева А.А., Ерунова М.Г., Садовский М.Г. (2004) Пространственный анализ природных ресурсов особоохраняемых территорий с использованием ГИС. Вычислительные технологии. 9(42): 141-146.

Дробушевская О.В., Пономарев Е.И. (2006) Опыт использования данных TERRA/Modis для сравнения фенологических ритмов светлохвойной подтайги и темнохвойной тайги Приенисейской части Саян. Ботан. исслед. в Сибири, вып. 14, с. 35 – 38.

Ермаков Н.Б., Полякова М.А., Попов Д.Ю., Голомовзин В.В. (2007) Моделирование пространственной организации растительности горных территорий на основе данных дистанционного зондирования и цифровой модели рельефа. Вычислительные технологии. 12 (2): 42 – 59.

Ермаков Н.Б. (2009) Принципы создания карты циркумбореальной растительности Материалы конференции «Эколого-географические аспекты лесообразовательного процесса». 23-25 сентября 2009 г. Красноярск, с. 66-69.

Исмаилова Д.М., Назимова Д.И. (2009) База данных по постоянным объектам как основа мониторинга динамики фитоценотической структуры лесов. Формирование баз данных по биоразнообразию – опыт, проблемы, решения: мат. Междунар. научно-практ. конф. Барнаул, с. 105-111.

Коновалова М.Е., Дробушевская О.В. (2002) Опыт применения аэрокосмических методов исследования при изучении лесовосстановительного процесса в гумидных низкогорных ландшафтах Восточного Саяна. III Всерос. конф. «Аэрокосмические методы и геоинформационные технологии в лесоводстве и лесном хозяйстве». М., ВНИИЦлесресурс, с. 157-160.

Коновалова Т.И. (2009) Пространственно-временная самоорганизация геосистем юга Средней Сибири: автореферат дис. ... доктора географических наук: 25.00.23. Иркутск, 44 с.: 9 09-3/877.

Молокова Н.И., Назимова Д.И. (1995) Эколого-биологические спектры горных лесов избыточно-влажного климата Саян. Ботанический сборник, вып. 4, Красноярск, с. 43-51

Назимова Д.И., Пономарев Е.И., Степанов Н.В., Федотова Е.В. (2005) Черневые темнохвойные леса на юге Красноярского края и проблемы их обзорного картографирования. Лесоведение. 1: 12-18.

Поликарпов Н.П., Чебакова Н.М., Назимова Д.И. (1986) Климат и горные леса Южной Сибири. Новосибирск: Наука, 216 с.

Типы лесов гор Южной Сибири. (1980) Ред. Смагин В.Н. и др. Новосибирск: Наука, 333 с.

Bartalev S.A., Belward A.S. (2002) Land cover and phenological monitoring in boreal ecosystems using the SPOT – VEGETATION instrument: new observations for climate studies. In: Proceedings of the Use of Earth Observation data for phenological monitoring workshop, 12-13 December 2002, in Joint Research Centre, Ispra (VA) Italy 12th-13th December 2002, pp. 41-48.

Bartalev S.A., Belward A.S., Erchov D.V., Isaev A.S. (2003) A new SPOT4-VEGETATION derived land cover map of Northern Eurasia. Int. J. Remote Sensing. 24(9): 1977-1982.

Bohn U., Gollub G., Hettwer C., Neuhauslova Z., Raus Th., Schluter H., Weber H., eds. (2000) Map of the natural vegetation of Europe, Scale 2,500,000. Federal Agency of Nature Conservation, Bonn.

Ecosystems of British Columbia (1991) Meidinger D.V., Pojar J., eds. Research Branch, Ministry of Forests Province of British Columbia. Victoria, B.C. Special report series, 6. 330 p.

Gates D.M., Keegan H.J., Schleiter J.C., Weidner D. (1965) Spectral properties of plants. Appl. Opt. 4: 11-20.

Goward S.N. (1989) Satellite Bioclimatology. J. Climate. 7 (2): 710-720.

Kharuk V.I., Ranson K.J., Burenina T.A., Fedotova E.V. (2003) Mapping of Siberian forest landscapes along the Yenisey transect with AVHRR. Int. J. Remote Sensing. 24 (1): 23-37.

Nazimova D.I., Ponomarev E.I., Fedotova E.V. (2000) Identification and mapping of altitudinal belt classes of land cover with use of NOAA/AVHRR imagery. Remote researches and mapping of geosystems structure and dynamics. Novosibirsk: SB RAS, p. 76-81.

Satellite Monitoring of Sayan Mountain Forest Ecosystems

**Evgeny I. Ponomarev,
Dilshad M. Ismailova and Dina I. Nazimova**
*V.N. Sukachev Institute of Forest of Siberian Branch
of Russian Academy of Sciences
50/28 Akademgorodok, Krasnoyarsk, 660036 Russia*

New approach to use remote sensing data of low and moderate spatial resolution is suggested for forest cover mapping and for its seasonal monitoring. The researches of forest structure and dynamics are conducted on three test sites of the Western and Eastern Sayan mountains since 1960. Satellite remote data for the territory (NOAA/AVHRR and TERRA/Modis imagery) are available for 1996 – 2009. After description of the data base the features of different forest zones and formations are shown in context of their identification and spectral characteristics changing during phenological seasons. Specification of mountain forest zones with different potential composition is important for forest management and monitoring on regional and local levels.

Keywords: mountain boreal forest, altitudinal zones, remote sensing imagery, database, seasonal monitoring, spectral characteristics.
