

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ОБРАБОТКИ И ИНТЕРПРЕТАЦИИ КОСМИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

ОЦЕНКА СТРУКТУРЫ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА И ЕГО АНТРОПОГЕННОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ НА ОСНОВЕ ОБРАБОТКИ КОСМОСНИМКОВ QUICKBIRD (НОВОСИБИРСКИЙ АКАДЕМГОРОДОК)

© 2013 г. Н. Н. Лашинский¹, И. Д. Зольников^{2, 3}, Н. В. Глушкова^{2, 3}

¹Центральный сибирский ботанический сад Сибирского отделения Российской академии наук, Новосибирск

²Институт геологии и минералогии Сибирского отделения Российской академии наук, Новосибирск

³Новосибирский государственный университет

E-mail: nnl630090@gmail.com; zol@igm.nsc.ru; hope@igm.nsc.ru

Поступила в редакцию 27.04.2012 г.

На примере лесных массивов Новосибирского Академгородка разработана методика картографирования лесов посредством обработки космоснимков высокого пространственного разрешения. Основой методики являются управляемые классификации по летнему и осеннему космоснимкам QuickBird, оверлейные операции и плотностной сеточный анализ. В результате созданы схемы плотности леса, а также количественного соотношения хвойных и лиственных пород деревьев. При сравнении с геоботанической картосхемой, построенной традиционными методами, выявлены преимущества дистанционной методики (точность контуров, объективный характер оценки сомкнутости крон, соотношения лиственных и хвойных пород деревьев) и ее ограничения. Предложенная технология не заменяет, а дополняет и количественно уточняет стандартную методику. Сопряженный анализ полученной интегральной картосхемы лесов с геолого-геоморфологической картой местности обеспечивает возможность выявления связей между геоморфологическими особенностями территории, составом поверхностных отложений и структурой древостоев, что позволяет оценить степень антропогенной трансформации природных лесных экосистем. Это в свою очередь может использоваться для организации экосистемного мониторинга.

Ключевые слова: картографирование лесных массивов, дистанционное зондирование, ГИС-технологии, космоснимки высокого разрешения

DOI: 10.7868/S020596141206005X

ВВЕДЕНИЕ

В представленной работе космические снимки высокого пространственного разрешения QuickBird использовались для картирования лесов Академгородка г. Новосибирск при оценке современного состояния лесных массивов. Новосибирский Академгородок располагается на правом берегу р. Обь в двадцати километрах к югу от города Новосибирска (рис. 1). При его строительстве был применен метод диффузной застройки, основой которого является взаимопроникновение жилых и рабочих кварталов и больших массивов нетронутых природных насаждений (Природа ..., 2007). Очевидно, что дальнейшая застройка этой территории должна планироваться так, чтобы кардинально не трансформировать ситуацию, исказив изначальную концепцию экополиса. Для этого необходимо не только качественно, но и количественно оценивать соотношение природной и антропогенной составляющих в сложившейся

экосистеме как в настоящий момент, так и на перспективу.

Правобережная часть Новосибирска размещена на территории Томь-Колыванской зоны Алтае-Саянской складчатой области, а левобережная часть – на территории Западно-Сибирской плиты (Мартынов и др., 1977). Эту границу фиксирует р. Обь, русло которой расположено вдоль региональной разломной зоны. Таким образом, Академгородок находится на периферии Алтае-Саянской складчатой области. Основу естественного растительного покрова территории Академгородка составляют леса. По преобладающим видам деревьев можно выделить пять лесных формаций: сосновые леса, смешанные березово-сосновые леса, березовые леса из березы повислой, березовые леса из березы пушистой и осиново-березовые леса. В зональном отношении леса Академгородка расположены в подзоне лесостепи на стыке с подпоясом горной подтайги (Куминова, 1963). Высокая облесенность территории, по сравне-

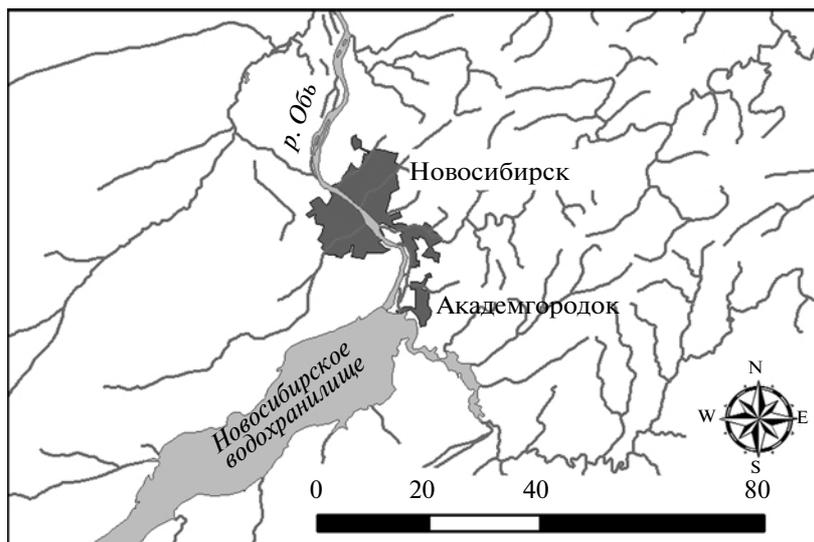


Рис. 1. Местоположение Новосибирского Академгородка.

нию с зональным окружением, связана с близостью р. Обь и песчаными почвами на древних речных террасах. Большинство лесов, особенно сосновых, окружающих Академгородок, связаны с феноменом Приобских боров — массивов сосновых и смешанных лесов, протянувшихся цепочкой по долине Оби через всю лесостепную подзону.

Для оценки современного состояния лесных массивов Академгородка были выполнены картосхемы растительности в двух вариантах. Первый вариант реализован по традиционной технологии с использованием наземного обследования и выделов, представленных в материалах лесостроительства. Второй вариант был построен на основе обработки космических снимков датчика QuickBird с применением программных продуктов ENVI и ArcMap. Космоснимки QuickBird имеют пространственное разрешение 2.4 м в многозональном режиме и 0.61 м в панхроматическом; охватывают видимый и ближний инфракрасный диапазон (0.45–0.9 мкм). В работе использовались снимки летнего и осеннего сезонов съемки 2008 г. многозонального режима.

МЕТОДИКА СОСТАВЛЕНИЯ КАРТОСХЕМ

Сотрудники Центрального сибирского ботанического сада (ЦСБС) СО РАН на основе наземного обследования территории и данных лесостроительства создали картосхему растительности Академгородка, основанную на традиционном эколого-фитоценологическом подходе. Геоботанические описания, выполненные на местности по стандартной методике, были расклассифицированы по доминантам различных ярусов, слагающих сообщества, и нанесены на картосхему по координатам, отмеченным с помощью GPS. Гра-

ницы контуров уточнялись с использованием выделов лесостроительной карты. Легенда полуценной картосхемы, включавшая 16 элементов, различающихся по доминантам древостоя и напочвенного покрова, была генерализована до шести основных классов, основанных преимущественно на доминантах древесного яруса (рис. 2). Все сообщества, испытавшие глубокую антропогенную трансформацию (лесные культуры различных древесных пород, как местных, так и интродуцированных, луга и залежи на месте пахотных земель, декоративные и коллекционные посадки) были отнесены к одному классу легенды. Другой класс составили кустарниковые заросли по долине р. Зырянка. Четыре оставшиеся класса легенды распределились между четырьмя лесными формациями: сосновых лесов; мелколиственных (березовых и осиновых) лесов; смешанных лесов с преобладанием хвойных; смешанных лесов с преобладанием лиственных деревьев.

В Новосибирском региональном центре геоинформационных технологий была разработана технология автоматической классификации снимка высокого разрешения QuickBird для оценки плотности леса и количественного соотношения хвойных и лиственных пород деревьев (Глушкова и др., 2010). Технология (рис. 3) состоит в управляемой классификации (правилом максимального правдоподобия) снимков осеннего и летнего сезонов съемки. Летний снимок использовался для обнаружения участков леса (как хвойного, так и лиственного). Осенний снимок использовался для выделения хвойных деревьев (поскольку лиственные породы деревьев сбросили листву). Полученные классы конвертировались в векторные слои. Для того чтобы выделить из вектора крон всего леса лиственные и хвойные деревья, прово-

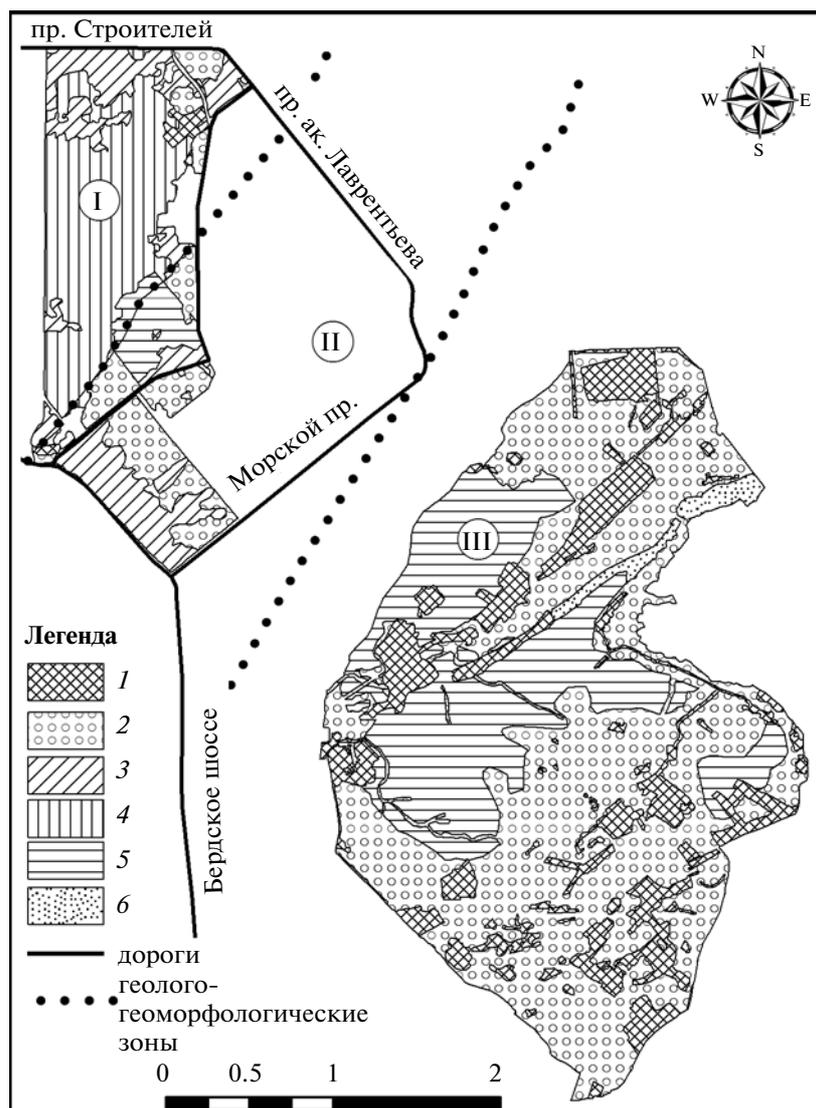


Рис. 2. Картограмма растительности, созданная сотрудниками ЦСБС СО РАН. Условные обозначения: 1 – антропогенно трансформированная растительность (лесные культуры, луга, залежи и т.п.); 2 – мелколиственные (берзовые и осиновые) леса; 3 – смешанные берзово-сосновые леса с преобладанием хвойных; 4 – естественные сосновые кустарничково-травянистые леса; 5 – смешанные сосново-берзовые леса с преобладанием лиственных деревьев; 6 – ивовые заросли по долинам ручьев. Геолого-геоморфологические зоны: I – древние надпойменные террасы, II – водораздельное плато, III – делювиальный шлейф.

дидась оверлейная операция (в программном продукте ArcGis). В результате были получены два типа объектов: кроны хвойных деревьев и кроны лиственных деревьев. Для оценки удельного вклада каждого типа объектов использовались плотностные сетки. Схемы плотностного распределения позволяют выделять интервалы процентного содержания для каждого компонента отдельно и оконтуривать комплексные выделы с определенными типами соотношения компонентов (Зольников и др., 2005; Лямина и др., 2009). Были построены две плотностные сетки (размер ячейки 2.5 м, радиус 50 м) по распределению: а) кроны хвойного леса (осеннего снимка),

б) кроны всего леса (летнего снимка). На основе плотностной сетки всего леса была построена схема густоты леса Академгородка. Схема соотношения хвойных и лиственных пород деревьев была получена путем деления плотностной сетки кроны хвойных деревьев на сетку плотности всех кроны. В результате получили области распространения хвойных лиственно-хвойных, хвойно-лиственных и лиственных лесов (рис. 4). На конечном этапе была создана интегральная схема распределения лесов как по густоте–разреженности, так и по соотношению хвойных и лиственных пород. Для этого созданные выше плотностные схемы конвертировались в векторный фор-



Рис. 3. Технологическая схема построения картосхем густоты и породного соотношения леса.

мат с последующим проведением оверлейной операции. Заверка результатов проводилась в полевых условиях и при дешифрировании геоботаниками эталонных участков на космоснимках. Максимальная погрешность компьютерного определения сомкнутости крон и удельного соотношения пород деревьев в радиусе окна (для нашего случая – 50 м) не превышает $\pm 5\%$. Максимальная погрешность макровизуального определения этих параметров геоботаниками иногда может достигать $\pm 15\%$. Таким образом, при сравнении результатов на тестовых полигонах был сделан вывод, что погрешность определения контуров при компьютерной обработке дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) значительно выше, чем традиционными способами.

Исследуемая территория была разбита на зоны по геолого-геоморфологическому признаку. Их было выделено три: древние надпойменные террасы, водораздельное плато и делювиальный шлейф между ними. Границы проводились на основе анализа космического снимка и цифровой

модели рельефа (ЦМР), построенной на основе векторной карты. Затем были проведены оверлейные операции геолого-геоморфологической карты с картосхемами растительности, построенными: 1) по космоснимкам и 2) по традиционной геоботанической методике. Это позволило проанализировать зависимость растительности от геолого-геоформологического строения территории. В итоге получили сравнительную оценку достоверности и информативности картосхем, полученных различными методами.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Сравнение картосхем растительного покрова, полученных с применением стандартной методики и с помощью данных ДЗ, показало хорошее совпадение результатов, но вместе с тем выявило ряд существенных различий, на которых стоит остановиться подробнее.

На водораздельном плато однородный контур антропогенно-трансформированной растительности, выделенный по геоботанической карто-

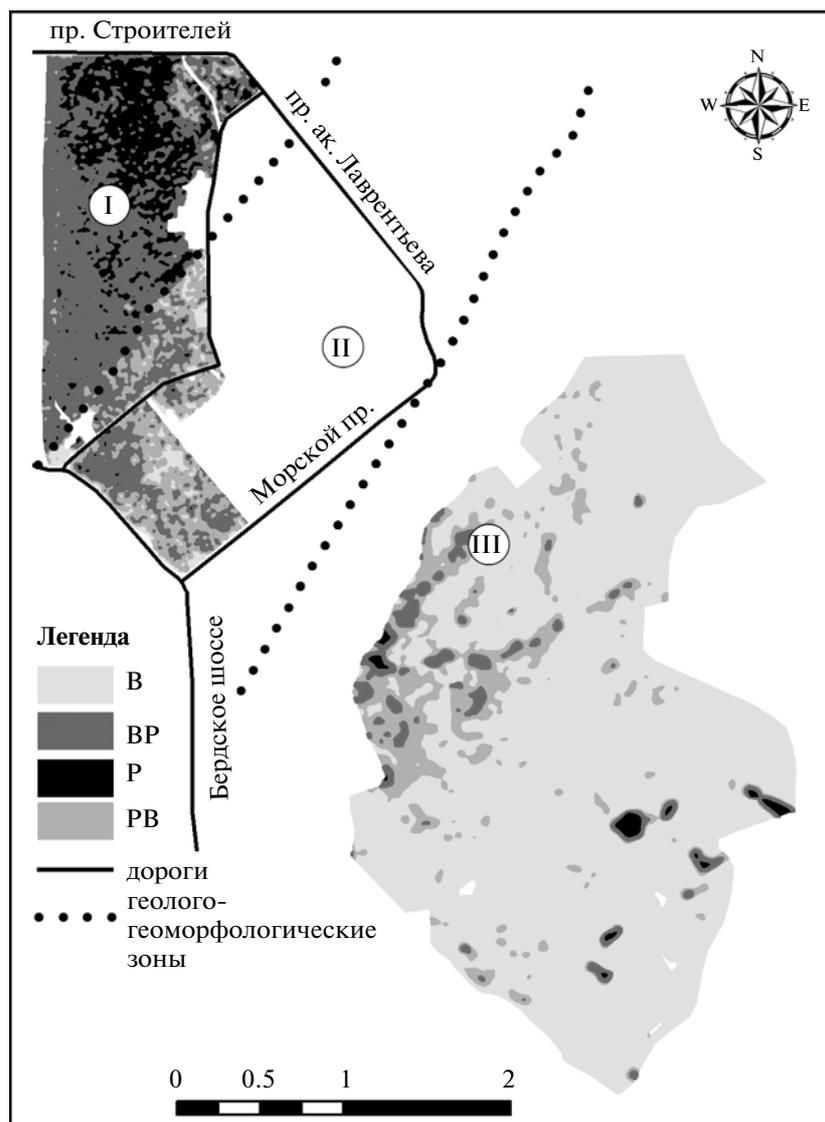


Рис. 4. Картограмма соотношения лиственных и хвойных пород деревьев для разных массивов Академгородка, созданная на основе классификации космического снимка QuickBird. Условные обозначения, лес: В – лиственный, РВ – хвойно-лиственный, ВР – лиственно-хвойный, Р – хвойный.

схеме, разбился на несколько классов согласно картограмме, полученной при анализе космоснимков. Это вполне предсказуемый результат, так как указанный элемент легенды геоботанической картограммы объединял разнообразные фитоценозы – от открытых травяных сообществ до сомкнутых культур хвойных и лиственных деревьев. Критерием для отнесения сообществ в состав этого выдела служила степень антропогенной трансформации, устанавливаемая экспертно, по результатам натурального обследования. Естественно, что разнородные сообщества давали различный спектральный отклик и были разнесены в разные классы при интерпретации космических снимков.

Ивовые заросли по долинам рек, выделенные на геоботанической картограмме, не отразились

при обработке космоснимков и попали преимущественно в класс среднесомкнутых хвойно-лиственных насаждений. Это различие объясняется, во-первых, сходными спектральными характеристиками крупных листопадных кустарников и лиственных деревьев; во-вторых, эффектом теней, возникающих в пересеченном рельефе речной долины и дающих на снимке более глубокий тон, сходный с сигналом от насаждений с участием хвойных.

Общая площадь смешанных насаждений на водораздельном плато, согласно геоботанической картограмме, существенно больше, чем на картограмме, полученной по результатам ДЗ. В данном случае предпочтение стоит отдать информации, полученной по космическим снимкам, с

Таблица 1. Структура растительного покрова согласно геоботанической картосхемы на разных геолого-геоморфологических зонах

Наименование класса легенды картосхемы	Древние надпойменные террасы (% от общей площади)	Делювиальный шлейф (% от общей площади)	Водораздельное плато (% от общей площади)
1	2.45	1.1	17.8
2	6.38	45.5	54.5
3	21.9	36.4	0
4	66.71	0.8	0
5	2.56	15.9	25.9
6	0	0.3	1.8

точными границами контуров и отражением реального состояния древостоя. При геоботаническом картировании доля хвойных в составе смешанных насаждений часто завышается, особенно если примесь хвойных представлена крупномерными старовозрастными экземплярами.

Растительный покров делювиального шлейфа показан довольно сходно на обоих вариантах картосхем. Наибольшие различия связаны с отражением границ выделов, которые, несомненно, более детальные и реалистичны на картосхеме, составленной по космическим снимкам. Эта же картосхема показывает в целом больший процент участия хвойных в растительном покрове делювиального шлейфа, чем геоботаническая. Причина этого разночтения связана с групповыми посадками хвойных под пологом лиственных насаждений, которые игнорировались в обобщенной легенде геоботанической картосхеме, но вносили существенный вклад в спектральный отклик соответствующих контуров.

Интересная картина была получена для растительного покрова древних речных террас. Обе картосхемы показывают абсолютное преобладание хвойных и лиственно-хвойных лесов, но если на геоботанической картосхеме преобладают хвойные сосновые леса, то на схеме, построенной по космическим снимкам, большую площадь занимают смешанные леса с преобладанием хвойных. Более того, сомкнутые хвойные леса на картосхеме, основанной на космоснимках, соответствуют смешанным насаждениям на геоботанической, и наоборот. Это обусловлено тем, что при создании геоботанической картосхемы все смешанные насаждения, в которых доля лиственных деревьев составляла менее 25%, картировались как хвойные, и только если доля лиственных превышала 25%, то насаждения относились к смешанным, с преобладанием хвойных. При классификации космических снимков хвойный лес, даже с небольшой примесью лиственных деревьев, попадал в категорию смешанных лиственно-хвойных лесов. Территории, выделившиеся на

космическом снимке как сомкнутый хвойный лес, в недавнем прошлом были пройдены сильным низовым пожаром. Последний не только уничтожил подлесок и подрост лиственных деревьев, но и способствовал успешному возобновлению сосны на минерализованной поверхности почвы. Сочетание густого подростка сосны с деревьями верхнего яруса дало сильный сигнал хвойных деревьев на космическом снимке. При наземном геоботаническом картировании такие участки чаще описывались как смешанный лес по составу верхнего яруса древостоя. Подрост сосны под пологом описывался как отдельный структурный элемент сообщества и не учитывался в легенде картосхемы. Стоит также подчеркнуть мелкоконтурность и сложность границ на картосхеме, сделанной по космоснимкам, что лучше отражает реальное распределение сообществ по сравнению с обобщенными и не совсем точными границами лесоустроительных выделов. Таким образом, сравнение картосхем растительности, полученных различными методами, показало, что информация, отраженная на них, часто взаимно дополняет и корректирует друг друга, так как обращает внимание на разные стороны строения растительного покрова.

Рассмотрим далее зависимость структуры растительного покрова от геолого-геоморфологического строения территории, и ее отражение на разных картосхемах. В табл. 1 представлено распределение лесных формаций, согласно геоботанической картосхеме, по основным геолого-геоморфологическим зонам. Водораздельные пространства показывают наименьшее разнообразие естественных лесных формаций при абсолютном преобладании мелколиственных лесов. Смешанные леса с преобладанием мелколиственных деревьев сосредоточены на водораздельном плато по бортам долин мелких рек и связаны преимущественно со склоновыми местообитаниями. Ивовые заросли по долинам ручьев практически исключительно приурочены к этой геолого-геоморфологической зоне. Также обращает на себя

Таблица 2. Распределение видового состава древостоев, полученных по космоснимкам в разных геолого-геоморфологических зонах

Наименование класса	Древние надпойменные террасы (% от общей площади)	Делювиальный шлейф (% от общей площади)	Водораздельное плато (% от общей площади)
В	0.1	10.9	84.7
РВ	3.8	48.5	12.2
ВР	67.1	40.1	2.5
Р	28.9	0.4	0.6

внимание высокая доля антропогенно трансформированной растительности на водораздельном плато. Последнее связано с высоким потенциальным плодородием почв на водоразделах, покрытых лессовидными суглинками, и с благоприятными условиями для с.-х. освоения территории. Кроме того, здесь же расположены основные научные коллекции и экспозиции ЦСБС СО РАН.

Растительность древних речных террас в основном образована сосновыми лесами и смешанными лесами с преобладанием хвойных деревьев (табл. 1). Плоская, слабо расчлененная поверхность и песчаные грунты обеспечивают хороший дренаж и не способствуют развитию кустарниковых зарослей. Преобладание сосновых лесов также связано с бедностью песчаных почв и их слабой водоудерживающей способностью. В таких условиях сосна получает конкурентное преимущество над березой и выступает основным ценообразователем.

Наиболее разнообразна растительность поверхности делювиального шлейфа, где представлены все варианты растительного покрова, отраженные на геоботанической картосхеме (табл. 1). Переходный характер этой геолого-геоморфологической зоны выражается в наличии местообитаний, пригодных как для растительности древних террас, так и для растительности водоразделов. Основу растительного покрова этой зоны составляют смешанные леса с преобладанием хвойных деревьев.

Картина, полученная при анализе картосхемы растительности, составленной по космическим снимкам, в целом соответствует закономерностям, полученным при анализе геоботанической картосхемы. Из табл. 2 видно, что на террасах преобладают хвойные и лиственнично-хвойные леса, а лиственные и хвойно-лиственные в сумме не превышают 4%. На водораздельном плато, наоборот, преобладают лиственные и хвойно-лиственные леса (их в сумме около 97%). В зоне делювиального шлейфа между террасами и водоразделом преобладают смешанные леса — хвойно-лиственные и

лиственнично-хвойные, а лиственные и хвойные леса различной плотности занимают менее 12%.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный сравнительный анализ породно-пространственной структуры двух крупных лесных массивов с использованием ГИС-технологий и данных ДЗЗ показал высокую информативность метода, возможность выявления связей между геоморфологическими особенностями территории, составом поверхностных отложений и структурой древостоев. Метод дает возможность оценить, насколько современная структура и сложность древостоя отражают комплекс естественных причин, и насколько предшествовавшая хозяйственная деятельность человека влияет на эти параметры.

Сравнение картосхемы, полученной с использованием данных ДЗЗ и ГИС-технологий с геоботанической картосхемой, составленной традиционными методами, показало хорошее совпадение результатов. В то же время, каждая из полученных картосхем отражает некоторую специфику растительного покрова, не выявляемую другим методом. В итоге информация обеих картосхем служит для взаимного дополнения и коррекции. Идеальным вариантом следовало бы признать гибридный вариант, наиболее полно и разносторонне описывающий растительный покров территории. Огромным достоинством использования данных ДЗЗ является получение точных и детальных границ различных растительных сообществ.

Использование космических снимков высокого разрешения и современных ГИС-технологий позволяет организовать оперативный мониторинг состояния лесов и экспресс-оценку степени их антропогенной трансформации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Глушкова Н.В., Зольников И.Д., Лямина В.А., Макунина Н.И., Мальцева Т.В. Картографирование лесных массивов Центрального сибирского ботанического сада // Вестн. НГУ. 2010. Т. 8. № 3. С. 83–91.

Зольников И.Д., Айриянц А.А., Королюк А.Ю., Мартысевич У.В. Подход к моделированию региональной экосистемы и пространственных взаимосвязей ее компонентов на основе интеграции междисциплинарной информации // Сиб. экол. журн. 2005. № 6. С. 927–937

Куминова А.В. Основные закономерности распределения растительного покрова в ю-в части Западно-Сибирской низменности // Растительность степной и лесостепной зон Западной Сибири. 1963. Вып. 6. С. 7–35.

Лямина В.А., Зольников И.Д., Королюк А.Ю., Добрецов Н.Н., Смоленцев Б.А., Глушкова Н.В. Использо-

вание методов ГИС и ДЗ для картографирования и мониторинга гетерогенных ландшафтов // Сб. мат. V Международного конгресса “ГЕО-Сибирь-2009”. Новосибирск: СГГА, 2009. Т. 4. Ч. 1. С. 171–175.

Мартынов В.А., Мизеров Б.В., Никитин В.П., Шаевич Я.Е. Геоморфологическое строение долины р. Оби в районе г. Новосибирска. Новосибирск: ИГиГ СО АН СССР, 1977. 34 с.

Природа Академгородка: 50 лет спустя / Отв. ред. Жимулев И.Ф., РАН, Сиб. отд., Ин-т цитологии и генетики [и др.]. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2007. 250 с.

Estimate of Structure of the Vegetative Cover and Extent of Anthropogenous Transformation of the Wood Frame of the Novosibirsk Academic Town on the Basis of Processing of Satellite Images QuickBird

N. N. Lashinskiy*, I. D. Zolnikov**, N. V. Glushkova**

*Central Siberian botanic garden SB RAS Novosibirsk,

** Institute of geology and mineralogy SB RAS Novosibirsk; Novosibirsk State University

New method of forest mapping based on high-resolution satellite image analysis was developed. The main method points are guided classifications of summer and fall QuickBird images; overlay operations and grid density analysis. As a result schemes of forest density and quantitative relations between soft- and hardwood trees were constructed. Few advantages of new method in comparison with traditional geobotanical mapping were founded (precise borders, high accuracy estimation of the canopy closeness and ratio between soft- and hardwood trees) together with some limitations. New method not replaced the traditional one but supplement it. Conjugate analysis of forest map with geomorphologic map showed interconnections between geomorphologic features? Surface geological layers and tree layer structure. By this way the level of anthropogenic ecosystem transformation could be estimated. This estimation, in its turn, could be used for the ecosystem monitoring.

Keywords: mapping of forest stand, remote sensing, GIS-technology, space images of high resolution