

ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ ДЛЯ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ИНВЕНТАРИЗАЦИИ ЛЕСОВ

Н.А. Владимирова (ВНИИЛМ)

В 2003 г. окончила факультет «География и геоэкология» Санкт-Петербургского государственного университета по специальности «физико-географ — эколог», а в 2006 г. — аспирантуру Московского государственного университета леса (МГУЛ) по специальности «лесоустройство и лесная таксация». После окончания университета работала в МГУЛ, с 2008 г. по 2009 г. — инженером группы контроля выполнения работ по государственной инвентаризации лесов в филиале ФГУП «Рослесинфорг» «Севзаплеспроект» (Санкт-Петербург). С 2005 г. работает в ФГУ «Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства» (ВНИИЛМ), в настоящее время — научный сотрудник отдела аналитических исследований лесопользования и лесопользования.

Данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) из космоса находят применение в различных областях лесного хозяйства, таких как изучение лесных экосистем, инвентаризация и картографирование лесов, регистрация текущих изменений в лесном фонде, анализ долговременной динамики лесного покрова, оценка организации и порядка лесопользования, состояния лесовозобновления на вырубках, состояния насаждений в зоне промышленного загрязнения [1]. Космические снимки позволяют оценивать площади, поврежденные пожарами, энтомоветеринарными вредителями, стихийными бедствиями и антропогенным загрязнением. Эффективность решения названных лесохозяйственных задач повышается, если наряду с данными ДЗЗ из космоса привлекаются другие источники информации, такие как аэрофотоснимки, картографические материалы и результаты наземных обследований.

С принятием Лесного кодекса Российской Федерации от 04.12.2006 г. № 200-ФЗ на первый план вышла совершенно

новая задача — государственная инвентаризация лесов (ГИЛ), для которой применение космических снимков является необходимым условием [2]. Согласно ст. 90 Лесного кодекса РФ: «государственная инвентаризация лесов представляет собой мероприятия по проверке состояния лесов, их количественных и качественных характеристик... Государственная инвентаризация лесов проводится в отношении лесов, расположенных на землях лесного фонда и землях иных категорий, наземными и аэрокосмическими способами».

Первый полный цикл ГИЛ планируется завершить до 2020 г., при этом предполагается заложить до 170 тыс. пробных участков [2].

Целесообразность использования данных ДЗЗ для ГИЛ отмечалась в решении Первой международной конференции «Проблемы лесопользования и государственной инвентаризации лесов в России» [3]. В частности, в нем Рослесхозу рекомендовалось в процессе государственной инвентаризации лесов обеспечить внедре-

ние дистанционных методов получения информации с применением радиолокационной съемки, методов воздушного лазерного сканирования, автоматизированного дешифрирования данных ДЗЗ, а также включение в планы НИОКР дальнейшего развития методов дистанционного зондирования и геоинформационных технологий.

Согласно п. III.14 проекта методических указаний по проведению государственной инвентаризации лесов [4]: «для определения количественных и качественных характеристик лесов в пределах лесного района разрабатывается единая оптимальная схема стратификации. Стратификация проводится путем группирования лесных насаждений в относительно однородные группы (страты), в пределах которых изменчивость запасов древесины меньше, чем в общей совокупности. Для осуществления стратификации используются таксационные характеристики выделов, установленные при лесопользовании. В качестве определяющих таксационных признаков для

формирования страт могут использоваться:

- группа древесных пород (или преобладающая древесная порода);
- группа возраста;
- типы (или группы типов) лесорастительных условий;
- высотная поясность в горных условиях».

Схема стратификации разрабатывается отдельно для каждого лесного района.

Место космических снимков в системе государственной лесной инвентаризации определяется ст. 90 «Государственная инвентаризация лесов» в Лесном кодексе РФ, постановлением Правительства РФ от 26 июня 2007 г. № 407 «О проведении государственной инвентаризации лесов» и [4]. Согласно этим документам, космические снимки могут применяться для выявления и учета изменений в стратах государственной инвентаризации лесов, вызванных хозяйственной деятельностью, стихийными факторами и естественным ростом насаждений, происшедших за период между последним лесоустройством и первым циклом ГИЛ, а также между первым и последующими циклами ГИЛ.

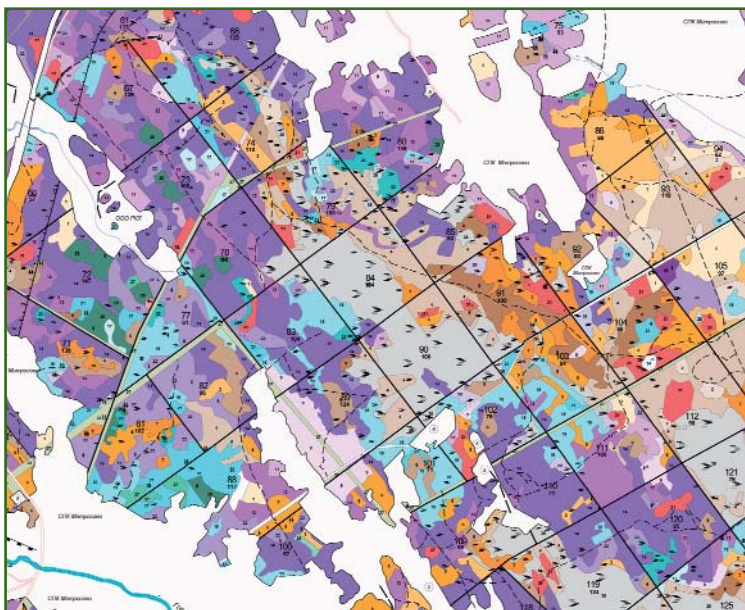
В данной статье делается попытка раскрыть особенности и ограничения применения данных ДЗЗ из космоса и технологий их обработки для актуализации лесных карт страт ГИЛ (см. рисунок) и мониторинга лесных массивов.

В России поставщики данных ДЗЗ из космоса предлагают широкий спектр космических снимков как по площадному охвату, так и по пространственному разрешению и диапазонам электромагнитных волн излучения (зонам спектра). По пространственному разрешению космические снимки традиционно классифицируются следующим образом:

- сверхвысокого разрешения — 0,3–0,9 м;
- высокого разрешения — 1–40 м;
- среднего разрешения — 50–200 м;
- низкого разрешения — 300–1000 м;
- очень низкого разрешения — более 10 000 м.

В основе лесных карт страт ГИЛ должна находиться поведельная информация (информация о древостое и других ландшафтных особенностях выдела), отраженная на лесоу-

строительных планшетах и на планах лесонасаждений лесничеств. Согласно [5], при I и II разрядах лесоустройства планшеты должны иметь масштаб 1:10 000, а планы лесонасаждений лесничества составятся в масштабе 1:25 000. Соответственно, масштаб лесных карт страт ГИЛ должен составлять 1:25 000. В таблице «Детальность снимка и масштаб карты» [6] приводятся требования к пространственному разрешению космических снимков для составления карт различного масштаба. Согласно этой таблице, для составления планов лесонасаждений лесничества подходят космические снимки, полученные в мультиспектральном режиме, с пространственным разрешением до 6 м, что определяет требования к снимкам и очерчивает круг применяемых для государственной инвентаризации лесов данных ДЗЗ из космоса. Космических снимков, отвечающих вышеприведенным условиям, не так много. Среди них снимки, полученные с космических аппаратов (КА) различными съемочными системами: IRS-1C/1D (PAN), IRS-P6 (LISS-4/Mono), IRS-P5 (Cartosat-1) — Индия, а также IKONOS (США) и SPOT-5 (HRG PAN, Франция). Таким образом, пригодными для целей ГИЛ являются только достаточно дорогие снимки с КА IKONOS (разрешение 4 м), Formosat (5 м) и RapidEye (5 м). В то же время изображения с КА, имеющие более низкое разрешение, например IRS-1D (23 и 70 м) и SPOT-5 (10 м), обладают хорошими спектральными характеристиками и также могут быть использованы для целей ГИЛ. Поэтому для проведения качественного мониторинга и выявления изменений в площадях страт нельзя ограничиваться космическими снимками только с одного КА. Необходима более сложная обработка всех косми-



Пример лесной карты страт ГИЛ

ческих изображений, имеющих на интересующий исполнитель регион, с корегистрацией снимков и обязательным улучшением пространственного разрешения.

Для создания лесных карт страт ГИЛ перспективной представляется технология автоматической и полуавтоматической классификации изображения в среде ГИС. Для этого необходима система выбора эталонных участков, которая бы не зависела от опыта исполнителя. В этом смысле лесоустроительные предприятия оказались в уникальной выигрышной ситуации, когда на весь район работ имеется подробная лесоустроительная информация. Поэтому можно отобрать какое угодно количество эталонов, причем, руководствуясь не спектральными характеристиками объекта, который может выглядеть по-разному на разных снимках, а используя картографические и лесоустроительные данные. Единственным условием должен стать визуальный контроль соответствия выбираемого эталона действительной ситуации, что довольно просто осуществить, поскольку эталонов для каждого класса может быть неограниченно много. Кроме того, можно осуществлять набор эталонов путем выделения целого выдела, а не пикселей с определенными спектральными характеристиками, что повышает объективность выбора и ее независимость от искажений изображения.

В свете вышеизложенного можно предположить, что космические снимки целесообразно применять для создания лесных карт страт ГИЛ в регионах, где лесоустройство проводи-

лось давно или испытывающих интенсивное антропогенное воздействие. Первоочередной научной задачей в таком случае становится соотнесение повышенной информации с результатами автоматического и полуавтоматического дешифрирования космических изображений.

В учебнике [7] приводится таблица «Дешифровочные возможности материалов космических съемок». Согласно этой таблице, информативность изображения с разрешением на местности 10 м сопоставима с детальностью карт масштабов 1:50 000–1:100 000 и достаточна для подразделения площади, покрытой лесом, по группам преобладающих пород, типам условий местопроизрастания, группам возраста и полноты. Непокрытые лесом и нелесные земли подразделяются на редины, гари, вырубки, прогалины, пашни, воды, болота, населенные пункты и усадьбы, каменистые россыпи, дороги, трассы и пр. Представляется, что этого должно хватить для актуализации состояния страт. В подтверждение этого вывода приведем пример из нашей практики [8].

В рамках описываемой работы автором в составе коллектива отдела дистанционных методов ВНИИЛМ была проведена оценка информативности мультиспектральных изображений с КА Terra (Aster) (США/Япония) с разрешением 15 м с целью определения их пригодности для решения задач лесоустройства. Объектами были выбраны Хотьковское участковое лесничество Дмитровского лесничества (Московская область) и Вержайское участковое лесничество Айкинского лесничества

(Республика Коми). Изучалась возможность определения породного состава насаждений, причем эталоны для автоматизированного дешифрирования выбирались на основе повышенной лесоустроительной базы данных. После дешифрирования по каждому классу объектов была подсчитана статистика каппа*, показывающая достоверность результатов (чем она выше, тем результаты надежнее). Результаты обработки приведены в табл. 1–3.

Необходимо отметить, что лесные экосистемы Московской области сложно дешифрировать по снимкам в силу их высокой разнородности и большому количеству произрастающих древесных пород. Тем не менее, сравнивая получившиеся данные в таблицах со схемой стратификации лесов, можно отметить, что даже при недостаточной пригодности мультиспектральных космических снимков с КА Terra (Aster) для таксационного дешифрирования (в том числе, из-за их невысокого пространственного разрешения), по этим изображениям можно достаточно надежно определять страты государственной инвентаризации лесов. Путаница происходит, в основном, при определении мягколиственных и широколиственных пород, что может быть связано и с пространственной разнородностью насаждений. В условиях меньшего разнообразия лесов по породному составу, характерного, например, для таежной зоны РФ, этот фактор может отойти на второй план, и результаты стратификации по космическим снимкам окажутся существенно более надежными, чем в условиях Московской области.

* Статистика каппа — это мера согласия между двумя группами качественных измерений на одних субъектах. Если $K = 1$ — это совершенное согласие, если $K = 0$ — это не лучше, чем случайное согласие. На практике используют следующие соотношения: плохое и очень плохое совпадение при $k < 0,4$, удовлетворительное при $0,4 < k < 0,55$, хорошее при $0,55 < k < 0,7$, очень хорошее при $0,7 < k < 0,85$ и отличное при $k > 0,85$.

Значения статистики каппа на объект «Хотьковское участковое лесничество» Таблица 1

Название класса	Значение статистики каппа для классификации по методу		
	максимального правдоподобия	махалонобиса	минимального расстояния
Ель	0,85	0,59	0,65
Береза	0,86	0,56	0,79
Осина	0,62	0,73	0,47
Широколиственные	0,52	0,83	0,45
Ольха серая	0,47	0,83	0,27
Ель — лесные культуры	0,63	0,75	0,47
Земли, не покрытые лесом	0,86	0,94	0,91
Сельскохозяйственные угодья	1,00	0,85	0,96
Водоемы	1,00	1,00	1,00
Среднее по всем классам	0,77	0,75	0,71

Состав насаждений по результатам дешифрирования. Хотьковское участковое лесничество Дмитровского лесничества, квартал 28, выделы 1-14 Таблица 2

№ выдела	Состав по результатам классификации по методу			Состав по таксационному описанию
	максимального правдоподобия	махалонобиса	минимального расстояния	
1	50лс3Е2Лп	9Е10лс	10Е+0с	5Е1Б10с30лс
2	6Е40лс	9Е1Б	10Е	6Е2Б20с
3	4Е40лс2Лп	8Е20лс	5Е30лс1Л10с	5Е2Б10с10лс1Лп
4	40лс3Л2Е10с	8Е1Б1Л	9Е10лс+Лп	6Е2Б20с
5	9Е10лс	10Е	10Е	8Е10С1Б+0лс
6	7Е30лс	10Е	10Е	4Б30с3Е
7	5Е30лс2Л	8Е20лс	10Е	6Е3Б10с
8	50с3Лп2Е+0лс	6Б2Е20с+Л+0лс	6Б20с	7Б10с2Е
9	50с3Лп20лс+Е	6Б2Е20с+Л+0лс	3Б30с2Лп1Е10лс	4Б20с4Е+0лс
10	50с3Лп1Е 10лс	6Е4Б	7Е2Лп1Б	5Е1Б10с20лс1Е+Лп+Дн
11	50с3Б2Е+Лп	6Е4Б	7Б2Лп10с	6Б20с2Е+Лп+0лс
12	50лс3Лп10с1Е	4Б3Е30лс	40лс2Лп2Е1Б10с	5Б20с3Е
13	6Е40лс	9Е1Б	6Е4Б	5Е20с3Б+0лс
14	5Е30с20лс	Ред 5Е5Б	4Е4Б20лс	70лс1Б10с1Е

Примечание. В таблице отражен количественный состав древостоя по запасу по 10-ти балльной шкале, где Е — ель, С — сосна, Б — береза, Ос — осина, Олс — ольха серая, Лп — липа. За знаком «плюс» — породы, присутствующие в насаждении, но доля которых меньше 1 балла. Например, «50лс3Е2Лп» означает, что ольха составляет 5 баллов, ель — 3, липа — 2, а «10Е+0с» — ель составляет 10 баллов, осина меньше 1 балла.

В табл. 3 интерес представляют данные по надежности выявления вырубок. Можно видеть, что выявление и оконтуривание участков, пройденных рубками, на материалах автоматизированного дешифрирования космических снимков возможно, но результаты подлежат уточнению при на-

земном обследовании или по снимкам более высокого разрешения.

При проведении мониторинга текущих изменений с целью актуализации страт необходимо учесть опыт работ по дистанционному мониторингу незаконных рубок леса, приведенный в [9]. Там так описыва-

ется алгоритм работы с космическими снимками для выявления нелегальных рубок: «по многозональным снимкам среднего разрешения (20–23 м) выявляли районы с интенсивными рубками. При наличии снимков за два последних года свежие вырубки выявлялись путем автоматизи-

Значения статистики каппа на объект «Вежайское участковое лесничество» Таблица 3

Название класса	Значение статистики каппа для классификации по методу		
	максимального правдоподобия	махалонобиса	минимального расстояния
Еловые насаждения	0,88	0,70	0,73
Сосновые насаждения	0,38	0,45	0,68
Березовые насаждения	1,00	0,68	0,62
Другие мелколиственные насаждения (осина, ольха)	0,74	0,60	0,62
Вырубки	0,76	0,70	0,76
Болота	1,00	1,00	0,47
Облака	1,00	1,00	1,00
Тени от облаков	1,00	1,00	1,00
Среднее по всем классам	0,67	0,60	0,67

рованного совмещения разновременных снимков в программе Scanex Image Processor с последующим цветовым выделением «различий». Затем по снимкам высокого разрешения в среде ГИС проводили определение площади и размещения лесосек, выявленных на предыдущем этапе. Для обнаружения нарушений космические снимки совмещались с квартальной сетью, планами рубок и материалами отвода лесосек из лесхозов. При наличии явных признаков нелегальной рубки в дальнейшем осуществлялась крупномасштабная съемка отдельных лесосек. При этом наряду с традиционной аэрофотосъемкой в отдельных районах была успешно проведена съемка со спутника EROS-A с пространственным разрешением 2 м».

Анализируя полученные результаты и рекомендации [9], следует отметить, что в дальнейшем будет целесообразно провести автоматизированное выявление изменений на снимках последующего съемочного сезона по сравнению с предыдущим. На районы, где такие изменения будут обнаружены, рекомендуется заказать космические снимки сверхвысокого разрешения или про-

вести полевое наземное обследование.

Расширение сферы применения космической съемки сделает работы по государственной инвентаризации лесов более эффективными и точными и менее затратными. Для этого необходимо продолжать изучение дешифровочных свойств космических изображений и повышать квалификацию исполнителей, занимающихся их обработкой.

▼ Список литературы

1. Малышева Н.В. Дистанционное зондирование для изучения лесных экосистем, учета, контроля и управления лесными ресурсами // Лесохозяйственная информация. — 2002. — №1. — С. 31–62.
2. Креснов В.Г. Государственная инвентаризация лесов как основа оценки их состояния и планирования использования // Лесная газета от 10.03.2009 г.
3. Решение Первой международной конференции «Проблемы лесоустройства и государственной инвентаризации лесов в России» (3–4 февраля 2009 г., г. Москва, Российская Федерация) // Лесная газета от 14.03.2009 г.
4. Проект методических указаний по проведению государственной инвентаризации лесов. www.mcx.ru/documents/file_document/show/11640.285.htm.
5. Инструкция о порядке создания и размножения лесных карт.

Утверждена Гослесхозом СССР 11 декабря 1986 г.

6. Детальность снимка и масштаб карты. www.scanex.ru/ru/monitoring/default.asp?submenu=cartography&id=det.

7. Сухих В.И. Аэрокосмические методы в лесном хозяйстве и ландшафтном строительстве: Учебник. — Йошкар-Ола: МарГТУ, 2005. — 392 с.

8. Владимирова Н.А. Космические изображения ASTER как источник данных для лесного хозяйства: характеристики, методика дешифрирования, перспективы использования // Аэрокосмические методы и геоинформационные технологии в лесоведении и лесном хозяйстве: Доклады IV Международной конференции (Москва, 17–19 апреля 2007 г.) — М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2007. — С. 94–98.

9. Маслов А.А. Лесное хозяйство России. www.scanex.ru/ru/publications/pdf/publication26.pdf.

RESUME

The characteristics of, and limitations on, using remote sensing data acquired from space and its processing technology for updating forest maps of striations for the state forest inventory and monitoring of forests are described. Results of evaluating information content of the multi-spectral images obtained from the Terra (Aster) s/c with a resolution of 15 m to determine their suitability for solving problems of the forest management are given.