

Министерство образования и науки Российской Федерации

Сыктывкарский лесной институт (филиал) федерального государственного
бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального
образования «Санкт-Петербургский государственный
лесотехнический университет имени С. М. Кирова»

Кафедра лесного хозяйства

В. В. Елсаков, Д. В. Кириллов

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ДЕШИФРИРОВАНИЕ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Учебное пособие

*Утверждено учебно-методическим советом Сыктывкарского лесного
института в качестве учебного пособия для студентов направления
бакалавриата 250100.62 «Лесное дело» и специальности
250201.65 «Лесное хозяйство» всех форм обучения*

СЫКТЫВКАР
СЛИ
2013

УДК 630.587
ББК 26.12
Е46

Печатается по решению редакционно-издательского совета
Сыктывкарского лесного института

Ответственный редактор:

В. В. Пахучий, доктор сельскохозяйственных наук, профессор,
заведующая кафедрой лесного хозяйства Сыктывкарского лесного института

Елсаков, В. В.
Е46 Автоматизированное дешифрирование аэрокосмических изображений : учебное пособие / В. В. Елсаков, Д. В. Кириллов ; Сыкт. лесн. ин-т. – Сыктывкар : СЛИ, 2013. – 44 с.
ISBN 978-5-9239-0492-5

В пособии представлены основные положения, способствующие развитию навыков использования материалов дистанционного зондирования применительно мониторинга состояния лесов и лесотаксации. Предназначено для студентов направления бакалавриата 250100.62 «Лесное дело» и специальности 250201.65 «Лесное хозяйство» всех форм обучения.

УДК 630.587
ББК 26.12

Темплан 2013 г. Изд. № 110.

ISBN 978-5-9239-0492-5

© Елсаков В. В., Кириллов Д. В., 2013
© СЛИ, 2013

ОГЛАВЛЕНИЕ

ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ.....	4
ВВЕДЕНИЕ	5
ЭТАПЫ СТАНОВЛЕНИЯ ДИСТАНЦИОННЫХ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ	7
ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МАТЕРИАЛОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ.....	9
РАЗНООБРАЗИЕ И СВОЙСТВА КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ	13
ТИПЫ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ, ПОСТАВЛЯЮЩИХ ДДЗ	16
ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОТОБРАЖЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ	17
ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ.....	19
ОБЩАЯ СХЕМА ПРОЦЕССА ОБРАБОТКИ И АНАЛИЗА ДДЗ.....	21
КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ОСНОВНЫХ ЭТАПОВ ОБРАБОТКИ И АНАЛИЗА СПУТНИКОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ.....	25
ЛАНДШАФТНЫЕ ПОДХОДЫ В АНАЛИЗЕ СПУТНИКОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ.....	34
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДДЗ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ПРОСТРАНСТВЕННОГО АНАЛИЗА И ВЫПОЛНЕНИИ МОНИТОРИНГОВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ	37
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	39
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	40
ПРИЛОЖЕНИЕ. ПЕРЕЧЕНЬ РЕКОМЕНДУЕМЫХ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ	42

ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Автоматизированное дешифрирование — процесс, обеспечивающий корректное и точное выявление и определение характеристик объектов, на основании анализа свойств их электромагнитного излучения с использованием программных возможностей современных геоинформационных систем.

Аэрокосмическое зондирование — комплекс дистанционных методов исследования, включающий многозональную и спектрзональную аэрофотосъемку, тепловую инфракрасную аэросъемку, перспективную аэрофотосъемку в сочетании с материалами космических фото-сканерной, телевизионной, радиолокационной, инфракрасной и других видов съемок, осуществляемых с искусственных спутников Земли, орбитальных станций и пилотируемых космических кораблей.

Географическая информационная система, ГИС — организационный комплекс аппаратуры, программного обеспечения и пространственно (географически) организованных баз данных, предназначенный для эффективного ввода, хранения, обновления, обработки, анализа и визуализации всех видов географически и хронологически привязанной информации

Дешифрирование растительного покрова — процесс, обеспечивающий корректное и точное выявление и определение характеристик фитоценозов, на основании анализа свойств их электромагнитного излучения с использованием программных возможностей современных вычислительных устройств.

Дистанционные методы исследований — методы, основанные на получение информации о земной поверхности путем регистрации приходящего от нее электромагнитного излучения. Разработка и широкое использование одного из первых искусственных приспособлений, предназначенных для регистрации приходящего излучения, относятся к XIV в. (камера-обскура). Позднее устройства стали размещаться на аэроносителях, что позволило выполнять более широкий территориальный охват.

Космические (спутниковые) снимки — собирательное название данных, получаемых посредством космических аппаратов (КА) в различных диапазонах электромагнитного спектра, визуализируемых затем по определенному алгоритму.

Отражательная способность (A) — отношение количества (плотности потока) отраженной и рассеянной вверх радиации I_0 к плотности потока падающей прямой радиации Солнца ($I_C : A = I_0 / I_C$).

ВВЕДЕНИЕ

Данные дистанционного зондирования (ДДЗ) в настоящее время выступают в качестве важных информационных источников, используемых для инвентаризации современного состояния, характеристики пространственно-временных закономерностей распределения структурно-функциональных параметров лесных экосистем, основанных на топологическом подходе. Согласно ст. 90 Лесного кодекса, «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». Материалы различных видов аэрокосмической съемки привлекаются и на стадии проектирования разных промышленных объектов как обязательные информационные источники (СП 11-102-97 п. 4.1, 4.3). Это позволяет активно привлекать данные спутниковой съемки в целях научных исследований лесных фитоценозов, комплексной оценки природных растительных ресурсов (лесотаксации), в качестве основы при организации локальных или региональных ГИС-систем, планировании и контроле лесозаготовок. Тесная сочетаемость использования ДДЗ и методов комплексной ординации обеспечивают возможность выявления особенностей природных взаимосвязей, изменяющихся в пространстве. Важным направлением использования ДДЗ является и возможность проведения пространственно-временного анализа (построение временных рядов изображений), характеризующих естественные лесные и нарушенные хозяйственной деятельностью фитоценозы, интенсивность и направленность путей их восстановления.

Среди методологических принципов, позволяющих расширить спектр решаемых задач с привлечением технологий дистанционного зондирования (ДЗ) и формируемых в настоящее время, прежде всего, выделим:

- ✓ комбинирование данных ДЗ высокого, среднего и низкого пространственного разрешения. Использование космических снимков различного уровня пространственной генерализации, что позволяет выделить роль ландшафтных (фациальных), геоморфогенных и климатогенных условий на формирование видовых и структурных особенностей фитоценозов, хронологические закономерности их распределения;

- ✓ сочетание данных дистанционного зондирования различного диапазона электромагнитного излучения (оптического и радиодиапазонов), для районирования модельных участков по экологическим градиентам (температурный режим, механический состав почв, условия увлажнения), и оценки их экологическо-ценотических особенностей, влияющих на видовое разнообразие фитоценозов;

- ✓ составление временных серий изображений для выявления закономерностей интенсивности и направленности хронологических трансформаций фитоценозов. Отметим, что вопросы естественных сукцессионных смен и процессов, связанных с изменениями сообществ под антропогенным влиянием в настоящее

время изучены достаточно слабо. Это, прежде всего, связано с комплексным воздействием разных факторов (механических, химических, термических и т. д.) и отсутствием опыта комплексных и долговременных наблюдений. Сочетание разновременных данных дистанционного зондирования позволит установить наиболее важные тренды изменений лесных фитоценозов под влиянием естественных и антропогенно обусловленных причин.

Целью дисциплины является информирование и обучение студентов возможностям использования данных аэрокосмосъемки различного пространственного и спектрального диапазонов в целях оценки количественных и качественных характеристик лесных фитоценозов, формирование навыков работы с современными программными средствами (Erdas Imagine 8.5), создание основы для самостоятельного использования полученных знаний применительно выполняемым дипломным проектам.

Лабораторные работы включают основные теоретические положения построения, отображения, обработки и анализа цифровых изображений, набор практических заданий на примере выше отмеченного программного пакета.

ЭТАПЫ СТАНОВЛЕНИЯ ДИСТАНЦИОННЫХ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

Дистанционные методы исследований основаны на получение информации о земной поверхности путем регистрации приходящего от нее электромагнитного излучения с использованием аппаратуры, установленной на борту аэро- или космических аппаратов. В настоящее время дистанционное зондирование является очень важным и зачастую незаменимым в исследованиях Земли. Свое современное развитие оно получило благодаря совершенствованию методов аэро-космической съемки, возникновению персональных станций приема космической информации, появлению географических информационных систем. Этому предшествовала целая эпоха становления дистанционного зондирования, которая заслуживает внимания со стороны историко-научных исследований.

Начальный период

1858 — фотография пригорода Парижа, сделанная с воздушного шара Феликсом Турнашоном.

1859 — инженер-майор французской армии Эмэ Лосседа разработал способы развешивания аэрофотоснимков в план.

1886 — первые воздушные снимки в России. Несколько снимков Санкт-Петербурга с воздушного шара, сделанные поручиком А.М.Кованько.

1913 — полковник российской армии В.Ф.Поте создал первый полуавтоматический фотоаппарат для плановой съемки.

1916 — при Генштабе Российской армии создано отделение по аэрофото-съемке, сформированы фотометрические части.

Развитие технологий использования аэрофотосъемки для гражданских целей (1920—40 гг.)

1918 — фотографирование 100 км² окрестностей Твери.

1921 — первые опыты учета лесной растительности с использованием аэрофотосъемки (США, Канада), Декрет об учреждении Высшего геодезического управления, создание аэрофототопографического отделения (лесоустройство, дорожное строительство).

1925 — возникновение гражданской аэрофотосъемки (общество «Добролет», в дальнейшем организация «Госаэрофотосъемка»).

1928 — в Ленинградской лесотехнической академии появилась дисциплина «Применение аэрокосмических средств и методов в лесном хозяйстве и ландшафтном строительстве».

1929 — в Ленинграде организован Научно-исследовательский институт аэросъемки.

1930-е — исследование труднодоступных районов (Арктики), развитие аэролесотаксации. Печорская авиационная экспедиция (1933 г.).

1935 — при Географическом обществе СССР была организована Комиссия аэрофотосъемки, переименованная впоследствии в Комиссию аэрокосмических методов изучения Земли.

Становление методов аэрокосмических исследований (конец 1940-х — 1980-е гг.)

1940-е — появление спектральной съемки, опыты использования радиолокаторов.

1944 — организация лаборатории аэрометодов АН СССР (Всероссийский научно-исследовательский институт космоаэрометодов, Ленинград), Аэрогеологическая экспедиция (ФГУНПП «Аэрогеология»).

1949 — закончено создание топографической карты (М 1 : 100 000).

1956 — была составлена и издана первая геологическая карта СССР масштаба 1 : 2 500 000.

1956 — закончено устройство и обследование лесов СССР с использованием аэрометодов, создание карты лесов (1951—1955 гг.: обследовано аэрометодами 840 млн га) (карта лесов СССР 1 : 2 500 000).

1950—1960 гг. — развитие методов дешифрирования, ландшафтный подход. Появление новых методов аэрофотосъемки — радиолокационной и инфракрасной тепловой.

4.10.1957 — запуск на орбиту первого ИСЗ «Спутник-1».

12.04.1961 — полет Ю. А. Гагарина на космическом корабле «Восток».

1961 — летчик-космонавт СССР Г. С. Титов впервые выполнил фотографирование Земли с пилотируемого космического корабля «Восток-2». Создание сканерных систем.

1965 — создание Института космических исследований РАН (Москва).

1971 — фотографическая съемка поверхности Земли с пилотируемых спутников (1 : 200 000, «Салют»).

1972 — запущен автоматический спутник Landsat-1 (США), многозональные снимки земной поверхности.

Конец 1970-х — развитие технологий использования космических радиолокационных систем (США).

1980-е — развитие цифровых компьютерных систем обработки изображений, ГИС-технологий.

1982, 1984 — запуск ИСЗ Landsat 4, 5.

1986 — запуск ИСЗ SPOT (Франция).

1995 — запуск ИСЗ RADARSAT-1 (Канада).

Конец XX — начало XXI века — коммерческие съемки, спутники высокодетального оптико-электронного наблюдения (Quick Bird, Ikonos (24.09.1999), гиперспектральная съемка (MERIS 15 каналов), Landsat-7 ETM+ (15.04.1999), в 1999 г. 30 % данных ДДЗ приходится на данные полученные с ИСЗ Landsat).

Конец 1999 — вывод ИСЗ Terra (ASTER) (США, Япония).

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МАТЕРИАЛОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

В основе использования дистанционных методов исследований лежит возможность анализа электромагнитного излучения от исследуемых объектов или поверхностей без непосредственного с ними контакта. Дистанционные методы характеризуются значительным удалением регистрируемого прибора от исследуемого объекта, расстояние может измеряться сотнями и тысячами километров. Это создает максимальный обзор поверхности и позволяет получать максимально генерализованное изображение поверхности.

При дистанционных исследованиях получают информацию об объектах в разных спектральных диапазонах: рентгеновском, ультрафиолетовом, видимом и инфракрасном (табл. 1).

Табл. 1. Спектральные диапазоны, используемые в ДЗ

Диапазон	Длина волны, мкм
Ультрафиолетовый	0.01 — 0.4
дальняя УФ	0.01 — 0.20
средняя УФ	0.20 — 0.30
ближняя УФ	0.30 — 0.40
Видимый	0.4 — 0.75
фиолетовая	0.40 — 0.45
синяя	0.45 — 0.48
голубая	0.48 — 0.50
зеленая	0.50 — 0.56
желтая	0.56 — 0.59
оранжевая	0.59 — 0.62
красная	0.62 — 0.75
Инфракрасный	0.75 и выше
ближняя ИК	0.75 — 1.3
средняя ИК	1.3 — 3
дальняя ИК	> 3

Большинство систем ДЗ охватывают оптический или световой диапазон (**OPS** — Optical Sensor), который включает подсистемы видимого (**V** — Visible), ближнего инфракрасного диапазона (**NIR** — Near InfraRed), коротковолнового инфракрасного диапазона (**SWIR** — Short Wave InfraRed) и средневолнового инфракрасного диапазона (**MWIR** — Mid Wave InfraRed).

Установленная на спутнике аппаратура в видимом, ближнем и среднем инфракрасном диапазонах регистрирует солнечную энергию, отраженную и рассеянную поверхностью Земли. Отражательная способность (A) — это отношение количества (плотности потока) отраженной и рассеянной вверх радиации (I_0) к плотности потока падающей прямой радиации Солнца (I_C):

$$A = I_0 / I_C.$$

Обычно A выражают в процентах и говорят об общей отражательной способности для широкой области видимого и ближнего инфракрасного спектра. Можно определять A и для отдельных участков спектра. И вообще, значение A для различных типов поверхности и различных участков спектра — это ключ к распознаванию деталей на спутниковых изображениях Земли.

Значение A зависит от свойств (в том числе от влажности) отражающей поверхности (трава, лес, почва и т. п.), от спектра падающей радиации — прямой и рассеянной, от угла ее падения ζ , рельефа и т. п. Так, для зеленой растительности, образующей хорошо поглощающий слой, A мало в видимой части спектра (около 5 %) и велико в ближней ИК-области. У оголенных почв отражательная способность очень различна: у подзола — всего 7 %, у сухого песка в красной части спектра — до 37 % (и заметно меньше у влажного песка). И у растений, и у почвы A обычно растет с увеличением ζ (при низком Солнце). В зимнем хвойном лесу снег, лежащий между деревьями, увеличивает A при малом ζ и не влияет на A при косых солнечных лучах.

Для свежего снега A достигает 98 % в видимых лучах и гораздо меньше в ИК-области. У старого зернистого и влажного снега и морского льда $A \approx 43—45$ %. При длине волны $\lambda = 1,55 — 1,65$ мкм снег почти черный ($A \sim 0$), что при спутниковых наблюдениях позволяет отличать заснеженные участки от облаков, для которых на этих длинах волн A велико. Для поверхности водоемов в видимой области $A \approx 4—6$ % при малых ζ и еще меньше в ИК-спектре с $\lambda = 0,8—1,5$ мкм, но возрастает до 30 % и выше при большом угле падения лучей или при зеркальном их отражении ($\zeta > 60$ %), когда, например, со спутника видна светлая дорожка солнечных бликов на воде. Волнение увеличивает A до 13 % при малых ζ и уменьшает — при больших. Часть отражательной способности (1—4 %) обусловлена светом, рассеянным в верхнем тонком слое воды. Отражательная способность облаков, наблюдаемых сверху, тем больше, чем мощнее их слой. Так, слой слоистых облаков толщиной 300 м имеет $A = 59—63$ %. Особый интерес представляет отражательная способность растительного покрова, которая определяется пигментами листа, особенно хлорофиллом (рис. 1).

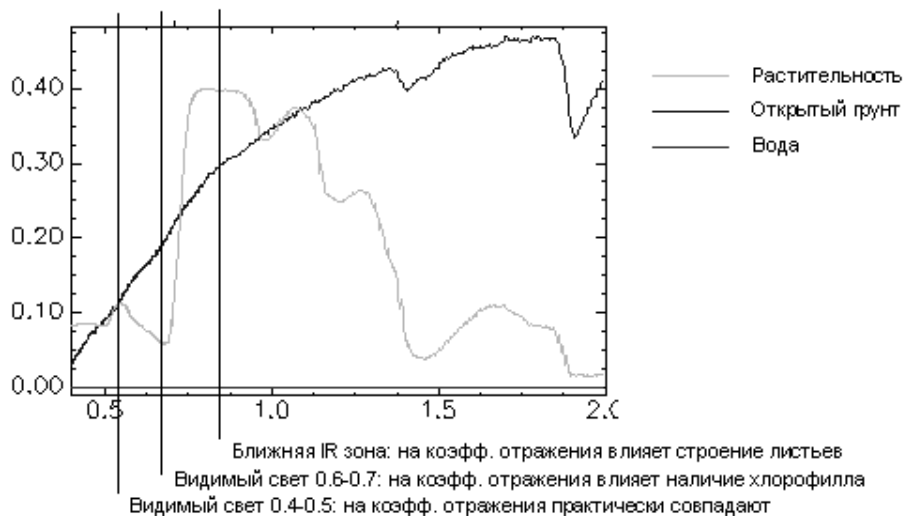


Рис. 1. Сравнительная характеристика спектров отражения отдельных объектов

Водные поверхности имеют наиболее простой вид спектральной кривой. Она характеризуется очень низким спектральным коэффициентом отражения $< 1\%$. При этом, чем более мы смещаемся в красную область спектра, тем ниже этот коэффициент. Открытые участки грунта и горные породы имеют коэффициент отражения, плавно увеличивающийся от 5% в синей части спектра до $50\text{—}60\%$ в красной части спектра. Участки, покрытые растительным покровом, имеют довольно сложный, индивидуальный для каждой группы спектр. В синей части спектра спектральный коэффициент отражения ее близок к коэффициенту отражения для грунта. Затем он возрастает до длин волн $0,6\text{ мкм}$ и значительно уменьшается. Данная зона связана с зоной поглощения видимого света хлорофиллом, который содержится в листьях растений. Начиная с $0,7\text{ мкм}$ коэффициент отражения значительно увеличивается, становится больше, чем коэффициент отражения для грунта. В ближней инфракрасной зоне спектра наблюдается значительная вариация коэффициента отражения для различных типов деревьев. Для лиственных пород он значительно выше, чем для хвойных. Эти различия обусловлены строением листьев этих деревьев.

В синей и красной областях видимого диапазона отражательная способность листа низкая из-за наличия полос поглощения с центрами при $\lambda_1 = 0,45$ и $\lambda_2 = 0,65$ мкм. Между полосами, т. е. в зеленой области, максимум отражательной способности лежит приблизительно при $0,54\text{ мкм}$. При этом нормальная, здоровая листва воспринимается глазом как зеленая. Когда растение находится в состоянии стресса и образование хлорофилла уменьшается, поглощение энергии в полосах λ_1 и λ_2 уменьшается, отражательная способность повышается, что особенно заметно в красной области. Поэтому тогда растение кажется желтоватым. В ближнем ИК-диапазоне при $\lambda > 0,75\text{ мкм}$ поглощательная способность зеленого листа мала ($\sim 5\%$), отражательная способность достаточно велика (до $45\text{—}50\%$), значительное количество энергии проходит сквозь лист ($45\text{—}50\%$) (рис. 2).

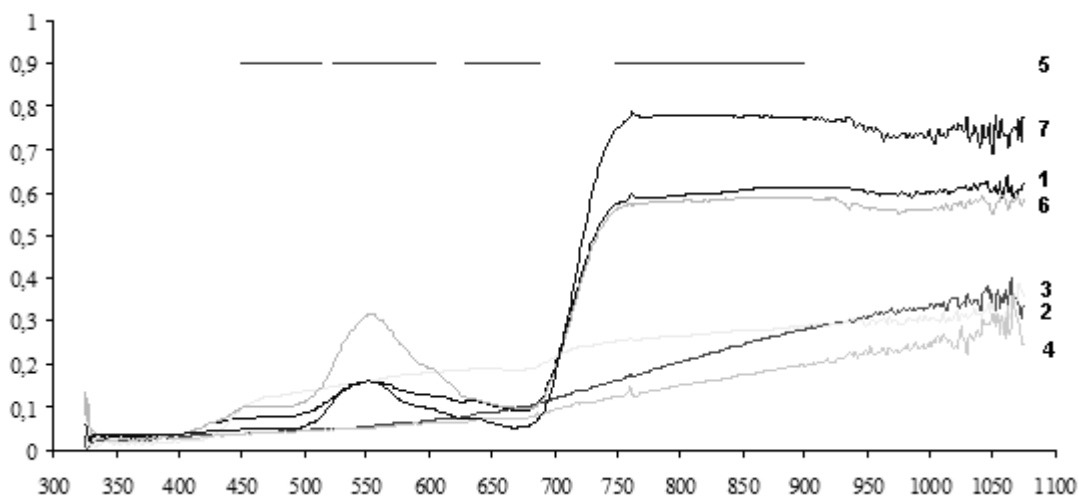


Рис. 2. Особенности спектральной яркости для отдельных модельных растений.

По оси ординат — коэффициент отражения, абсцисс значение длины волны (нм).

Цифрами показаны: 1 — хвоя *Picea obovata*; 2 — талломы лишайников *Cetraria islandica*; 3 — *Flavocetraria nivalis*; 4 — *Cetraria delisei*; 5 — протяженность спектральных участков

1—4 каналов снимков ИСЗ «Landsat ETM+»; 6 — хвоя *Pinus silvestris*;

7 — листья *Betula pubescens*

На качественные характеристики материалов дистанционного зондирования оказывают влияние форма орбиты спутника, ее наклонение, высота, период обращения спутника вокруг Земли, положение орбиты по отношению к Солнцу, особенности установленной аппаратуры.

Значительное влияние оказывает и атмосфера Земли, состояние и свойства которой оказывают влияние на получаемые материалы дистанционного зондирования. Здесь необходимо учитывать экранирующее влияние облачности, поглощение солнечных лучей, рассеивание, влияние атмосферной дымки и др.

Так, обычно съемке в оптическом диапазоне мешает облачность, которая в каждый момент времени закрывает более 50 % поверхности земного шара. Некоторые области остаются закрытыми облачностью большую часть времени года, следовательно, при планировании исследований необходимо располагать сведениями об облачности в данном районе. Но даже при безоблачном небе часть лучей поглощается. Это поглощение избирательное и зависит от длины волны. Атмосфера задерживает большую часть гамма-излучения, рентгеновского и УФ-излучений, а также ряд участков видимой и ИК-зоны, в том числе фиолетовый и сине-зеленый участки видимой части спектра. Поэтому съемку обычно выполняют в тех участках спектра, где электромагнитное излучение не поглощается. Такие участки называются «окнами прозрачности».

Рассеивание лучей неодинаково в различных зонах. Атмосферная дымка снижает контрастность изображения объектов на космических снимках, искажает цвет объектов. Наиболее сильно сказывается влияние атмосферной дымки в синей и голубой зонах спектра.

Контрольные вопросы

1. Что означает понятие «дистанционное зондирование Земли»?
2. Какие спектральные диапазоны используются при дистанционном зондировании?
3. Что такое отражательная способность объектов? От чего зависит ее значение?
4. Назовите основные особенности отражательной способности растительного покрова.
5. Что оказывает влияние на качественные характеристики материалов дистанционного зондирования?

РАЗНООБРАЗИЕ И СВОЙСТВА КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ

Снимок — это двумерное изображение, полученное в результате дистанционной регистрации техническими средствами собственного или отраженного излучения и предназначенное для обнаружения, качественного и количественного изучения объектов, явлений и процессов путем дешифрирования, измерения и картографирования.

На снимках одновременно отображаются различные компоненты геосферы — литосфера, гидросфера, биосфера, атмосфера, что позволяет изучать их взаимодействие и взаимосвязи.

К основным свойствам и особенностям, присущим космоснимкам, можно отнести масштаб, обзорность, разрешение и повторяемость съемки. Отдельными особенностями снимков также являются охватываемый спектральный диапазон и вид или технология съемки.

По масштабу космические снимки делятся на следующие группы:

- *мелкомасштабные* (1:10 000 000 до 1:100 000 000). Их получают с геостационарных и метеоспутников на околоземных орбитах;
- *среднемасштабные* (1:1000 000 до 1:10 000 000). Получают с пилотируемых кораблей и орбитальных станций;
- *крупномасштабные* (крупнее 1:1 000 000). Получают со специальных картографических спутников.

По обзорности (это площадной охват территории одним снимком) различают снимки:

- *глобальные*, охватывающие освещенную часть одного полушария; получают с межпланетных космических кораблей и геостационарных спутников. Территориальный охват их составляет десятки и сотни млн км²;
- *региональные*, на которых изображается часть материка или крупный регион; получают с метеорологических и ресурсных спутников. Охват исчисляется млн км². Ширина зоны охвата варьирует от 500 км до 3 000 км;
- *локальные*, на которых изображается часть региона; получают с пилотируемых кораблей, орбитальных станций, ресурсных и картографических спутников. Такие снимки охватывают десятки тысяч км.

По разрешению (это минимальная линейная величина объекта, которая отображается на снимке) снимки классифицируются следующим образом:

- снимки *очень низкого* разрешения (десятки километров). В настоящее время снимки с таким разрешением редки, в основном, это радиометрические снимки;
- снимки *низкого разрешения* (несколько километров). Эти снимки широко распространены, к ним относятся телевизионные и сканерные снимки с метеоспутников, а также с ресурсных спутников;

- снимки *среднего разрешения* (сотни метров). Такие снимки получают сканирующей аппаратурой среднего разрешения и тепловой инфракрасной аппаратурой ресурсных спутников;

- снимки *высокого разрешения* (десятки метров). Такое разрешение характерно для широко используемых фотографических снимков с пилотируемых космических кораблей, автоматических картографических спутников и орбитальных станций, а также для сканерных снимков с ресурсных спутников. Эта группа снимков делится еще на снимки *относительно высокого* разрешения (50—100 м), *высокого* (20—50 м), *очень высокого* (10—20 м) и *сверхвысокого* (меньше 1 м) разрешения.

Повторяемость съемки. Интервалы между съемками могут составлять годы, месяцы, часы, минуты. При этом обеспечивается получение снимков на одну и ту же территорию при одинаковых условиях, что очень важно при организации мониторинговых исследований. Периодическая повторяемость съемки выполняется со всех метеорологических спутников, которые работают на геостационарных и на околоземных орбитах, а также с ресурсных спутников. Период повторения зависит от особенностей орбиты спутника, обычно остается неизменным все время функционирования спутника и составляет от 10 мин до 16—18 суток. Ежесуточная съемка выполняется со всех метеорологических спутников Земли, которые за сутки обеспечивают полный обзор земной поверхности. Отечественные ресурсные спутники с аппаратурой среднего разрешения, имеют периодичность съемки 5 суток. Ресурсные спутники, поставляющие снимки высокого разрешения, имеют небольшой охват территории, а повторяемость их съемки составляет 16—18 суток.

По спектральному диапазону космические снимки подразделяются на три основные группы: снимки в видимом и ближнем инфракрасном (световом) диапазоне, снимки в тепловом инфракрасном диапазоне и снимки в радиодиапазоне:

- *снимки в световом диапазоне.* Этот диапазон включает видимый (VNIR), ближний (SWIR) и средний (MWIR) ИК-диапазоны и на него приходится большая часть солнечной энергии. На качество снимков в этом диапазоне влияет облачность и рассеивающее влияние атмосферы. В зависимости от технологии получения выделяют снимки:

а) *фотографические*, полученные с помощью фотоаппарата, находящегося на борту авиационного или космического носителя;

б) *телевизионные*, полученные с помощью телекамеры, находящейся на борту носителя;

в) *сканерные*, полученные с помощью специального сканера в виде качающегося зеркала; чаще используют многозональную сканерную съемку, когда применяется несколько зеркал, каждое из которых воспринимает определенную зону спектра.

г) *многоэлементные ПЗС снимки*, полученные с помощью электронных ПЗС-сканеров. Высокое разрешение снимков, минимум геометрических искажений;

- снимки в тепловом ИК диапазоне (TIR или LWIR — Thermal или LongWave InfraRed). Этот диапазон достаточно широк и охватывает зону от 3 до 1000 мкм. Но большая часть его лучей не пропускается атмосферой. Имеются только три окна прозрачности с длинами волн 3—5, 8—14, 30—80 мкм, первые два из которых и используются для съемки. Пространственное разрешение снимков сейчас достигает сотен метров. Температурное разрешение — десятые доли градусов. Съемку можно вести ночью. Облачность мешает съемке, так как регистрируется температура верхней кромки облаков, а не земной поверхности. Съемка в тепловом диапазоне обычно дополняет другие виды съемки. Она используется при изучении различных явлений, связанных с выделением тепловой энергии, например, при мониторинге лесных пожаров, тепловых или атомных электростанций;

- снимки в радиодиапазоне. Для дистанционного зондирования используют ультракоротковолновый диапазон радиоволн с длинами волн 1 мм — 1 м (СВЧ или микроволновый диапазон). Этот диапазон в значительной степени свободен от влияния атмосферы и погодных условий.

Различают *пассивную* радиометрию, при которой фиксируется собственное излучение Земли (радиометрические снимки), и *активную*, когда фиксируется отраженное искусственное излучение (радиолокационные снимки):

а) пассивная радиометрическая съемка осуществляется с помощью микроволновых радиометров, которые регистрируют СВЧ излучение. По сигналам радиоизлучения строится радиометрический снимок, на котором изображаются объекты, характеризующиеся различными излучательными свойствами в заданном диапазоне. Например, излучение металлов очень незначительно, излучение растительности и сухой почвы характеризуется коэффициентом 0,9, воды — 0,3. Радиометрические снимки позволяют выявить почвы с различной влажностью, воды с разной степенью солености, определить степень промерзания грунтов, возраст морских льдов и т. д.;

б) для получения радиолокационных снимков на носителе устанавливается активный источник радиоизлучения с антенной, действующий по принципу просмотра местности поперек маршрута. Посылаемый к Земле сигнал по-разному отражается поверхностью и улавливается регистрирующей аппаратурой. На полученных снимках отражается шероховатость поверхности, микро-рельеф, состав пород. Такие снимки могут применяться в геологии для поиска линз подземных вод, в сельском хозяйстве — для изучения состояния растительности, а также для картографирования земель.

Контрольные вопросы

1. Что такое «космический снимок» и какая информация может быть на нем отражена?
2. Что означает понятие «разрешение космического снимка»? Как классифицируются снимки по данному параметру?
3. Перечислите основные технологии получения снимков в световом диапазоне.

ТИПЫ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ, ПОСТАВЛЯЮЩИХ ДДЗ

Космические (спутниковые) снимки — собирательное название данных, получаемых посредством космических аппаратов (КА) в различных диапазонах электромагнитного спектра, визуализируемых затем по определенному алгоритму. Среди наиболее часто используемых ДДЗ, обусловленных доступностью, пространственным разрешением и подходящим к целям исследований интервалом повторяемости съемки являются материалы, полученные радиометрами Aster и ETM+ (табл. 2, 3).

Табл. 2. Оптические сенсоры

Сенсор и ИСЗ	Спектральный диапазон каналов	Пространственное разрешение	Полоса обзора
ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometr), EOS AM-1 (1999). Япония	0.52—0.86 (1—3, VNIR) 1.6—2.43 (4—9, SWIR) 8.12—11.6 (10—14, TIR)	15 м 30 м 90 м	60 км
ETM+ (ETM — Enhanced TM), Landsat — 7 (1999). США	0.45—0.52 мкм 0.52—0.6 мкм 0.63—0.69 мкм 0.76—0.9 мкм 1.55—1.75 мкм 2.08—2.35 мкм 0.52—0.9 мкм (пан.) 10.42—12.5 мкм	30 30 30 30 30 30 15 60	185×171 км
MODIS (Moderate Resolution Imagine Spectroradiometer), EOS AM-1 (Terra) (1999). США	0.62—0.67 0.84—0.88 0.46—0.48 0.54—0.56	250 м 250 м 500 м 500 м	2230 км
QuickBird	0.45—0.52 (голубой) 0.52—0.60 (зеленый) 0.63—0.69 (красный) 0.76—0.90 (БИК) 0.45—0.90 (панхром)	2.44 м 0.61 м	16.5×16.5 км

Табл. 3. Радиолокационные системы с синтезированной апертурой (РСА)

Аппаратура и ИСЗ	Длина волн, см, поляризация	Пространственное разрешение	Полоса съемки, км
(РСА) — ERS-1 (1991); ERS-2 (1995)	5.6 см, вертикальная (ВВ)	30	100

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОТОБРАЖЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ

Технологии отображения являются неотъемлемой частью обработки пространственной информации в дистанционном зондировании и ГИС. В зависимости от источника получения, ДДЗ либо сразу поступают заказчику в цифровом формате, либо должны быть переведены в цифровой формат для автоматизированной компьютерной обработки. Все исходные ДДЗ в цифровом виде представляют собой растровые изображения, т. е. изображения, состоящие из точек (пикселей), которые отличаются друг от друга спектральными (цветовыми) характеристиками. Слово «пиксел» является аббревиатурой английских слов *picture element* — элемент изображения. Слово «пиксел» применяется как для обозначения наименьшего элемента, описанного в файле растровых данных (файловый пиксел), так и для обозначения наименьшего участка поверхности дисплея, обладающего однородными характеристиками (дисплейный пиксел).

Характеристики каждого пиксела записываются в файле данных (файловые пикселы) или в видеопамяти компьютера (дисплейные пикселы) с помощью двоичного кода. От того, как много памяти выделяется на описание одного дисплейного пиксела, зависит число возможных значений его характеристик. В качестве характеристик пиксела чаще всего выступают его цветовые (спектральные) параметры. Например, если на описание одного пиксела выделяется 1 байт памяти, то характеристика цвета может принять 256 различных значений, т. к. 1 байт = 8 бит, каждый бит может принять 2 значения, следовательно, число возможных вариантов определится как $2^8 = 256$.

При отображении изображения на дисплее файловые пикселы преобразовываются в дисплейные. В современных системах отображения используется трехкомпонентное кодирование цветов подобно тому, как глаз человека воспринимает огромное количество цветовых оттенков, определяя долю красного, зеленого и синего цветов в попадающем в него свете.

Для эффективной реализации трехкомпонентного кодирования цвета требуется не менее 24 бит информации на каждый пиксел. Существует два способа организации 24-битной палитры: *DirectColor* и *TrueColor*. В том и другом случае цветовой оттенок пиксела кодируется тремя характеристиками, значения которых соответствуют интенсивности (яркости) красного, зеленого и синего цветов, образующих данный цвет при своем смешении. Три цвета, используемые для кодирования, называются основными и являются линейно независимыми. Это означает, что никакая комбинация при смешивании любых двух из них не может дать оставшийся третий цвет.

При использовании 24-битного кодирования могут быть доступны 256 градаций интенсивности красного цвета, 256 градаций интенсивности зеленого и 256 градаций интенсивности синего, т. к. на кодирование характеристики каждого из цветов приходится по $24 / 3 = 8$ бит. Таким образом, в общем получается $256^3 = 16\,777\,216$ возможных цветовых оттенков. Если применяется

DirectColor, то файловые значения каждой из трех цветовых характеристик пересчитываются в дисплейные на основе имеющейся готовой палитры (таблицы соответствия файловых и дисплейных значений), содержащей $256 \times 3 = 768$ оттенков трех основных цветов разной интенсивности. Если используется TrueColor, то на экран выводятся три разных слоя изображения, пиксели первого из которых окрашены в оттенки красного цвета различной интенсивности в соответствии со значением первой цветовой характеристики, пиксели второго — в оттенки зеленого, в соответствии со значением второй характеристики, а пиксели третьего — в оттенки синего, в соответствии со значением третьей характеристики. На экране эти три слоя смешиваются, образуя требуемые цвета. В данном случае пересчет файловых значений в дисплейные происходит аналитически, без участия готовой палитры оттенков.

На автоматическом анализе цветовых значений каждого пикселя снимка основано большинство используемых в настоящее время методов дешифрования и оценки ДДЗ.

Контрольные вопросы

1. Что обозначает понятие «пиксел»?
2. Сколько вариантов значения интенсивности цвета может принять пиксел?
3. В чем различие способов организации 24-битной палитры DirectColor и TrueColor?

ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Интегрированные ГИС имеют достаточно большие пакеты программ для обработки полученных ДДЗ с целью их совместного анализа с картографической и другой пространственной информацией. К ним можно отнести: ER Mapper, Erdas Imagine, MGE Base Image, IDRISI и др.

Эти программы позволяют выполнять следующие операции:

- радиометрическая коррекция (радиометрическая калибровка, солнечная и атмосферные коррекции, коррекции за угол визирования);
- геометрическая коррекция (инверсия и вращение изображения, генерация сетки на изображение, коррекция за кривизну Земли);
- преобразования (манипуляция с таблицами перекодировки, алгебраические и логические операции, метод главных компонент, трансформация цветного пространства, быстрое преобразование Фурье);
- фильтрация низких и высоких частот, подчеркивание границ, медианная фильтрация, фильтрационные статистики;
- текстурный анализ (характеристики Харлика, К. Сана, измерения вариаций);
- генерация спектральных образов (составление массивов ключевой информации, статистический анализ);
- классификация изображения и оценка ее точности (метод максимального правдоподобия, минимального евклидова расстояния, критерия Хи-квадрат, параллелепипедов, оценка точности на основе классификационных таблиц и тематического сравнения);
- сервисные операции: ввод-вывод информации, ее редактирование и др.

Обработка изображений для получения географического результата представляет собой определенную для каждой задачи последовательность стандартных процедур, в которую входит трансформирование снимка по контрольным точкам, классификация, определение классов по ключевой информации, экстраполяция классов на большую территорию.

Системы обработки изображения совместимые с ГИС, имеют программное обеспечение, составляющее основные три группы: коррекция изображения, улучшение и анализ. Операции по обработке изображений — необязательный элемент технологии ГИС, только некоторые программы содержат полный набор, аналогичный по своим функциональным возможностям специализированным средствам обработки изображений типа ГИС ERDAS (ERDAS, Inc) или EASI / PAC. Профессиональное программное обеспечение (ПО) для обработки ДДЗ отличается от систем обработки изображений общего назначения, таких как Photoshop и др., тесная связь с ПО ГИС. В ДДЗ во главу угла ставиться числовое, абсолютное или нормированное каким-либо образом значение пикселя (кроме элемента изображения), которое оказывается очень важным во многих процедурах анализа. В обычных системах обработки изображений точными

значениями каждого конкретного пикселя можно пренебречь из-за отсутствия задачи восстановления каких-либо характеристик снятого объекта по значениям соответствующих пикселей изображения. Важным свойством ПО по обработке ДДЗ является возможность быстрого перехода от результатов тематического дешифрирования к выполнению операций моделирования и пространственного анализа силами ГИС.

Из зарубежного программного обеспечения по обработке ДДЗ следует выделить ERDAS Imagine, EASI/PACE, VI2STA, Integraf, ENVI, ER Mapper, TNTmips и др. Из отечественных программных продуктов отметим ANSYS, SHELL, LESSA.

Большинство существующих пакетов программ направлено на решение нескольких конкретных узких задач, связанных с обработкой и анализом данных. Так, редакторы растровой графики позволяют решать задачи по отображению, классификации, улучшению изображения. Задачи по географической привязке, ГИС-анализу и подготовке отчетов могут решаться на основе векторных ГИС. В такой ситуации для осуществления всего цикла работ пользователю необходимо иметь в своем распоряжении как минимум несколько программных продуктов. Лишь немногие пакеты программ обеспечивают осуществление всего комплекса работ с данными дистанционного зондирования и к ним относится программный продукт Erdas Imagine, позволяющий решать все задачи по обработке и анализу данных дистанционного зондирования от стадии импорта их из обменных форматов различных источников до подготовки качественных отчетов.

Erdas Imagine является полнофункциональным пакетом программ обработки растровой графики и по структуре решаемых задач представляет собой завершенную географическую информационную систему, которая имеет модульную структуру. Следовательно, каждый конкретный пользователь может приобрести только те модули, которые необходимы для решения, поставленных перед ним задач.

Контрольные вопросы

1. Перечислите основные программные пакеты, применяемые для обработки ДДЗ.
2. В чем отличие программного обеспечения для обработки ДДЗ от программ для обработки изображений общего назначения?

ОБЩАЯ СХЕМА ПРОЦЕССА ОБРАБОТКИ И АНАЛИЗА ДЗЗ

Общую схему процесса обработки и анализа данных о природной среде, полученных дистанционными методами, можно представить следующим образом. Она включает в себя семь основных этапов и основана на использовании соответствующего программного обеспечения для РС.

Этап 1. Отображение данных.

Этап 2. Улучшение изображения.

Этап 3. Геометрическое трансформирование.

Этап 4. Географическая привязка.

Этап 5. Классификация.

Этап 6. ГИС-анализ.

Этап 7. Подготовка отчета.

С целью систематизации решаемых задач, возникающих при работе с данными ДЗЗ обработка изображений должна проводиться в две стадии — предварительная и тематическая. Предварительная обработка должна в обязательном порядке предшествовать процедурам тематической обработки. В настоящее время все поставщики материалов ДЗЗ, как правило, производят предварительную обработку снимков. На этом этапе при необходимости производится составление мозаики снимков на район проведения исследований. Аэрокосмические исследования в рамках экологического мониторинга на всех уровнях и этапах проведения работ должны выполняться в три этапа: подготовительный (предполетный), натурных исследований (полетный), камеральной обработки и анализа, с интеграцией в ГИС исходных данных и результатов обработки. Последовательность проведения работ представлена на рис. 3.

Процедуры тематического дешифрирования, использующие различные алгоритмы обработки спектральных характеристик элементов изображения (процедуры генерализации, межканального синтеза, вычленения, схематизации, детализации, фильтрации, квалификации, классификации и т. д.), направлены на установление уникальности классов дешифрируемых элементов изображения и сопоставления их с эталонными образцами (опорными классами). Тематическая классификация (дешифрирование) объектов может быть выполнена как в автоматическом (так называемая необучаемая классификация), так и в интерактивном (обучаемая классификация) режимах. Оптимальным является синтез этих двух подходов. Все современные программные продукты тематического дешифрирования в той или иной мере поддерживают оба метода.



Рис. 3. Принципиальная технологическая схема обработки и интерпретации ДДЗ при использовании для целей экологического мониторинга

Результаты тематического дешифрирования могут быть переданы в ГИС как в растровом, так и в векторном виде. Предпочтение должно быть отдано векторизации результатов дешифрирования, поскольку объем векторной информации существенно меньше, поддается дальнейшим геометрическим и проекционным преобразованиям, позволяет произвести количественную оценку результатов дешифрирования стандартными средствами ГИС. По окончании тематического дешифрирования должна быть решена задача разделения полученных материалов на картографическую (пространственную) и атрибутивную составляющие. Атрибутивные данные должны быть внесены в базу данных информационной системы в целях исключения избыточности информации, общего накопления материалов мониторинга и проведения анализа динамики процессов. На основе дешифрирования и обработки материалов ДЗЗ, их обоснования наземными методами и данными различных изысканий создаются основные результирующие карты, представляющие собой набор ГИС-слоев экологического содержания (ландшафтного, экологического и геотехнического районирования, развития инженерно-геологических процессов, техногенного состояния территории и др.). Обработка данных дистанционного зондирования, внесение результатов обработки в ГИС, аналитическая обработка данных, количественный и качественный анализ должны решать прямую и обратную задачу (тематическую и картографическую) экологического мониторинга. Все программные продукты, ориентированные на работу с данными ДЗЗ, должны обеспечивать их первичную и окончательную (тематическую) обработку. Жестких требований по применению алгоритмов обработки данных дистанционного зондирования не существует. Набор применяемых математических алгоритмов может быть различен, но результаты дешифрирования должны быть достаточно достоверны, должны быть основой для качественного анализа ПЭМ и поддерживать экспорт конечных продуктов обработки в ГИС.

Существующие технологии позволяют использовать значительные объемы информации в виде векторных, растровых и атрибутивных данных, а также выполнить все необходимые для исследований операции: ввод, коррекцию, хранение, обработку, анализ, моделирование, манипулирование и вывод. Программные продукты также поддерживают обработку результатов трехмерной съемки поверхности (лазерное сканирование), специальные режимы космической съемки (стереопары, перспективная съемка, синхронная съемка, разновременная съемка объектов со смещением и т. д.), позволяют строить цифровые модели рельефа и местности. Современные программные комплексы в целях минимизации объемов экспортируемой информации и проведения количественных оценок результатов обработки данных ДЗЗ позволяют векторизовать полученные результаты. Наиболее развитым из Российских программных комплексов является пакет программ ScanMagic, ScanEx Image Processor, ScanEx NeRIS (Инженерно-технологический центр «СканЭкс», г. Москва). Функциональный набор программ позволяет решать широкий спектр задач: от предварительной обработки и геометрической коррекции изображений до тематического анализа и получения конечных тематических продуктов. Одним из наи-

более развитых программных продуктов, ориентированным на работу с изображениями, является ERDAS Imagine (Leica GeoSystems Geospatial Imaging, LLC, США). Пакет ENVI (ITT Industries, Inc., США) работает с цифровыми материалами космо- и аэросъемок, с геологическими и геофизическими данными. Он позволяет читать, воспроизводить, анализировать и выводить растровые и векторные данные и обеспечивает геометрическую коррекцию изображений; осуществлять оконтуривание областей поиска; автоматическую и интерактивную классификацию; цветовые преобразования; одновременное воспроизведение, наложение, сравнение слоев разнородных данных и оценку результатов; преобразования Фурье; алгебраические и тригонометрические операции; интерполяции и др. Полноценную обработку снимков позволяет выполнить программный пакет компании ESRI Inc (США). Сильной стороной этой системы является поддержка и обработка больших по размеру изображений; возможность дешифрирования снимков в автоматическом или полуавтоматическом режиме, а также комплексирования с другими векторными и растровыми данными. Материалы ДДЗ, обеспечивая по одним компонентам максимально возможную информационную основу (водные ресурсы, геологическая среда, ландшафты, нарушение почвенно-растительного покрова, развитие опасных природных и техногенных процессов), а по другим (воздушные массы, химическое загрязнение ландшафтов, животный мир) — минимальный объем данных, в комплексе с результатами наземных работ создают основу специализированной экологической ГИС-системы управления охраной окружающей среды.

Контрольные вопросы

1. Какие основные этапы включает процесс обработки и анализа данных о природной среде, полученных дистанционными методами?
2. В каком формате — растровом или векторном — предпочтительней всего представить результаты дешифрирования ДДЗ?

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ОСНОВНЫХ ЭТАПОВ ОБРАБОТКИ И АНАЛИЗА СПУТНИКОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Этап 1. Отображение данных

Заключается в представлении данных, полученных непосредственно из их источника, в удобном для пользователя виде. Это неотъемлемая часть обработки пространственной информации в дистанционном зондировании и всех ГИС. Как было сказано выше, в зависимости от источника получения данные дистанционного зондирования поступают сразу в цифровом формате или переводятся в данный формат для дальнейшей автоматизированной обработки. Но независимо от источников все цифровые данные дистанционного зондирования представляют собой растровые изображения.

Отображение данных в Erdas Imagine выполняется с помощью модуля *Viewer*, который является самостоятельным программным средством с большим набором решаемых задач.

Этап 2. Улучшение изображения

Заключается в изменении параметров изображения с целью повышения четкости, уменьшения влияния помех. Улучшение изображения облегчает дальнейший визуальный анализ и автоматизированную обработку материала. Улучшение достигается различными путями, например, изменением яркости, контрастности, фильтрацией помех, улучшением цветового баланса.

В процессе улучшения изображения происходят изменения в исходных данных, которые сводятся к коррекции спектральных характеристик пикселей, составляющих изображение. Это действие имеет большое значение при работе с космоснимками, поэтому его следует охарактеризовать подробнее. Данные дистанционного зондирования, полученные со спутников серии Landsat, получаемые конечными пользователями, т.е. нами, проходят определенную обработку. В результате мы получаем целые значения пикселей в интервале от 0 до 255 (DN — *digital numbers*). В большинстве операций по обработке данных дистанционного зондирования использовать значения излучения, приходящего на сенсор, не обязательно, вполне достаточно значений масштабированных значений DN. Однако, когда в работе используются одновременно данные из нескольких разных источников, полученные с помощью разных сенсоров, например TM, ETM+, которые калибруются по-разному, то перед сравнением или совместным использованием нужно свести эти данные к величине излучения, воспринятой сенсором в рассматриваемом диапазоне электромагнитного спектра.

Величина измеряется в $W / (m^2 \cdot ster \cdot \mu m)$, т. е.: поток энергии (ватт) на квадратный метр земной поверхности на один стерадиан (трехмерный угол от точки на поверхности Земли к сенсору) на единицу измеряемой длины волны.

Это достигается за счет перевода данных из DN в реальные значения приходящего (отраженного от земной поверхности) излучения с помощью специальных формул.

Пересчет показателя яркости (digital numbers, DN) в значения излучения, приходящего на сенсор, производят по формуле:

$$L_{\lambda} = \frac{L_{\max \lambda} - L_{\min \lambda}}{Q_{cal \max} - Q_{cal \min}} (Q_{cal} - Q_{cal \min}) + L_{\min \lambda} ,$$

где L_{λ} – количество приходящего на сенсор излучения ($\text{ватт} \cdot (\text{м}^2 \cdot \text{стер} \cdot \text{мкм})^{-1}$); $L_{\min \lambda}$ и $L_{\max \lambda}$ – количество приходящего излучения, переводимое после масштабирования в Q_{\min} и Q_{\max} , соответственно; $Q_{cal \min}$ – минимальное калиброванное значение DN (0); $Q_{cal \max}$ – максимальное калиброванное значение DN (255); Q_{cal} – калиброванное значение DN.

Для данных Landsat TM5: $Q_{cal \min} = 0$

Канал	Дата съемки			
	01.03.1984 — 04.05.2003		с 05.05.2003	
	L_{\min}	L_{\max}	L_{\min}	L_{\max}
1	-1.52	152.10	-1.52	193.0
2	-2.84	296.81	-2.84	365.0
3	-1.17	204.30	-1.17	264.0
4	-1.51	206.20	-1.51	221.0
5	-0.37	27.19	-0.37	30.2
6	1.2378	15.303	1.2378	15.303
7	-0.15	14.38	-0.15	16.5

Этап 3. Геометрическое трансформирование

Это процесс приведения изображения к заданному масштабу и картографической проекции с устранением смещений из-за наклона оси съемки, рельефа местности, кривизны поверхности Земли и геометрических искажений.

Этап 4. Географическая привязка

Производится идентификация участка земной поверхности, отображенного на изображении, и присвоение каждой точке изображения координат в соответствии с координатами данных точек на местности (так называемая, георегистрация изображения).

В системе географических координат положение точки на земной поверхности определяется относительно земного экватора и начального меридиана (Гринвичского) и выражается в виде географических долготы и широты.

Географическая долгота — двугранный угол, между плоскостями, проходящими через условный меридиан измеряемой точки и начальный меридиан.

Географическая широта — угол, составленный отвесной линией данной точки с плоскостью экватора.

Каждая точка земной поверхности характеризуется индивидуальными параметрами и может быть представлена в ряде систем координат:

- астрономическая система координат, рассматривающая положение точки

на земной поверхности как разность местных времен в тех же точках из расчета, что за 1 час Земля поворачивается на 15° . Часы минуты и секунды служат мерой долгот;

- прямоугольной. Данная система оперирует линейными величинами и позволяет рассматривать небольшие по площади участки земной поверхности, которые условно можно считать плоскими. В данной системе вертикальная ось (направление меридиана) является осью абсцисс, горизонтальная — осью ординат;

- геодезическая (географическая).

К примеру, координаты расположения здания Института биологии Коми НЦ УрО РАН в формате ГГ ММ СС.С (градусы, минуты, секунды) могут быть представлены как: $61^\circ 39' 56.0''$ с. ш. и $50^\circ 49' 22.0''$ в. д. Данные координаты можно получить с различной степенью точности либо с геодезических карт, либо используя навигационную систему GPS. Для дальнейшего использования полученных данных в ГИС системах их желательно перевести в десятичные градусы из расчета:

$$\text{Десятичные градусы} = \text{Градусы} + \text{Минуты} / 60 + \text{Секунды} / 3600,$$

т. е. приведенные выше координаты примут вид: 61.665556° и 50.822778° .

Чтобы представить изображение земной поверхности значительной территории (природные объекты расположены на поверхности эллипсоида или геоида) на плоскости необходимо ее «развернуть». Для осуществления данной процедуры строят картографические проекции. Для этого сначала проецируют нужные точки и линии с шара на цилиндр или конус и, разрезая последние по образующим, разворачивают их на плоскости. На основании имеющихся искажений полученные проекции разделяются:

- на *равноугольные* — передают величину углов, но искажают площади и длины линий;

- *равновеликие* — сохраняют площади, но искажают подобие фигур;

- *произвольные* — искажаются углы и площади, но более умеренно, чем в вышеперечисленных проекциях.

Наибольшее распространение при работе с ГИС данными получила равноугольная (комфортная) проекция и соответствующая ей система координат *Гаусса — Крюгера* (за рубежом *TM*) и наиболее близкая к ней *Universal Transverse Mercator (UTM)*. Средний меридиан называется осевым и в проекции он ровная линия. Начало координат каждой зоны начинается в точке пересечения экватора с центральным меридианом.

Однако отличия между ними состоит в том, что на осевом меридиане зон искажение длин у UTM составляет 0.9996, а не единица как у Гаусса — Крюгера. Ее сущность заключается в том, что поверхность земного эллипсоида от Гринвичского меридиана на восток разбивается меридианами на 60 зон с их

долготной протяженностью 6° (1:500 000 — 1:10 000). Для более крупномасштабных карт — 3° (1:5 000 — 1:2 000). Территория Республики Коми и НАО почти целиком входит в 39 (48° — 54° в. д.), 40 (54° — 60° в. д.) и 41 (60° — 66° в. д.) зоны. При использовании каждой для них строится самостоятельная система прямоугольных координат. Средний (осевой) меридиан зоны принимается за абсциссу, а экватор — ординату. Для определения координат в пределах такого изображения проводятся линии параллельные осям координат.

Большинство доступных спутниковых снимков представляются в проекции UTM.

Этап 5. Классификация

Ключевой этап обработки. Заключается в распознавании на изображении участков, соответствующих различным категориям объектов, и построении на этой основе нового (тематического) изображения, на котором объекты, принадлежащие к одной категории, отображаются одинаково (одним цветом).

Качество классификации зависит от исходных данных. Лучшие результаты получаются при использовании многозональных данных с высоким разрешением. Перед началом классификации программное обеспечение должно быть «обучено» распознавать различные категории объектов на изображении.

Классификация растровых объектов применяется при составлении ландшафтных карт, составлении карт структуры землепользования, лесной таксации, в экологическом мониторинге, корректировке топографических карт.

Присутствуют два варианта выполнения классификации ДДЗ — визуальный и автоматический

Визуальный анализ ДДЗ. Визуальный качественный анализ обычно предшествует автоматической обработке снимков и включает следующие действия:

- оценка характера растрового изображения как самостоятельного объекта;
- выявление системы объектов, подлежащих опознанию и интерпретации;
- оценка особенностей визуального восприятия объектов;
- определение иерархии классов анализа изображения;
- выделение и оценка признаков, по которым будет проводиться опознание

и интерпретация; оценка степени классифицированности растрового изображения применительно к имеющимся программно-техническим средствам обработки изображений.

Визуальный анализ осуществляется по дешифровочным признакам, в роли которых выступают свойства объектов или их взаимосвязей, позволяющие по фотоизображению распознавать сами объекты. Дешифровочные признаки подразделяются на прямые и косвенные.

Прямыми дешифровочными признаками называются те свойства объектов, которые передаются непосредственно и воспринимаются дешифровщиком на снимках. К ним относят форму объекта, его размеры, цвет, фототон, тени и структуру (рисунок) изображения.

Прямых дешифровочных признаков часто бывает недостаточно для распознавания некоторых объектов, поэтому наряду с ними используются косвенные

признаки или индикаторы, которые учитывают закономерные взаимосвязи между объектами местности, проявляющиеся в приуроченности одних объектов к другим, а также в изменении свойств одних объектов в результате влияния на них других объектов.

Использование косвенных признаков для дешифрирования объектов, когда отсутствуют прямые признаки, в каждом конкретном случае производится на основе географической изученности территории с учетом вероятности появления того или иного признака.

Комплексные дешифровочные признаки, отражающие структуру природно-территориальных комплексов, являются более определенными и устойчивыми, чем прямые признаки их элементов и составляют основу ландшафтного метода дешифрирования (см. ниже).

В качестве примеров визуального дешифрирования различных природно-антропогенных объектов можно привести следующие:

- *дешифрирование гидрографических объектов.* Распознавание водоемов и водотоков не вызывает затруднения. Береговые линии их в большинстве случаев имеют достаточно четкие очертания, а изображения водной поверхности хорошо отличаются от окружающих участков суши. На тон фотоизображения водных объектов влияют условия съемки, глубина, цвет дна, чистота и прозрачность воды, ее окраска, волнение, наличие водной растительности. Обычно с увеличением глубины, а также при илистом, глинистом или торфянистом грунте дна тон изображения более темный. Мелкие реки и озера с песчаным или каменистым дном имеют преимущественно светлый тон на снимке. Мутная и вспененная вода также придает более светлый тон изображению. Трудно дешифрировать небольшие реки и ручьи, скрытые под пологом леса и кустарника. Некоторую помощь могут оказать изменения фототона рисунка крон деревьев. Пересыхающие гидрографические объекты характеризуются несколькими полосами различного тона, соответствующими ряду уровней высыхания. Нижняя из них — нередко самая темная — отражает наиболее увлажненный участок ложа водоема;

- *дешифрирование рельефа.* Объектами топографического дешифрирования рельефа являются главным образом формы, имеющие резкие перегибы, обнаженные, незадернованные склоны, а также часть хотя и задернованных, но небольших форм: обрывы, оползни, осыпи, скалы, горные ледники, овраги;

- *дешифрирование лесов и кустарников.* Леса и кустарники имеют на снимках зернистый рисунок. Размер зерен зависит от величины крон деревьев, следовательно, зернистость изображения древостоя крупнее, чем у кустарников. В изображениях на снимках древостоев бросается в глаза неправильная зернистость, создаваемая чередованием округлых пятнышек — проекций крон деревьев и различных по очертаниям промежутков между ними, частично или полностью занятых темными по тону тенями, отбрасываемых деревьями. Цвет изображения, размер крапа, распределение его внутри контура определяется составом, возрастом, бонитетом древостоя. На структуру поверхности влияет и породный состав: ельники имеют более темную окраску, смешанные леса вы-

глядят светлее, сосняки и дубравы имеют пеструю окраску контуров из-за разреженности их древостоев. Сплошные заросли кустарников характеризуются мелкозернистостью, иногда — несколько смазанной структурой рисунка. Характерная особенность полукустарниковой растительности — ее разреженность, повсеместно между отдельными особями видна земля, летом обычно покрытая сетью трещинок;

- *дешифрирование пашен и залежей*. Пашни на снимках имеют четко очерченные границы в виде четырехугольников, для них характерен параллельный полосчатый рисунок, соответствующий бороздам пахоты. Разновидностью пашен являются огороды, отличающиеся небольшими размерами и приуроченностью к постройкам. Залежи имеют признаки дешифрирования пашен, но структура фотоизображения менее четкая. Часто они маскируются естественной растительностью;

- *дешифрирование лугов*. Заливные луга характеризуются бесструктурным или разреженно-крапчатым рисунком и определяются по контакту с линиями рек. Сенокосные заливные луга, кроме вышеперечисленных признаков, имеют изображение следов сенокосения (стога сена в виде выпуклых черточек, рядки скошенных трав — светлые зигзагообразные линии). Суходольные луга дешифрируются по контурам неопределенной формы, бесструктурному рисунку и окружены обычно лесами или пашнями. Сенокосные суходольные луга определяются по признакам сенокосения;

- *дешифрирование болот*. Болота разных типов выглядят по-разному, но большинству из них присуща неправильная форма в плане и плавные округлые очертания. Зернистая структура указывает на облесенность болот. При отсутствии деревьев рисунок гладкий и плотный, различной тональности, которая зависит от характера растительности;

- *дешифрирование населенных пунктов* обычно не вызывает затруднений. Здания четко обособляются от других объектов более или менее правильным расположением и своей характерной формой (резкость очертаний, вертикальность стен, тени, и др.);

- *дешифрирование дорог*. Железные дороги отличаются прямолинейностью на значительных расстояниях, а повороты их плавны и округлы. Отсутствие крутых поворотов, а также наличие большого числа насыпей и выемок позволяет легко отличать на снимках железные дороги от шоссейных. Естественные грунтовые дороги выделяются в виде тонких, обычно светлых линий различной ширины. В отличие от дорог высших классов они более извилистые, имеют крутые повороты.

Автоматический анализ ДДЗ. Классификация. Под *классификацией* следует понимать методы обработки информации при изучении новых объектов и явлений, основанные на отнесении изучаемых объектов к известным классам и, если требуется, образовании новых классов и их упорядочении. Наиболее развитым такой подход является в теории и методах обработки данных дистанционного зондирования. Это обусловлено огромным объемом первичной информации, получаемой с помощью космических снимков, которую

невозможно обработать вручную, но можно обработать на компьютере с помощью соответствующих программных продуктов. Наиболее широко для данных целей используются программные продукты *NERIS* и *ERDAS IMAGINE*.

Обычно анализу подвергаются растровые изображения. Следует выделить несколько процедур классификации при обработке первичных данных в ГИС-технологиях: *без обучения* (автономная, неконтролируемая), *с обучением* и *специальная*.

В процессе классификации осуществляется разбиение пикселей, составляющих непрерывное растровое изображение, на несколько категорий на основании их файловых спектральных значений. Каждый пиксель получает новое значение, входящее в заранее заданное дискретное множество, исходя из его первоначального значения, которое входило в непрерывное множество. Таким образом, классификация — это преобразование непрерывного растрового изображения в тематическое, которое может содержать такие классы, как, например, типы земельных угодий или ландшафтов. Качество классификации во многом зависит от исходных данных.

Классификация без обучения (Unsupervised classification, неуправляемая автономная или кластер-анализ). Представляет собой автоматический метод разбиения всего спектра представленных типов земной поверхности на заданное на выходе количество классов, с заданным порогом ковариации (чаще всего 0.95). Такая классификация позволяет пользователю задать основные руководящие принципы для определения модели классификации в виде некоторых статистических характеристик, но само определение классов и отнесение пикселей изображения к тому или другому из них происходит полностью автоматически.

Автономная классификация обычно используется, когда имеется информация о том, что исходные наборы данных принадлежат к известным классам или подклассам. Неконтролируемая классификация автоматически идентифицирует кластеры подобных данных.

Процедура классификации из общего набора данных выделяет те объекты, которые принадлежат к известным классам. При этом необходимо задавать некоторые параметры или признаки, которые служат основой для анализа и отнесения к известному классу. Для простой классификации определяют только входной и выходной наборы данных. После этого программа автоматически выполняет классификацию, используя заданные параметры класса.

Полученные на основании проведенных маршрутных исследований данные, служат основой для проведения классификации космических изображений с привлечением элементов математической статистики для построения тематических карт. с использованием следующих методов

Классификация с обучением (Supervised classification) позволяет провести не только выявление объектов, но и определить для них новые классы в отсутствие существующих. Она начинается с определения областей обучения (обучающих выборок, эталонов), выделяемых посредством компьютерной графики, которые хранятся в соответствующем наборе данных. Обычно такие эталоны

выделяют в ходе полевых изысканий, отмечая границы площадки с помощью GPS-навигаторов. В процессе классификации затем будут отыскиваться области, содержащие пиксели, соответствующие эталонам. В результате получается набор данных, содержащий набор назначенных классов. Классы будут иметь те же самые имена, что и области обучения. При этом сохраняется возможность редактировать параметры каждого класса.

Результаты любой контролируемой или неконтролируемой классификации могут быть использованы последовательно. Можно выполнить неконтролируемую классификацию данных, затем использовать ее результаты как входные данные для контролируемой классификации, для уменьшения числа классов.

Наиболее целесообразно применять контролируемую классификацию, если известны классы, в которые входят исследуемые объекты.

К *специальным видам классификации* относится одноклассовая классификация. Данный способ применяется когда нужно выделить одну группу объектов или ограниченное число классов. Этот подход очень полезен при исследовании природных ресурсов.

Результаты классификации используются для интерпретации и идентификации областей, объектов и явлений. Ячейки или их совокупности в наборе данных сопоставляют с конкретными числовыми значениями, определяющими классы или характеристики класса. Классы могут идентифицировать растительность, полезные ископаемые, экологическую ситуацию и т. д.

Этап 6. ГИС-анализ

Анализ взаимного пространственного положения различных объектов на изображении и атрибутивной (описательной) информации о них, производимый с целью решения разнообразных прикладных задач, связанных с управлением природными ресурсами, экологическим мониторингом, планированием землепользования и др.

Основными этапами ГИС-анализа являются:

- поиск и идентификация объектов;
- измерение пространственных характеристик объектов;
- анализ пространственной и атрибутивной информации;
- выполнение различных действий над объектами (выделение, перемещение, слияние).

В зависимости от сложности решаемых задач ГИС-анализ осуществляется на двух уровнях: простом и комплексном.

Простой ГИС-анализ предполагает проведение простых одношаговых преобразований данных (в основном из одного файла), в результате которых выполняется какое-либо одно действие из описанных выше.

Комплексный ГИС-анализ предполагает выполнение сложного многошагового анализа данных с использованием нескольких источников информации, сложных преобразований и алгоритмов. Такой анализ производится на основе построения графических моделей (алгоритмов) с помощью специального инструмента, предоставляемого Erdas Imagine. При моделировании могут быть ис-

пользованы растровые, векторные данные, а также их комбинации. Созданные модели обычно используются многократно.

Этап 7. Подготовка отчета

Создание качественных отчетных информационных материалов, содержащих результаты обработки и анализа данных и сопровождающихся необходимыми иллюстрациями, пояснениями и т. д. Подготовка отчета обычно завершает обработку и анализ данных.

При создании отчета обрабатываемые материалы дистанционного зондирования приобретают тот окончательный вид, в котором они выводятся на печать или используются в электронном виде. Данный процесс включает несколько этапов:

- предварительная компоновка композиции;
- подготовка всех необходимых изображений;
- задание размеров формата вывода;
- создание и размещение на формате областей вывода изображения;
- добавление и размещение на формате таких объектов, как легенды, координатные сетки, метки, масштабные линейки, заголовки, подписи, стрелки, указывающие направление на север.

Контрольные вопросы

1. Какую операцию по улучшению изображения необходимо провести при сравнении или использовании данных, полученных с помощью разных сенсоров?
2. Переведите перечисленные координаты из формата «ГГ ММ СС.С» в формат «ГГ.ГГГГГ»:
а) N61°00'33,2" E69°02'43,1"; б) N58°02'21,9" E56°08'18,4"; в) N61°39'00,9" E50°47'00,5";
г) N63°33'47,0" E53°43'56,1"; д) N67°30'20,1" E64°02'16,2".
3. Какие существуют уровни визуального анализа?
4. Какие признаки дешифрирования называются прямыми?
5. Какие признаки дешифрирования называются косвенными?
6. В чем состоит особенность дешифрирования различных природно-антропогенных объектов по космическим снимкам?
7. Что такое «классификация ДДЗ»? Какие способы классификации Вы знаете?

ЛАНДШАФТНЫЕ ПОДХОДЫ В АНАЛИЗЕ СПУТНИКОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Согласно п. III.14 Методических указаний по проведению государственной инвентаризации лесов — «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 лесоустройстве». В большинстве случаев однородные участки характеризуют сходство почвенных, ценоотических условий, режима увлажнения, что позволяет отнести их к сходным фациям (элементарным ландшафтам).

Основные причины смены элементарных ландшафтов обусловлены различиями их положения в рельефе, особенностями режима увлажнения (дренажными способностями) и принадлежностью к геоморфологическим элементам. Наиболее полных результатов при проведении предварительного ландшафтного районирования территории дает совмещение ДДЗ с тематическими картами: орографической и гидрографической сети, планами лесонасаждений и т. д. Сопоставление таких данных позволяет провести выделение основных групп ландшафтов.

В наибольшей степени задачам экологического картографирования отвечает ландшафтно-географический подход, основанный на анализ количественных и качественных характеристик однородных единиц, выделенных при физико-географическом или ландшафтном районировании. Любая оценка состояния территории возможна только в пределах некоторой пространственной общности, получившей название *элементарного ландшафта*.

Среди основных причин различий элементарных ландшафтов — их различия в положении относительно рельефа.

Фация автономная — элементарный ландшафт, сформировавшийся на возвышенных элементах рельефа; характеризуется поступлением вещества и энергии из атмосферы, преобладанием процессов выноса вещества как с потоками вод в растворенном виде, так и в результате перемещения вниз твердого вещества.

Фация аккумулятивная — элементарный ландшафт, сформировавшийся в отрицательных формах рельефа. Характеризуется преобладанием процесса накопления вещества, поступающего из фаций, занимающих автономное и транзитное положение

Фация транзитная — элементарный ландшафт, занимающий промежуточное положение между автономной и аккумулятивной фациями. Характеризуется как поступлением веществ из атмосферы и из автономных фаций, так и выносом его в фации, занимающие подчиненное положение.

В основу выделения групп элементарных ландшафтных единиц наиболее часто берутся материалы топографических карт (М 1 : 100 000; 1 : 50 000), материалы космической съемки. По характеру миграции веществ, особенностям увлажнения, степени дренированности территории выделены следующие группы элементарных ландшафтов:

1. Группа основные ландшафты:

- *автоморфные элювиальные (плакорные) (А)*. Приурочены к водораздельным поверхностям, повышенным формам рельефа, со слабыми уклонами (1—2°), на данных участках отсутствует существенный поверхностный сток и преобладает атмосферное увлажнение; характерно глубокое залегание уровня грунтовых вод; природные комплексы характеризуются поступлением веществ преимущественно из атмосферы и отсутствием бокового притока веществ. Участки, расположенные на местах с хорошими дренажными условиями. Часто представлены сообществами сосняков лишайниковых, ельников зеленомошных на гумусово-железистых подзолах распространенных на торфянисто-подзолисто-глееватых иллювиально-гумусовых почвах;

- *аккумулятивно-элювиальные (А³)*. Площади плоских слабодренированных водоразделов. Данные участки характерны для бессточных или полубессточных понижений (впадин) с затрудненным стоком и дополнительным водным питанием за счет натежных вод; грунтовые воды остаются еще на значительной глубине. Чаще всего это заболоченные участки с атмосферным питанием. Группа включает в себя верховые болотные комплексы, заболоченные сосняки сфагновой группы на болотных верховых торфянисто-глеевых, торфяно-глеевых иллювиально-гумусовых и др. типах почв;

- *супераквальные (S^{Aq})*. Формируются в условиях слабосточных понижений с близким уровнем грунтовых вод, характеризуется поступлением веществ из атмосферы, а также с поверхностными и грунтовыми водами из сопряженных ЭЛ. Часто представлены подчиненными прилегающим ландшафтам бессточными депрессиями;

- *транссупераквальные (Т^{SAq})*. Участки долин ручьев. Характерно регулярное и обычно проточное затопление, наблюдаемое во время половодья или паводков, а значит, переменным водным режимом. Естественные растительные сообщества данной группы включают пойменные прирусловые луга, формирующие аллювиальные дерново-глеевые почвы, приуроченные к долинам рек и ручьев;

- *субаквальные ландшафты*. По степени геохимической автономности и транзитности мигрирующих элементов, обусловленных положением данного ландшафта в рельефе, выделяются:

а) *аккумулятивные аквальные и субаквальные (водоемы) (Aq)*. Преобладает процесс привноса вещества с твердым и жидким стоком над выносом — озера.

б) *трансаккумулятивные (Aq^T)* — ручьи.

2. Группа переходные ландшафты:

- *трансэлювиальные (склоновые) (T^3)*. Наблюдаются на верхних, относительно крутых (более $2-3^\circ$) частях склонов, увлажнение происходит в основном за счет атмосферных осадков, но отличие данной группы в том, что они обладают интенсивным стоком и плоскостным смывом. Маркируются коренными еловыми и сосновыми лесами зеленомошной группы. На нарушенных участках сформированы производные березовые зеленомошные сообщества;

- *трансакумулятивные (T^A)*. Участки, приуроченные к подножьям крупных склонов, для участков характерен высокий уровень грунтовых вод;

- *проточные — ложбины стока, заболоченные проточные депрессии (T^T)*. В районе изысканий представлены преимущественно еловыми лесами травянистой и травяно-черничной группы на болотных низинных и перегнойно-глеевых почвах;

3. Среди особых групп ландшафтов выделены классы:

- *группа техногенных ландшафтов (A_n)*, т. е. разновидностей ландшафта, где человек (его промышленная деятельность) выступает центральным элементом, определяющим функционирование и структуру ландшафта. К данной группе отнесены дороги, карьеры, земли поселений, вырубки, площадки буровых.

Контрольное задание. Распределите участки изображения в зависимости от положения в ландшафте. Дайте характеристику элементарным ландшафтам, выделенным на рис. 4.

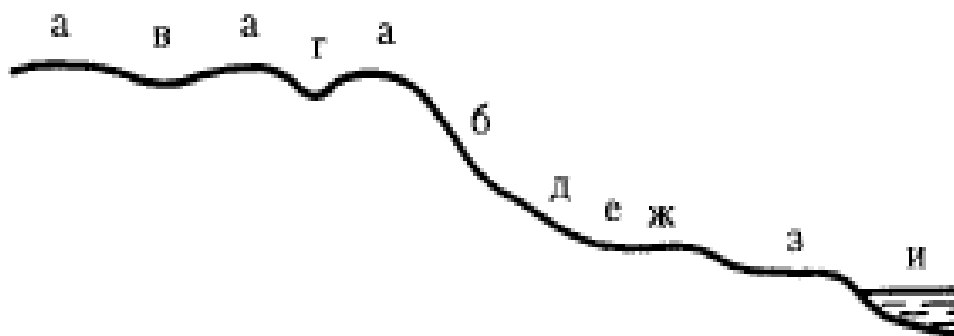


Рис. 4. К контрольному заданию

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДДЗ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ПРОСТРАНСТВЕННОГО АНАЛИЗА И ВЫПОЛНЕНИИ МОНИТОРИНГОВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Земная поверхность представляет собой совокупность расположенных на ней объектов, различающихся по своим отражательным свойствам – спектральным и пространственным. Физические основы использования ДДЗ применительно целей изучения растительного покрова базируются на том, что отраженный растениями свет, в большей степени отличается по спектру, чем другие объекты земной поверхности. Наиболее интенсивное поглощение лучистой энергии растениями происходит в видимом диапазоне длин волн. Лишь 2—3 % приходящего излучения отражается от поверхности листьев без проникновения в них и взаимодействия. Различия спектральных характеристик объектов земной поверхности обусловило широкие возможности использования ДДЗ применительно оценки пространственных (хорологических) особенностей лесных фитоценозов. Так, проведение неуправляемой классификации трех объединенных снимков разных лет позволяет выявить контура лесных выделов, тесно коррелирующие с контурами, представленными на современных планах лесоустройства (рис. 5). Причем цветовые и текстурные особенности соответствуют участкам, различающимся составом растительного покрова, сроками его восстановления.

На основе дешифрирования материалов ДЗЗ составляются тематические карты, которые несут информацию, необходимую для решения задач мониторинга источников загрязнений, ареалов их распространения, эрозионных и других экзогенных процессов, линеаментов разного ранга, производственных объектов, техногенной нарушенности и т.д. Для проведения ретроспективного анализа изменения окружающей среды необходимо использование разновременных материалов ДЗЗ. Возможности экологической интерпретации материалов ДЗЗ расширяются и дополняются наземными полевыми исследованиями, знаниями взаимосвязей, присущих природным образованиям и отражающих их реакцию на воздействие техногенных факторов.

Материалы ДЗЗ, обеспечивая по одним компонентам максимально возможную информационную основу (водные ресурсы, геологическая среда, ландшафты, нарушение почвенно-растительного покрова, развитие опасных природных и техногенных процессов), а по другим (воздушные массы, химическое загрязнение ландшафтов, животный мир) – минимальный объем данных, в комплексе с результатами наземных работ создают основу специализированной экологической ГИС системы управления охраной окружающей среды.

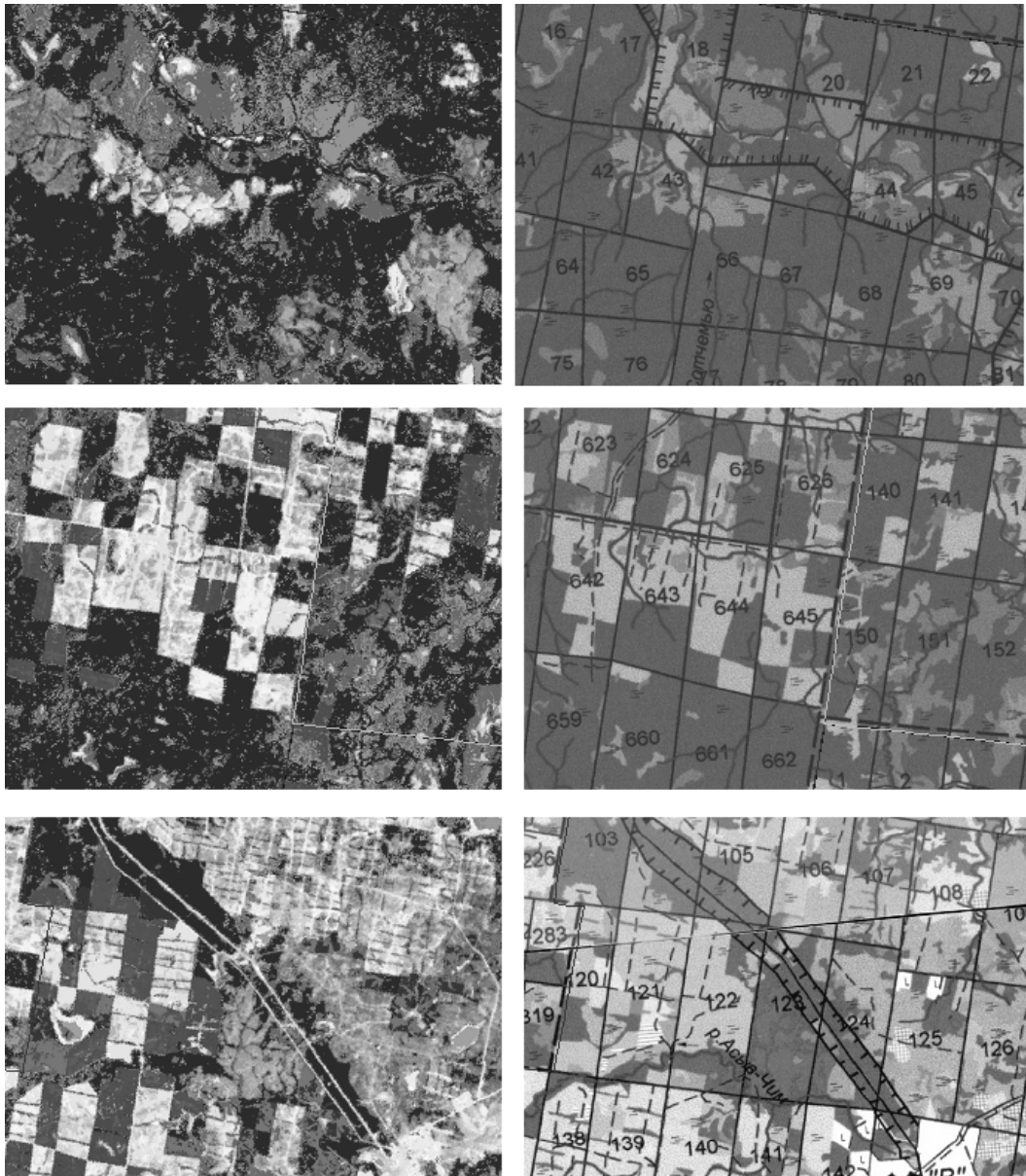


Рис. 5. Использование ДДЗ высокого разрешения Landsat обнаруживает высокую пространственную сходимость с планами лесоустройства лесхоза

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в ходе выполненных работ установлено, что ДДЗ высокого разрешения в сочетании с другими источниками данных могут быть использованы для исследования экологических особенностей распределения лесных фитоценозов, выявления особенностей их пространственного распределения, для целей практического лесопользования (составление планов лесонасаждений, оценки состава (соотношения) пород на выделе и возраста фитоценозов). Апробация непрерывного ряда данных Spot-Vegetation показала важную роль информационных продуктов в плане мониторинга временных изменений лесов и наблюдения за годовыми сменами характеристик фитоценозов, связанных с изменением качества и запаса биомассы. Однако узкие временные рамки и низкое пространственное разрешение использованных нами снимков не позволяют провести наблюдение за трендами природных явлений, вызванных глобальными процессами. Создание банка изображений, организация оперативной системы космического мониторинга территории РК с использованием данных среднего разрешения (MODIS) существенно расширят возможности геоинформационных технологий и увеличат спектр решаемых с их использованием задач.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

Основная учебная литература

1. Геоинформатика [Текст] : учеб. для студ. вузов, обучающихся по спец. «География», «Экология», «Природопользование», «Геоэкология», «Прикладная информатика (по областям)» : 2-х книгах / под ред. В. С. Тикунова. — 3-е изд., перераб. и доп. — Москва : Академия, 2010. — (Высшее профессиональное образование).

Кн. 1. — 400 с.

2. Геоинформатика [Текст] : учеб. для студ. вузов, обучающихся по спец. «География», «Экология», «Природопользование», «Геоэкология», «Прикладная информатика (по областям)» : в 2-х книгах / под ред. В. С. Тикунова. — 3-е изд., перераб. и доп. — Москва : Академия, 2010. — (Высшее профессиональное образование).

Кн. 2 . — 432 с.

Дополнительная учебная, учебно-методическая литература

1. Сборник задач и упражнений по геоинформатике [Текст] : учеб. пособие для студ. вузов, обучающихся по экологическим спец. / Е. Г. Капралов [и др.] ; под ред. В. С. Тикунова. — Москва : Академия, 2009. — 512 с. + 1 эл. опт. диск (CD-ROM). — (Высшее профессиональное образование).

2. Сухих, В. И. Аэрокосмические методы в лесном хозяйстве и ландшафтном строительстве [Текст] : учеб. для студ. вузов, обучающихся по спец. «Лесное хозяйство» и «Садово-парковое и ландшафтное строительство» / В. И. Сухих ; М-во образования и науки Рос. Федерации, Федеральное агентство по образованию, Мар. гос. техн. ун-т . — Йошкар-Ола : МарГТУ, 2005. — 392 с.

Дополнительная литература

1. Вестник Марийского государственного технического университета [Текст] : научно-прикладной журнал. Серия Лес. Экология. Природопользование. — Выходит три раза в год.

2008 № 1—3;

2009 № 1—3;

2010 № 1, 2;

2. Геоинформатика [Текст]. — Выходит ежеквартально.

2008 № 1—4;

2009 № 1, 2;

2010 № 1, 2;

3. Лесная энциклопедия [Текст] : в 2-х томах. Т. 1. Абелия—Лимон / ред. Н. П. Анучин. — Москва : Сов. энцикл., 1985. — 563 с.

4. Лесная энциклопедия [Текст] : в 2-х томах. Т. 2. Лимоннок—Ящерицы / ред. Н. П. Анучин. — Москва : Сов. энцикл., 1986. — 631 с.

5. Лесной журнал [Текст]. Известия высших учебных заведений. — Выходит раз в два месяца.

2003 № 1, 5, 6;

2004 № 1—6;

2005 № 1—6;

2006 № 1—6;

2007 № 1—5;

2008 № 1—6;

2009 № 1—4;

2010 № 1—6;

2011 № 1—6;

2012 № 1—5;

6. Энциклопедия лесного хозяйства [Текст] : в 2-х томах. Т. 1. А—Л / М-во природ. ресурсов Рос. Федерации, Федеральное агентство лесн. хоз-ва. — Москва : ВНИИЛМ, 2004. — 416 с.

Электронные информационные ресурсы

1. Лесной кодекс Российской Федерации [Электронный ресурс] : от 04.12.2006 № 200-ФЗ : ред. от 28.07.2012 // СПС «КонсультантПлюс».

ПРИЛОЖЕНИЕ.

ПЕРЕЧЕНЬ РЕКОМЕНДУЕМЫХ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

1. **Лабораторная № 1.** Ознакомление с интерфейсом программного пакета Erdas Imagine. Работа с «вьюером». Демонстрация основ обращения с космическими изображениями на примере спектрзональных снимков высокого разрешения Landsat (их просмотр, измерение расстояний, сопоставление между собой, изменение контрастности и т. д.) — 2 часа.

2. **Лабораторная № 2.** Обучение работе с каталогом изображений в модуле Image Drapе. Система ввода и вывода изображений. Создание и обработка трехмерного изображения путем наложения снимков на рельеф. — 4 часа.

3. **Лабораторная № 3.** Преобразование тематических слоев, построение основы тематической карты при помощи автоматической классификации. Обучение основам дешифрирования лесных насаждений по спектральным изображениям. — 4 часа.

4. **Лабораторная № 4.** Проведение контролируемой (управляемой) классификации. Цель занятия — обучение проведению всех этапов контролируемой классификации (классификации на основе выделенных эталонов). — 4 часа.

5. **Лабораторная № 5.** Улучшение качества и проверка результатов классификации для получения тематических карт (перекодировка, генерализация, вырезание). Цель — научить студентов проведению дополнительных улучшающих преобразований после проведения классификации для получения качественной тематической карты. — 4 часа.

6. **Лабораторная № 6.** Создание композиции (макета) карты для вывода на печать (задание необходимого масштаба, вывод отдельных элементов — масштабной линейкой, легендой, направлением на север, подписями). — 4 часа.

7. **Лабораторная № 7.** Координатная привязка космических снимков (точное совмещение с другими растровыми или векторными данными). Понятие об спектральных индексах, способы их расчета программными средствами. — 4 часа.

8. **Лабораторная № 8.** Создание мозаики изображений из серии изображений. Проведение оценки изменений территории по ДДЗ. Слияние изображений с разным разрешением. Цель — научить студентов составлению мозаики изображений, а также проведению визуального увеличения пространственного разрешения многоканального изображения на основе панхроматического изображения с более высоким разрешением. — 4 часа.

9. **Лабораторная № 9.** Проведение дешифрирования модельной территории одного из лесхозов. Прямые и косвенные дешифровочные признаки. Сопоставление классификаций территории с изолиниями рельефа. Оценка ландшафтной структуры территории. — 4 часа.

10. **Лабораторная № 10.** Работа с векторными данными, создание буферной зоны. Комбинированное использование растровых и векторных изображений. Понятие зональных атрибутов, перезонирование. — 4 часа.

11. **Лабораторная № 11.** Создание и реализация собственных алгоритмов и моделей обработки космических изображений. Основы моделирования в среде Erdas Imagine. Возможности ERDAS Imagine для реализации собственных алгоритмов и моделей, использующих космические изображения и другие растровые или векторные данные. — 4 часа.

Учебное издание

Елсаков Владимир Валериевич, кандидат биологических наук, доцент
Кириллов Дмитрий Валерьевич, кандидат биологических наук, научный сотрудник

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ДЕШИФРИРОВАНИЕ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Сан.-эпид. заключение № 11.РЦ.09.953.П.000015.01.09

Подписано в печать 28.02.13. Формат 60 × 90 1 / 16. Уч.-изд. л. 2,4. Усл. печ. л. 2,8.
Тираж 40. Заказ №

Сыктывкарский лесной институт (филиал) федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего профессионального образования
«Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С. М. Кирова»
(СЛИ), 167982, г. Сыктывкар, ул. Ленина, 39
institut@sfi.komi.com, www.sli.komi.com

Редакционно-издательский отдел СЛИ.
Отпечатано в СЛИ.