

НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Агрономический факультет

А.Ф. Петров, С.Ю. Капустянчик,
А.Г. Митракова

Использование
ГИС-технологий в агрономии
(агрохимия и агропочвоведение).

Учебное пособие

Новосибирск 2020

УДК 63:551.46(084.3)(075)
ББК 40.7, я73
П 305

Кафедра почвоведения, агрохимии и земледелия.

Авторы: А.Ф. Петров, С.Ю. Капустянчик,
А.Г. Митракова, Р.Г. Шакиров

Рецензенты: канд. с.-х. наук, доц. *Н.В. Пономаренко*
канд. с.-х. наук, доц. *В.Ю. Листков*

Использование ГИС-технологий в агрономии: учебное пособие /
А.Ф. Петров, С.Ю. Капустянчик, А.Г. Митракова, Р.Г. Шакиров;
Новосибирский государственный аграрный университет. – Новосибирск: ИЦ
НГАУ «Золотой колос», 2020. – 192 с.

Учебное пособие знакомит обучающихся с геоинформационными системами, цифровыми картами, аэрокосмическими снимками, методами и способами их получения и обработки, а также с различными аспектами использования ГИС-технологий в сельском хозяйстве.

Предназначено для обучения бакалавров и магистров по направлениям подготовки «Лесное дело», «Агрохимия и агропочвоведение», «Агрономия», «Ландшафтная архитектура», «Природообустройство и водопользование».

Рекомендовано к изданию учебно-методическим советом агрономического факультета (протокол № 12 от 17.12.2019.).

© Петров А.Ф., Капустянчик С.Ю.,
Митракова А.Г., Шакиров Р.Г., 2020

© Новосибирский государственный
аграрный университет, 2020

ВВЕДЕНИЕ

Основная доля поступающей информации человеку в той или иной мере является пространственной. Это в первую очередь различные типы географических, топографических, тематических карт и атласов маленького, среднего и большого масштаба, спутниковые и аэроснимки, различные планы, схемы сельскохозяйственных территорий, ландшафтов, лесов, водоемов, городов, а также планы расположения домов, квартир, адреса их пространственного размещения, маршруты движения транспорта и даже основные сведения о почвенном покрове, погоде, климате в целом и многое другое. Для удобства в современном геоинформационном обществе вся информация чаще всего представлена в цифровом или так называемом электронном виде и широко используется как в рабочих процессах, так и в повседневной жизни людей. То есть сегодня идет интенсивный процесс интеграции общей информации и данных в информационное научно-образовательное пространство во всех сферах деятельности, включая промышленность, сельскохозяйственное производство, лесное дело, как на региональном, так и на глобальном уровнях. Так, например, в ряде развитых европейских стран приняты и в отдельных внедрены госпрограммы «цифровой экономики», «цифрового сельского хозяйства», в рамках которых сформированы общедоступные электронные базы данных, содержащие географическую информацию. Данная информация, как правило, имеет вид цифровых электронных карт, схем, которые, в свою очередь, широко используется в процессе дальнейших работ. В РФ в рамках федеральных целевых программ «Электронная Россия» и «Развитие цифрового сельского хозяйства» прорабатывается общая Концепция формирования Российской инфраструктуры пространственных данных как элемента общегосударственных информационных ресурсов.

На сегодняшний день современные информационные технологии широко используются во всех сферах деятельности, причем как в деловой жизни, так и в быту. Ведь всего каких-то 20–25 лет назад было невозможно даже себе представить, насколько привычными станет для простого человека спутниковое телевидение, мобильный интернет, а также онлайн-продажа товаров и услуг. Современные цифровые технологии позволяют оперативно и качественно собирать, обрабатывать и передавать информацию, что дает возможность выйти на новый уровень не только в сфере промышленности, но и в сельском хозяйстве, а также открывает глаза на состояние окружающего нас мира.

Географическая карта сегодня перестала быть статичным символическим материалом. Она легко совмещается с аэрокосмическим снимком с изображением как всего земного шара, так и отдельного сельскохозяйственного производства с отображением всех элементов.

Причем современный аэрокосмический снимок отражает реальное положение дел в определенный момент времени в данной местности.

В своем пособии мы предлагаем освоить возможности новых цифровых инструментов, которые позволят сделать изучение ГИС-технологий более интересным, содержательным и достаточно современным. Здесь вы ознакомитесь с геоинформационными системами, цифровыми картами, аэрокосмическими снимками, методами и способами их получения и обработки.

1. ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

ГИС – это современные геоинформационные мобильные системы, которые обладают возможностью отображать свое местоположение на карте. В основе этого важного свойства лежит использование двух технологий: геоинформационной и глобального позиционирования. Если мобильное устройство имеет встроенный GPS-приемник, то с помощью такого прибора можно определить его местоположение и, следовательно, точные координаты самой ГИС. К сожалению, геоинформационные технологии и системы в русскоязычной научной литературе представлены небольшим количеством публикаций, вследствие этого практически полностью отсутствует информация об алгоритмах, лежащих в основе их функциональных возможностей. По территориальному охвату различают глобальные (планетарные) ГИС (global GIS), субконтинентальные ГИС, национальные ГИС, зачастую имеющие статус государственных, региональные ГИС (regional GIS), субрегиональные ГИС и локальные, или местные, ГИС (local GIS).

ГИС различаются предметной областью информационного моделирования: городские ГИС, или муниципальные ГИС (urban GIS), природоохранные ГИС (environmental GIS), туристические и т. д.

Интегрированные ГИС (integrated GIS, IGIS) совмещают функциональные возможности ГИС и систем цифровой обработки изображений данных дистанционного зондирования в единой интегрированной среде. Технология ГИС объединяет традиционные операции при работе с базами данных, такими как запрос и статистический анализ, с преимуществами полноценной визуализации и географического (пространственного) анализа, которые предоставляет карта. Эти технологии отличают ГИС от других информационных систем и обеспечивают уникальные возможности для ее применения в широком спектре задач. Создание карт и географический анализ не являются чем-то абсолютно новым. Однако технология ГИС автоматизирует процедуру анализа и прогноза.

ГИС включает в себя основные составляющие: аппаратные средства, программное обеспечение, данные.

Аппаратные средства в общем случае представляют собой персональный компьютер либо отдельный, либо включенный в компьютерную сеть.

Программное обеспечение ГИС содержит функции и инструменты, необходимые для хранения, анализа и визуализации географической (пространственной) информации. Основными компонентами программного обеспечения являются: средства для ввода и географическая информация, СУБД, инструменты поддержки пространственных запросов, анализа и визуализации; графический интерфейс пользователей.

Данные о пространственном положении (географические данные) и связанные с ними табличные данные могут собираться и подготавливаться

самим пользователем либо приобретаться у поставщиков на коммерческой или другой основе. В процессе управления пространственными данными ГИС интегрирует пространственные данные с другими типами и источниками данных.

ГИС может работать с двумя существенно отличающимися типами данных – векторными и растровыми.

В векторной модели информация о точках, линиях кодируется и хранится в виде набора координат X, Y (в современных ГИС часто добавляется третья пространственная координата Z и четвертая, например временная). Местоположение точки (точечного объекта), например Приметного камня, описывается парой координат (X, Y) . Линейные объекты, такие как дороги, реки или трубопроводы, сохраняются как наборы координат X, Y . Полигональные объекты, типа речных водосборов, земельных участков или областей обслуживания, хранятся в виде замкнутого набора координат.

Векторная модель особенно удобна для описания дискретных объектов и меньше подходит для описания непрерывно меняющихся свойств, таких как плотность населения или доступность объектов.

Растровая модель оптимальна для работы с непрерывными свойствами. Растровое изображение представляет собой набор значений для отдельных элементарных составляющих (ячеек), оно подобно отсканированной карте или картинке. Современные ГИС могут работать как с векторными, так и с растровыми моделями данных.

ГИС хранит информацию о реальном мире в виде набора тематических слоев, которые объединены на основе географического положения. Этот простой, но очень гибкий подход доказал свою ценность при решении разнообразных реальных задач: для отслеживания передвижения транспортных средств и материалов, детального отображения реальной обстановки и планируемых мероприятий, моделирования глобальной циркуляции атмосферы.

Любая географическая информация содержит сведения о пространственном положении, будь то привязка к географическим или другим координатам или ссылки на адрес, почтовый индекс, идентификатор земельного или лесного участка, название дороги или километровый столб на магистрали и т. п.

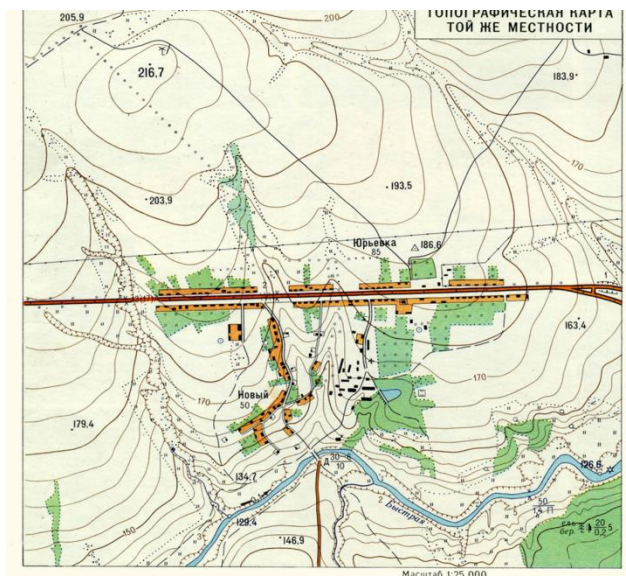
Контрольные вопросы

1. Что такое ГИС и где ее применяют?
2. По какому признаку различаются ГИС?
3. С какими типами данных может работать ГИС?

2. ТОПОГРАФИЧЕСКАЯ КАРТА

2.1. Топографическая карта, термины, масштабы условные обозначения

Изображение земной поверхности чаще всего дается в виде графических документов, которыми являются карта, план и профиль местности.



План — уменьшенное изображение небольших участков земной поверхности на плоскости.

Карта — уменьшенное, искаженное по определенному математическому закону изображение на плоскости отдельных участков или всей земной поверхности (рис. 1).

Математический закон, по которому производится изображение местности с заранее установленным искажением, называется **проекцией**.

Степень уменьшения горизонтальных проложений линий местности при изображении на графических документах называется **масштабом** данного документа.

В общем виде масштаб может быть записан в виде дроби $1:M$, где M — знаменатель масштаба. Например, $1:M=1:10000$ означает, что расстояние в 1 см на карте соответствует 100 м горизонтального проложения соответствующей линии на местности.

Карты составляют и издают в виде отдельных листов. Система расположения и обозначения листов топографических карт называется **разграфкой и номенклатурой**.

Исходной основой для получения номенклатуры карт любого масштаба является лист карты масштаба $1:1000000$, размеры которого составляют 6° по долготе и 4° по широте (рис. 2).

Внутренней рамкой карты являются **параллели и меридианы**.

Параллелью называют след от пересечения земной поверхности плоскостью, параллельной плоскости экватора и проходящей через данную точку.

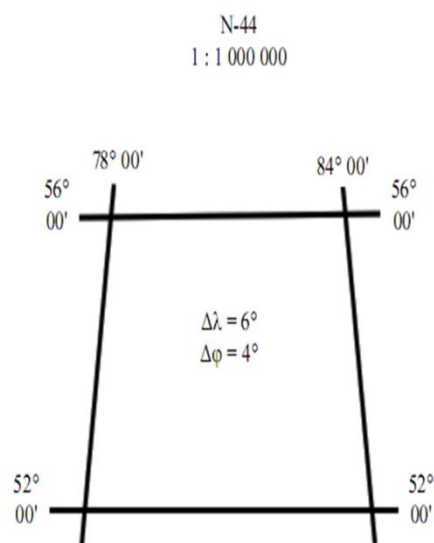


Рис. 2. Лист карты
М 1:1000000

Истинным (географическим) **меридианом** называется след от пересечения поверхности Земли плоскостью географического меридиана.



У выходов сетки географических координат подписываются значения широт и долгот. Счет широт ведется к северу и к югу от экватора, счет долгот – к востоку и к западу от Гринвичского меридиана. На картах крупных масштабов подписываются только географические координаты углов рамок трапеций. Подписи широт располагаются по западной и восточной, долгот – по северной и южной сторонам рамки.

мление
угольных
картах

Подписи прямоугольных координат на картах. Подписи абсцисс x километровых линий располагаются по западной и восточной сторонам листа. Подписи абсцисс означают расстояние от экватора в километрах (в проекции Гаусса – Крюгера). В целях сокращения обозначений все выходы сетки подписываются крупными цифрами, означающими только десятки и единицы километров в значении x ; цифры сотен и тысяч километров подписываются мелкими цифрами лишь на крайних линиях (рис. 3). Подписи ординат y располагаются по южной и северной сторонам листа. Значения ординат в сотнях, десятках и единицах километров (от условного начала в 500 км западнее осевого меридиана) дают последние три цифры. Первые (слева) одна или две цифры означают номер шестиградусной зоны.

Номер колонны = номер зоны + 30.

Например, на рис. подпись 7351 означает: 351 км к востоку от начала координат или $500 - 351 = 149$ км к западу от осевого меридиана. Цифра 7, стоящая в начале подписи, означает $7 + 30 = 31$ колонну, т. е. колонну, в которой расположен город Москва.

2.2. Географические элементы карт

Общие замечания. Карта является уменьшенным изображением местности, и степень уменьшения (т. е. масштаб) в значительной степени определяет полноту содержания карты. При строгом сохранении масштаба на карте могут быть изображены предметы, размеры которых превышают 0,2 мм в масштабе карты. Это значит, например, что на 1:1000000 карте можно изобразить только объекты, размеры которых больше чем $0,2 \text{ мм} \cdot 1\,000\,000 = 200 \text{ м}$ в натуре, на 1:100000 карте – больше чем 20 м и т. д. При таком чисто механическом подходе многие важные объекты не попали бы на карту, а другие, менее важные, были бы изображены с излишней подробностью. Поэтому объекты, имеющие существенное значение, изображаются нередко с преувеличением, объекты менее важные исключаются или изображаются с

обобщением. Например, шоссе шириной 12 м в 1:1000000 масштабе следовало бы изобразить линией в 0,012 мм толщиной. В действительности на 1:1000000 карте этот важный объект изображается линией в 0,6 мм толщиной, т. е. с преувеличением в 50 раз. В то же время на этой карте дают лишь контуры селений и не показывают второстепенных проездов в них. На карте 1:100000 масштаба показывают уже почти все проезды в населенных пунктах, но с некоторым преувеличением их ширины. Разумный отбор и обобщение изображения элементов ландшафта называется картографической генерализацией. Генерализация проводится с учетом назначения карты и ее масштабных возможностей. Таким образом, карта представляет собой уменьшенное генерализованное изображение.

Карта является вместе с тем изображением условным. Элементы ландшафта изображаются на картах условными знаками, набор, форма и размеры которых различны для карт разных масштабов и назначения. Так как целый ряд важных объектов нельзя изобразить точно в масштабе карты, то для них применяются так называемые внесмасштабные условные знаки.

Далее рассмотрены особенности изображения некоторых основных элементов ландшафта (применительно главным образом к топографическим картам) и приводятся соответствующие условные знаки, общепринятые для топографических карт.

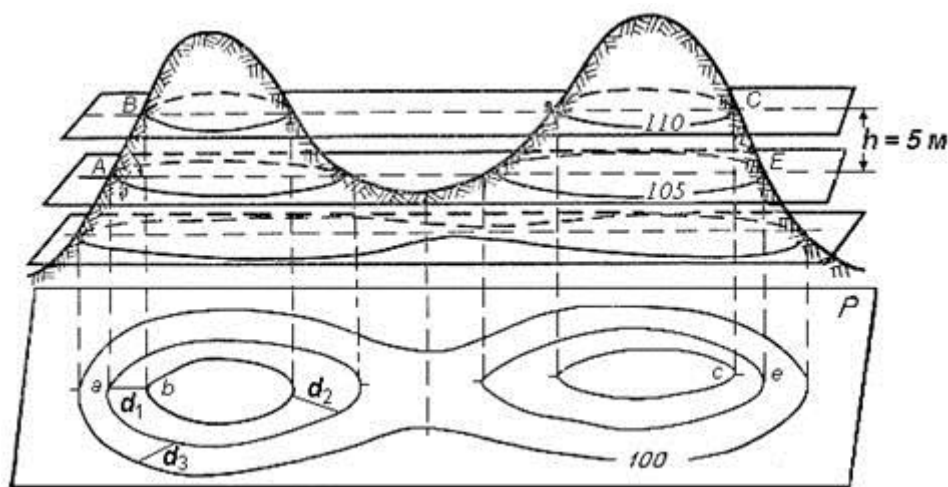


Рис. 4. Способ изображения рельефа горизонталями

Рельеф. На топографических картах рельеф изображается преимущественно способом горизонталей (рис. 4). Горизонталями называются линии, соединяющие точки с одинаковой высотой над уровнем моря. Их можно представить как следы береговой линии при изменении горизонта вод. В небольших пределах у частной горизонтали рассматривают как линии пересечения поверхности земли с горизонтальными плоскостями (рис. 5).

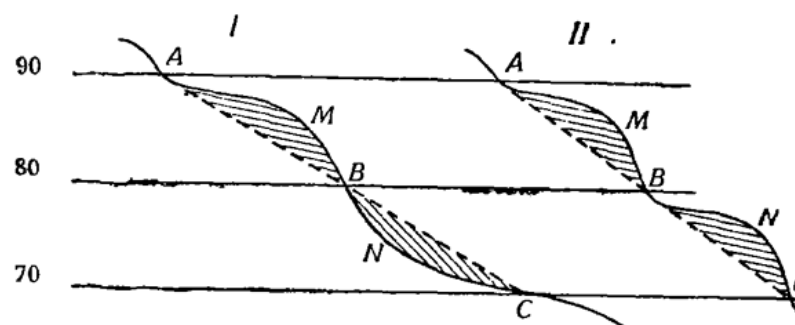


Рис. 5. При сечении рельефа горизонталями высотой 70, 80 и 90 м на плане получается положение точек *A*, *B*, *C*. Мелкие выпуклости и впадины *AMB* и *BNC* не будут изображены

Расстояние по вертикали между плоскостями, в которых лежат смежные горизонтали, называется сечением рельефа.

Основное сечение рельефа – величина постоянная для топографической карты данного масштаба.

Установлены следующие высоты основного сечения рельефа для различных масштабов карт:

Масштаб	Высота сечения
1:25000	5 м
1:50000	10 м
1:100000	20 м
1:200000	40 и 50 м
1:300000	20 м
1:500000	40 м

Для удобства счета каждая пятая горизонталь обычно вычерчивается утолщенной линией (например, горизонтали высотой 0, 25, 50, 75 м и т. д. на 1:25000 карте). Высоты некоторых горизонталей подписываются.

На картах указываются абсолютные отметки (высоты над уровнем моря) вершин гор, холмов, перегибов ската, дна котловин и других характерных точек рельефа. Абсолютные высоты считаются от среднего уровня Балтийского моря (точнее – от нуля Кронштадтского футштока). Все подписи высот относятся к поверхности земли.

Чтобы облегчить нахождение направления ската, цифры подписей горизонталей располагаются так, чтобы низ цифр был обращен вниз по скату, и на некоторых горизонталях ставятся бергштрихи – короткие штрихи, направленные также вниз по скату.

Мелкие формы рельефа изображаются особыми условными знаками. Овраги и промоины вычерчиваются одной или двумя линиями, в зависимости от их ширины и от масштаба карт (табл. 1).

Изображение оврагов и промоин на карте

Таблица 1

Способ изображения	М 1:25000	М 1:50000	М 1:100000
	Ширина оврагов и промоин		
Одной линией	<5 м	<5 м	<10 м
Двумя линиями без соблюдения масштаба	5–10 м	5–20 м	10–40 м
Двумя линиями с соблюдением масштаба	>10 м	>20 м	>40 м

По дну оврагов шириной более 3 мм в масштабе карты проводятся горизонтالي.

Уступы, обрывы, курганы, ямы изображаются штрихами. Чем выше уступ, курган и т. д., тем штрихи толще и длиннее. Относительные высоты (глубины и высоты) ям, курганов подписываются на картах с округлением до 0,1 м.

С переходом от карт более крупного к картам более мелкого масштаба увеличивается сечение рельефа, рисунок горизонталей подвергается обобщению, более мелкие формы рельефа исключаются или изображаются условными знаками (если они отражают характерные особенности рельефа, например овраги и промоины, карстовые воронки и т. д.). На мелкомасштабных картах горизонтали приобретают характер граничных линий, разделяющих области преобладания некоторых определенных высот. Точное определение скатов по горизонталям мелкомасштабных карт невозможно, они дают лишь средний уклон местности. На мелкомасштабных картах, в отличие от карт топографических и среднемасштабных, сечение рельефа не является величиной постоянной. Так, на 1:1000000 карте проводятся горизонтали следующих высот: 0, 100, 200, 500, 700, 1000, 1500, 2000 м.

Растительность и почвы. На топографических картах показывают границы (контуры) площадей, занятых лесами, степями, лугами, пашнями, солончаками и т. д. Условный знак контура угодий (т. е. пунктир) не показывается, когда контур совпадает с берегами рек и озер, оврагами, промоинами, дорогами, изгородями. Горизонтالي и изображения линий связи не заменяют на карте границ (контуров) угодий. Внутри контура вычерчиваются знаки, присвоенные соответствующему угодию. Незначительные по площади угодия не оконтуриваются, а изображаются отдельными условными знаками или маленькими их группами (например, узкие полосы леса, луга, отдельные кусты, группы деревьев и т. д.).

Леса. Условным знаком спелого леса показывают насаждения высотой свыше 4 м и толщиной в комле (на высоте груди) не менее 8 см. Условными знаками отмечается господствующая порода насаждения. Леса различных пород контуром обычно не отделяются, но спелый лес отделяется контуром (пунктиром) от молодняка, кустарника, карликового, вырубленного, горелого леса при наличии резкой границы. Числитель дроби, поставленный возле

породы (25), означает среднюю высоту деревьев, знаменатель – среднюю толщину деревьев в комле (0,30).

При отсутствии резкой границы постепенный переход от одного типа растительности к другому показывается соответствующей расстановкой условных знаков.

Начиная с 1946 г. на картах указывается средняя высота деревьев (с округлением до 1 м) и их толщина в комле (с точностью до 0,01 м). На топографических картах изображаются все просеки и подписывается их ширина с округлением до 1 м. Визирь (просека шириной менее 1,5 м) на карту не наносится. Начиная с 1946 г. подписываются номера лесных кварталов.

Болота подразделяются на проходимые, труднопроходимые и непроходимые. К непроходимым относят болота, не допускающие никакого движения; труднопроходимые болота допускают движение отдельных пешеходов; проходимые болота имеют глубину не более 0,5 м при твердом грунте и допускают колесное движение. Эти характеристики относятся к летним месяцам. На картах подписывается глубина болота до твердого грунта (с округлением до 0,1 м).

Населенные пункты. На топографических картах изображаются внешние очертания населенных пунктов, наносятся их главные проезды, выдающиеся здания, промышленные предприятия, передается характер застройки кварталов (каменные, деревянные постройки), характер использования приусадебных земель (сады, огороды).

В пределах населенных пунктов городского и сельского типов жилые дома и примыкающие к ним нежилые постройки объединяются на картах в кварталы. В дачных поселках постройки в кварталы не объединяются. На 1:10000 и 1:25000 картах в городах изображаются все проезды, внутри кварталов выделяются наиболее значительные здания. В сельских местностях внутри кварталов изображаются по возможности все жилые дома. Однако если дома расположены слишком тесно (чаще, чем через 0,3 мм в масштабе карты), некоторые дома исключаются. На 1:50000 и 1:100000 картах в городах некоторые кварталы объединяются за счет исключения второстепенных проездов. Внутри кварталов в селах показывают лишь значительные незастроенные промежутки. Промышленные предприятия, церкви и пр. в населенных пунктах изображаются обычно немасштабными условными знаками. Наносятся внешние контуры садов и парков, изображаются проходящие через них дороги и аллеи. Небольшие рожицы не оконтуриваются и изображаются двумя-тремя кружками. Стоящие отдельно или расположенные в рассредоточенных селениях дворы и сараи изображаются немасштабными условными знаками с сохранением их ориентировки.

Количество населения и административное значение населенных пунктов передаются на топографических картах с помощью различного рисунка и размера шрифта подписи названия пункта. Кроме того, внизу под подписью названия населенного пункта сельского типа ставится цифра, означающая количество дворов в селении; рядом с этой цифрой помещают

буквы, указывающие на административное значение пункта: СС – сельсовет; РС – райсовет.

2.3. Масштаб карты

Определение масштаба дано выше. В практике наиболее часто применяют численный, линейный и поперечный масштабы.

Существуют следующие масштабы:

Численный масштаб	Натуральный масштаб
1:1000000	В 1 см 10 км
1:500000	В 1 см 5 км
1:300000	В 1 см 3 км
1:200000	В 1 см 2 км
1:100000	В 1 см 1 км
1:50000	В 1 см 500 м
1:25000	В 1 см 250 м
1:10000	В 1 см 100 м

Карты масштабов мельче 1:1000000 называются мелкомасштабными, масштабов от 1:1000000 до 1:200000 – среднемасштабными, масштабов от 1:100000 до 1:10000 – крупномасштабными, или топографическими.

Численный масштаб обозначается в виде дроби: $1:M=1:25000$.

Например $1:M=1:25000$ означает, что расстояние, равное 1 см на карте, соответствует 250 м горизонтального проложения на местности. При этом М – это знаменатель численного масштаба. Знаменатель численного масштаба показывает степень уменьшения горизонтальных проложений линий местности, при этом чем больше знаменатель масштаба, тем мельче масштаб.

Точность масштаба t . На карте можно различить невооруженным глазом отрезок длиной не менее 0,1 мм. В соответствии с этим точность масштаба определяется как горизонтальное проложение линии местности, соответствующее расстоянию в 0,1 мм на карте данного масштаба. Например, для масштаба 1:5000 точность составляет 0,5 м ($t = 0,5$ м); для масштаба 1:10000 – $t = 1$ м.

Масштаб используется для измерения длин линий на карте и для построения на карте линии, длина которой на местности известна.

Пример 1. Надо отложить на карте масштаба 1:10000 по заданному направлению горизонтальное проложение $S=346$ м.

Из определения следует, что длина отрезка на карте найдется из соотношения

$$D = \frac{S}{M}, \text{ или } D = \frac{346}{10000} = 3,46 \text{ см.}$$

Пример 2. На карте масштаба 1:10000 измерена линия длиной $d=2,17$ см, длина этой линии на местности будет равна:

$$S = d \cdot M = 2,17 \cdot 10000 = 217 \text{ км.}$$

Работа с численным масштабом требует вычислений. Поэтому во избежание значительных работ по вычислениям применяют графические масштабы – линейный и поперечный.

Линейный масштаб строится следующим образом. На прямой линии откладывается несколько отрезков одинаковой длины, которые называются основанием линейного масштаба. Обычно основание принимается равным 2 см. Длина основания масштаба соответствует целому числу сотен метров на местности. Горизонтальное проложение линии местности, соответствующее основанию, называется ценой основания масштаба.

Например, для масштаба $1:M=1:5000$ цена основания масштаба при значении $a=2$ см равна 100 м.

Конец первого отрезка подписывается знаком «0», а следующим придается оцифровка для определенного численного масштаба. Так для $1:M=1:5000$ необходимо подписать 100, 200 м и т. д. Крайний слева отрезок от нулевого штриха основания масштаба делится на более мелкие части (обычно 10 или 20). Горизонтальное проложение линии местности, соответствующее наименьшему делению основания масштаба, называют ценой деления масштаба. На рис. 6 основание разделено на 10 делений, поэтому цена наименьшего деления составляет 10 м.

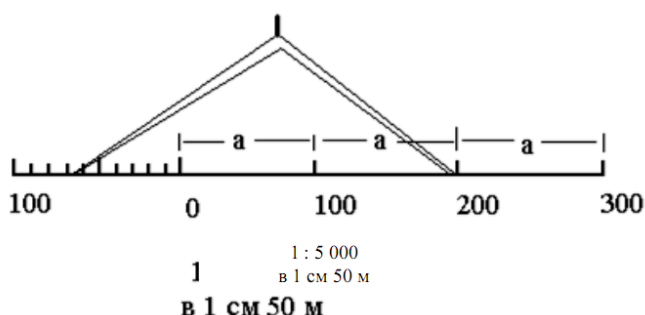


Рис. 6. Построение линейного масштаба

Для определения расстояния по линейному масштабу необходимо приложить ножки измерителя так, чтобы правая ножка измерителя попадала на штрих графика, обозначающий целое основание, а левая – находилась между малыми делениями. Расстояние, измеренное по карте, на рисунке будет складываться из числа целых оснований и малых делений ($S_{\text{изм}} = 200 + 5,8 \cdot 10 = 258$ м).

Точность линейного масштаба равна половине наименьшего деления основания поперечного масштаба.

Чтобы отложить на карте, например, 257 м, нужно одну ножку циркуля поставить на отрезке 200 м, а вторую разместить так, чтобы было 57 м, т. е. 5 малых делений и 0,7 деления (оценивается на глаз).

Поперечный масштаб является более точным, в отличие от линейного, который не обеспечивает достаточной точности. Поперечный масштаб создан для повышения точности отсчитывания долей основания.

Поперечный масштаб представляет собой систему взаимно-перпендикулярных линий, образующих номограмму длиной 12 или 20 см и высотой 3 см. Для измерений используются специальные масштабные линейки (рис. 7).

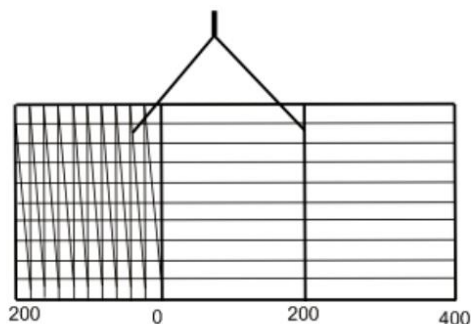


Рис. 7. Поперечный масштаб

Вертикальные линии проведены через расстояния, равные основанию масштаба. Номограмма разделена по высоте на равные m делений. Крайнее основание масштаба разделено по горизонтали на n частей. Кроме того, на номограмме отображаются трансверсали – наклонные линии, служащие для более точного измерения расстояний. Для масштаба 1:25000 с основанием, равным $AB=500$ м, при $m=10$ и $n=10$ наименьшее деление поперечного масштаба составит 5 м.

2.4. Особенности содержания карт различных масштабов

Карта масштаба 1:1000000. Карты масштаба 1:1000000 (в 1 см 10 км) предназначены для общего изучения значительных территорий.

Карты составляются в рамках трапеций, ограниченных линиями меридианов и параллелей, со сторонами 6° по параллели и 4° по меридиану. Географическое положение рамок трапеций определяется номенклатурой международной разграфки. Номенклатурное обозначение листов карты составляется по схеме N-37.

Масштабные возможности карты (в 0,2 мм 200 м) позволяют передать лишь самые основные черты ландшафта.

Условные знаки часто печатаются на полях каждого листа. Характерной особенностью карт является изменение величины сечения рельефа в различных высотных зонах. На листах карт обычно дается гипсометрическая послойная окраска ступеней высот между изогипсами, чем достигается большая выразительность изображения рельефа. Низменные области заливаются серым тоном, возвышенности и горы изображаются различными тонами коричневого цвета. На некоторой части листов 1:1000000 карты гипсометрическая окраска нередко отсутствует, но зато площади лесов заливаются зеленым цветом.

Карта масштаба 1:100000. Масштаб 1:100000 (в 1 см 1 км) является основным масштабом государственной топографической съемки Российской Федерации. Государственная топографическая карта масштаба 1:100000 предназначена для обслуживания народного хозяйства страны. Эта карта

является основой для полевых геологосъемочных и поисково-разведочных работ, для почвенных, ботанических, лесозономических и других исследований, для гидротехнических изысканий на ранних стадиях проектирования и т. д. Листы 1:100000 карты используются в качестве основы для составления различных специальных карт.

Карта составляется в проекции Гаусса – Крюгера в 6-градусной зоне на листах, ограниченных линиями меридианов и параллелей, со сторонами 30' по параллели и 20' по меридиану. Трапеции, расположенные севернее параллели $\varphi=64^\circ$, могут быть соединены попарно на одном листе. Номенклатурное обозначение трапеций составляется по схеме N-37-144.

Карта создается в основном по материалам аэрофотосъемки. Наземной геодезической основой являются пункты триангуляции и нивелирования, равномерно расположенные по всей территории съемки. В малоисследованных районах 1:100000 карта составляется на разреженной геодезической основе и по точности соответствует 1:200000 карте. На район съемки, кроме листов топографических карт, составляются фотопланы в масштабе 1:40000–1:80000. При съемке в малообжитых районах проводятся полевые географические обследования; в технический отчет о съемке включается подробное географическое описание района съемки.

Масштабные возможности карты (в 0,2 мм 20 м) позволяют с большой подробностью передать черты природного и культурного ландшафтов. Погрешности в положении выдающихся ориентирных предметов относительно пунктов рабочей геодезической основы на этой карте не превышают 0,2 мм; погрешности в положении четко выраженных контуров не превышают $\pm 0,5$ мм, а в положении нерезких контуров – не превышают $\pm 1,0$ мм. На картах залесенных и малоисследованных районов эти ошибки могут увеличиваться вдвое. Высота основного сечения рельефа – 20 м. Предельные ошибки в положении горизонталей приведены. При съемке каждой трапеции производится от 20 до 30 определений величины склонения магнитной стрелки, и среднее из полученных значений подписывается на полях карты.

Карта масштаба 1:25000. Государственная топографическая съемка масштаба 1:25000 (в 1 см 250 м) производится в наиболее освоенных и экономически развитых районах Российской Федерации. Картой пользуются при детальном исследовании.

Карта составляется в проекции Гаусса – Крюгера в 6-градусной зоне на листах, ограниченных меридианами и параллелями, со сторонами 7'30" по параллели и 5' по меридиану. Номенклатурные обозначения трапеций составляются по схеме N-37-144-Г-г.

Карта создается в результате точных аэрофототопографических и наземных мензульных съемок. Наземной геодезической основой являются равномерно распределенные по территории съемки пункты триангуляции (не менее 4 на трапецию) и нивелирования (не менее 2).

Максимальная погрешность в положении выдающихся ориентиров составляет $\pm 0,2$ мм, четко выраженных контуров – $\pm 0,5$ мм. Для залесенных

районов эти величины могут быть больше условной площади в два раза. Высота сечения рельефа на карте – 5 м. Рабочей высотной основой являются геодезические пункты (числом не менее 12 на трапецию), ошибки в отметках которых относительно ближайших пунктов нивелирной сети нигде не превышают ± 1 м.

2.5. Некоторые сведения о старых русских топографических картах

Масштабы топографических карт, издававшихся в дореволюционной России, представлены в табл. 2.

Таблица 2

Масштабы карт дореволюционной России

Численный масштаб	Натуральный масштаб		Название карты
	в русских мерах	в метрических мерах	
1:21000	в 1 дм 1/3 версты	в 1 см 210 м	полуверстная
1:42000	в 1 дм 1 верста	в 1 см 420 м	одноверстная
1:84000	в 1 дм 2 версты	в 1 см 840 м	двухверстная
1:126000	в 1 дм 3 версты	в 1 см 1260 м	трехверстная

Некоторые топографические карты, издававшиеся в дореволюционной России, имели счет меридианов от Пулкова. Долгота Пулкова равна $30^{\circ}19'34''$ к востоку от Гринвича.

Контрольные вопросы

1. Что называют топографической картой? Ее термины, масштабы и условные обозначения.
2. Какие географические элементы карт используются в ГИС?
3. Что называют масштабом карты? Какие бывают особенности содержания карт различных масштабов?

3. АЭРОКОСМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ, ЛАНДШАФТНОЙ АРХИТЕКТУРЕ И ЛЕСОВОДСТВЕ

3.1. Понятие об аэрокосмических методах

Для устойчивого эффективного управления ландшафтами необходима объективная информация о состоянии и динамике растительных экосистем. Для получения информации ежегодно на обширных территориях проводят лесоустройство, инвентаризацию и картографирование территорий, осуществляют комплекс мероприятий по охране их от пожаров, защите от вредителей и болезней, слежением за многоцелевым использованием и воспроизводством.



При выполнении этих задач широко используются аэрокосмические методы – авиация, материалы аэро- и космических съемок и методы, основанные на их применении (рис. 8).

Аэрометоды в сельском хозяйстве России и других стран начали применяться в 20-х гг., а материалы дистанционного зондирования Земли из космоса – в 70-х гг. прошлого столетия.

год съемки

Аэрокосмический метод – дистанционный метод исследования свойств ландшафтов и их изменений с использованием вертолетов, самолетов, пилотируемых космических кораблей, орбитальных станций и специальных космических аппаратов.

Выделяют **визуальные** (осмотр территории наблюдателем с борта летательного аппарата), **фотографические** (фотографирование территории при помощи фотоаппарата, установленного на летательном аппарате: 1) на небольших высотах: на самолете, вертолете, беспилотном летательном аппарате; 2) на большой высоте: на спутнике или специальной ракете), **электронные** (математическое моделирование, информационные технологии) и **геофизические** методы исследования. Эти методы ускоряют и упрощают процесс картографирования и имеют большое значение при организации мониторинга состояния окружающей среды.

Дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ) – наблюдение поверхности Земли авиационными и космическими средствами, оснащенными различными видами съемочной аппаратуры. Рабочий диапазон длин волн, принимаемых

съемочной аппаратурой, составляет от долей микрометра (видимое оптическое излучение) до метров (радиоволны).

Методы зондирования могут быть **пассивные**, то есть использующие естественное отраженное или вторичное тепловое излучение объектов на поверхности Земли, обусловленное солнечной активностью, и **активные** – использующие вынужденное излучение объектов, инициированное искусственным источником направленного действия.

Внедрение аэрокосмических методов в сельское хозяйство обеспечило решение ряда важнейших задач. Это прежде всего **изучение и картографирование полей, лесов на всей территории страны и периодическое обновление данных изученности**. До начала использования аэрометодов (20-е годы XX столетия) земельный фонд России был изучен менее чем на 10 % его территории. К середине 50-х г. г. (фактически за 25 лет) первичное изучение завершено на всей площади страны и на основе аэровизуального и аэротаксационного обследования – на 894,4 млн га. Материалы изученности земельного фонда позволили также осуществлять комплексные многоплановые исследования в широкой области знаний – от биосферных до социально-экономических.

Второе важнейшее применение аэрокосмических средств и методов – **охрана земель от пожаров, эрозионных процессов и защита их от вредителей, болезней, различных неблагоприятных природных и антропогенных воздействий**.

Важнейшим значением внедрения аэрокосмических средств и методов является также то, что они **обеспечивают создание и ведение комплексного многоцелевого, многоуровневого и многофункционального мониторинга земель России**.

Применение аэрокосмических средств и методов в сельском хозяйстве и ландшафтном строительстве – специальная учебная дисциплина, которая готовит специалистов сельского хозяйства, лесного хозяйства, садово-паркового и ландшафтного строительства, природопользования. Впервые она была введена в нашей стране в 1928 г. в Ленинградской лесотехнической академии. Разработал и преподавал эту дисциплину до мая 1972 г. профессор Г.Г. Самойлович. В других вузах страны данный курс лекций читали его ученики и последователи. За истекшие годы дисциплина непрерывно изменялась и развивалась параллельно развитию авиации, космонавтики, средств аэрокосмических съемок, анализа и обработки аэрокосмических изображений в соответствии с теми задачами, которые стояли перед лесным и лесопарковым хозяйством страны на различных этапах ее развития.

В настоящее время данная дисциплина является самостоятельным курсом, охватывающим различные области знаний: физику, геодезию, фотограмметрию, лесную таксацию, лесоводство, ландшафтоведение, садово-парковое строительство, геоинформатику, математическую статистику, вычислительную технику и др.

Аэрокосмические методы тесно связаны с другими науками. Так, в почвоведении этими методами исследуются не только география почв, но и динамика ряда их важных параметров – влажности, плотности, содержания солей и гумуса. В топографии и картографии аэрокосмические методы применяются для создания, совершенствования и обновления земных карт и карт планет по информации, получаемой из космоса. В геоинформатике эти методы используются для создания пространственной информации и изучения геосистем на основе построения цифровой информационной модели.

Основное содержание изучаемой дисциплины составляет изучение аэрокосмических средств и методов, применяемых в сельском хозяйстве, а также в лесном и лесопарковом хозяйстве при изучении, картографировании, охране, защите земель, оценке их состояния и динамики, а также при выполнении некоторых видов хозяйственных работ. Особенность подготовки специалистов – обучение методам анализа и обработки снимков вне зависимости от предметной области их применения.

Согласно базе данных Рособразования, размещенной на сайте www.edu.ru, в России по специальностям, изучающим аэрокосмические методы, ведут подготовку МИИГАиК и СГГА, с 2007 г. начал подготовку специалистов Сибирский государственный аэрокосмический университет (СибГАУ).

Основными программными продуктами, используемыми в Российских вузах, являются Фотомод и Талка для фотограмметрии и Erdas, Idrisi и ENVI для дешифрирования аэроснимков.

Сейчас в ряде стран мира (США, Россия, Франция, Япония, Индия, Китай, Германия, и др.) ведутся работы по созданию нового поколения космических систем, которые в ближайшем будущем предоставят потребителям материалы космических съемок земной поверхности повышенной информативности. С расширением рынка данных космических съемок будет уменьшаться их стоимость. В последнее время получили мощное развитие геоинформационные технологии и средства компьютерной техники. Все это способствует созданию в России комплексного аэрокосмического мониторинга лесов. Теоретические основы его разработаны. Для создания и обеспечения эффективного функционирования мониторинга потребуются специалисты, владеющие современными методами и технологиями. Эту цель и преследует изучение данной дисциплины.

3.2. Классификация аэрокосмических методов

Аэрокосмические (или дистанционные) методы исследований поверхности Земли относятся к методам экологического мониторинга и включают систему наблюдения при помощи самолетных, аэростатных средств, спутников и спутниковых систем, а также систему обработки данных дистанционного зондирования.

К аэрокосмическим методам относят аэрофотосъемку и космическую съемку.

Аэрофотосъемка – фотографирование территории с высоты от сотен метров до десятков километров при помощи аэрофотоаппарата, установленного на атмосферном летательном аппарате (самолете, вертолете, дирижабле и прочих или их беспилотном аналоге).

Полученные при аэрофотосъемке снимки особенно применимы в картографии, при определении границ землевладений, видовой разведке, археологии, изучении окружающей среды, производстве кинофильмов и рекламных роликов и др.

Космическая съемка – фотографирование поверхности Земли с космических летательных аппаратов (КЛА).

Полученное фотографическое изображение местности в результате съемки в ортогональной проекции называется ортофотопланом.

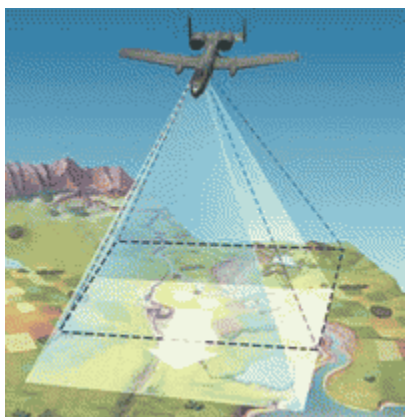
3.3. Виды аэрофотосъемки и их особенности

Если рассматривать детально, аэрофотосъемка представляет собой комплекс работ, включающий различные процессы от фотографирования земной поверхности с летящего самолета (рис. 9) до получения аэрофотоснимков, фотосхем или фотопланов снятой местности. В комплекс работ входят:

1. Подготовительные мероприятия, заключающиеся в изучении местности, которая подлежит фотографированию, подготовке карт, проектированию маршрутов полетов самолета и в производстве расчета элементов аэрофотосъемки.

2. Собственно летно-съемочные работы или фотографирование земной поверхности при помощи аэрофотоаппаратов.

3. Фотолабораторные работы по обработке снятой пленки и изготовлению позитивов.



4. Геодезические работы по созданию на местности геодезической основы, которая необходима для исправления искажений аэроснимков, возникших в процессе аэрофотосъемки, привязки аэроснимков и для составления фотосхем и фотопланов.

5. Фотограмметрические работы, которые проводятся как в полевом, так и в камеральном периодах и связаны с обработкой аэрофотоснимков для составления планов и карт снятой местности.

Рис. 9. Проведение аэрофотосъемки

Все эти процессы тесно связаны один с другим и отчасти взаимно перекрываются. Вообще аэрофотосъемка каждого объекта должна выполняться одной и той же организацией от начала до сдачи окончательной продукции. В результате проведения этих работ изготавливаются контактные

отпечатки, репродукции с накидного монтажа аэрофотоснимков, фотосхемы или фотопланы, составленные по данным геодезической основы. Все эти так называемые аэрофотосъемочные материалы используются в дальнейшем для решения целого ряда вопросов в области сельского хозяйства и лесной промышленности.

В аэрофотосъемке существуют следующие методы изучения поверхности Земли:

Аэровизуальный метод исследования природы состоит из изучения земной поверхности во время маршрутов на самолетах. Этот метод применялся при исследовании труднопроходимых территорий; как рекогносцировочный – для предварительного знакомства с территорией исследования в целом; в завершающий период исследования, для выявления общих закономерностей развития территории, хорошо заметных при обзоре сразу больших площадей.

Аэрофотографический метод исследования природных объектов состоит в использовании материалов аэрофотосъемки при исследовании и анализе как ландшафта в целом, так и отдельных его элементов.



Рис. 10. Аэрофотоснимок

Наилучшие результаты дают полные исследования, выполненные при сочетании аэровизуального, аэрофотографического и полевого наземного методов.

При проведении почвенно-картографических работ в России и в большинстве зарубежных стран материалы аэрофотосъемки чаще всего использовались в качестве топографической основы для почвенных карт.

Суть аэрофотометода в природных исследованиях, в том числе и почвенных, состоит в использовании внутреннего содержания аэрофотоснимков, объективно отражающих природную действительность в качестве объекта исследования. Это углубляет представления об элементах ландшафта, полученных наземными методами исследования (рис. 10).

Виды аэрофотосъемки отличаются один от другого по ряду признаков. Фотографирование земной поверхности с самолета может происходить при различных положениях главной оптической оси камеры аэрофотоаппарата. В зависимости от пространственного ее положения различают следующие **виды аэрофотосъемки**: горизонтальную, плановую и наклонную (перспективную).

Под **горизонтальной** подразумевается такая аэрофотосъемка, при которой главная оптическая ось аэрофотоаппарата занимает отвесное положение ($\alpha=0$), плоскость негатива – строго горизонтальна.

Если в момент фотографирования главная оптическая ось камеры аэрофотоаппарата отклоняется от отвесной линии в среднем на $1,0-1,5^\circ$, но не более $3,0-5,0^\circ$, то такая аэрофотосъемка называется **плановой**.

Фотографирование же с самолета при наклонном положении главной оптической оси аэрофотоаппарата от отвесной линии на углы более 10° называется **наклонной** или перспективной аэрофотосъемкой. В том случае, когда на аэрофотосъемке изображается естественный горизонт, аэрофотосъемка является перспективной с горизонтом.

Кроме того, может быть еще планово-перспективная аэрофотосъемка, сущность которой заключается в том, что при полете по одному и тому же маршруту с помощью специальных аэрофотоаппаратов одновременно производятся плановые и перспективные аэрофотоснимки.

В зависимости от характера покрытия местности аэрофотоснимками аэрофотосъемка разделяется на ординарную, маршрутную и сплошную.

Ординарная аэрофотосъемка представляет собой фотографирование отдельных объектов местности (например, гари, ветровала, склада древесины, участка леса, сплава и др.) одиночными или парными снимками, связанными между собой перекрытиями.

Маршрутной аэрофотосъемкой называется воздушное фотографирование с самолета полосы местности по определенному маршруту. В зависимости от объекта, подлежащего аэрофотосъемке, маршруты полетов могут быть прямолинейными (ряд кварталов леса) или криволинейными (вдоль русла реки).

По методу последующей фотограмметрической обработки аэроснимков и изготовления конечной продукции различают три вида аэрофотосъемки:

1) **контурную** аэрофотосъемку, в результате которой получается только контурный план местности;

2) **комбинированную** аэрофотосъемку, при которой топографический план местности создается путем использования материалов аэрофотосъемки, а рельеф изображается на нем горизонталями и условными знаками в результате полевых наземных топографо-геодезических работ;

3) **стереофотограмметрическую** (высотную) аэрофотосъемку, которая дает возможность получить полный топографический план местности с горизонталями на основании камеральной обработки аэроснимков при небольшом количестве геодезических точек.

Аэрофотосъемки можно различать исходя из масштаба фотографирования. В зависимости от получаемого масштаба аэроснимки, разделяются на:

а) крупномасштабные – при масштабе фотографирования крупнее 1:10 000,
б) среднемасштабные – при масштабе фотографирования мельче 1:10 000 до 1:30 000;

в) мелкомасштабные – при масштабе фотографирования мельче 1:30 000; 1:50 000; 1:75 000 и предельно до 1:100 000.

Рассмотрим некоторые виды аэрофотосъемки более детально.

Плановая/вертикальная аэрофотосъемка – наиболее актуальный вид для построения кадастровых и топографических карт, отслеживания этапов застройки, планирования местности для строительных работ, инвентаризации, прокладки коммуникаций, построения ортофотоплана и т.д. Специфический вид съемки, когда готовый материал представлен в виде бесшовного **фотоплана** на основе набора снимков из параллельных маршрутов залета. Немаловажным фактором для проведения плановой аэрофотосъемки является частота прокладывания параллельных маршрутов, что необходимо для получения достаточного перекрытия фотоснимков. За счет этого получается достоверная картина местности. Стоит иметь в виду, что для точного построения *фотоплана* необходимо учитывать все искажения оптики и при сшивании фотоплана закладывать эти поправки с целью сохранения истинных конфигураций объекта.

Область применения плановой съемки: однорядная маршрутная аэрофотосъемка **линейных** объектов часто выполняется для проектирования автомобильных и железных дорог либо при прокладке и инвентаризации линий электропередач и аэрофотосъемке трубопроводов (основной задачей является получение подробной конфигурации объекта высокого разрешения – в этом случае высота съемки может составлять в районе 200 метров и проводиться на фотоаппарат с длиннофокусным объективом по строго проложенному по GPS маршруту); **площадная** аэрофотосъемка больших территорий, где в основе лежат множество параллельных маршрутов с поперечным перекрытием до 70 %, является актуальной для построения картографических и геодезических карт, ортофотопланов, при проектировании и мониторинге используемой территории; **кадровая** аэрофотосъемка – это единичные вертикальные снимки малых площадей – дачных участков, малоплощадных строительных площадок мелких наземных объектов.

Формирование цены плановой съемки происходит на основе площади объекта, желаемого разрешения ортофотоплана, расположения и некоторых других факторов и варьирует в пределах от 1500 до 10 000 руб. за кв. км. Для качественного выполнения и получения аэрофото необходимы благоприятные условия с силой ветра не более 5 м/с, отсутствие осадков, облачность не ниже 200 метров либо ее полное отсутствие, хорошая освещенность. Сроки выполнения в летний период в зависимости от площади составляют от 2 до 10 дней; в межсезонье и зимний период в средней полосе в связи с частыми осадками, низкой облачностью и сильными ветрами срок может составлять до 1 месяца и более. Наиболее часто заказываемые масштабы: для нужд коттеджного строительства 1:500, отслеживание строительства 1:200, получение актуальных фотопланов местности 1:2000.

Аэрофотосъемка леса – быстрый и достоверный инструмент таксации лесного покрова, поиска поражения леса вредителями, мест возможного возникновения очагов пожаров и районов незаконной вырубки.

Наклонная (панорамная) аэрофотосъемка. Данный вид аэросъемки относится к неспециализированной и выполняется в большинстве случаев под острым углом к земной поверхности $>3^\circ$ относительно вертикали, где помимо интересующего объекта в ракурс попадают прилегающие территории либо с захватом горизонта, либо без. Этот вид съемки будет интересен, если человек планирует застройку участка и желает рассмотреть все его мельчайшие детали со всех сторон, да и приметить близлежащие интересные места, либо в случае готовности объекта провести рекламную акцию и показать потенциальным покупателям всю привлекательность или отчитаться перед инвесторами. Аэрофотоснимки местности используются для печати в полиграфии или наружной рекламе. Особенность данной аэросъемки заложена в маловысотности проведения работ, выборе привлекательных ракурсов и хорошей освещенности, что достигается при проведении съемки в солнечную погоду. Наиболее оптимальными для съемки являются высоты от 50 до 300 м, что отражается на угле съемки относительно земной поверхности от 20° до 70° , где в зависимости от пожеланий и целей использования в кадре может как присутствовать горизонт – не более $1/3$ на кадр, так и полностью отсутствовать.

Перспективные аэрофотоснимки по периметру кадра имеют резкие различия в масштабах и геометрии. Поэтому аэрофотоснимки перспективы не приемлемы для картографии, а применяются в обзорной съемке объекта, рельефа. При выполнении перспективной аэрофотосъемки особое внимание уделяется освещенности объекта, в связи с чем часто такую аэрофотосъемку называют художественной. Условиями успешной съемки являются хорошая освещенность, что дает повышенную детализацию и снижает смаз в движении; ровный ветер без порывов силой не более 3–5 м/с (идеально – штиль); отсутствие в районе съемки запретных и режимных объектов, где съемка без особых разрешений запрещена.

Ночная аэрофотоъемка. Ночная воздушная съемка в настоящее время только получает распространение, а суть ее в следующем: либо получение красивых видов, например здания или парка, когда уже включено ночное освещение (используется в большинстве случаев для рекламы, при этом относится к ответвлению видовой аэрофотосъемки), либо использование в качестве инструмента мониторинга территории с целью получения данных о посещаемости данного района, например с целью размещения торгового комплекса.

Качество. Следует учитывать, что получение аэрофото производится при пониженной освещенности либо при ее полном отсутствии, что накладывает свои ограничения. На видовых аэроснимках возможно появление незначительных «шумов», а на плановых – небольшой смаз.

Сроки выполнения. В связи со спецификой проведения ночной аэро съемки сроки выполнения могут составлять от 1 недели до 2 месяцев.

3D аэрофотосъемка направлена на получение объемной картинке и возможности интерактивного просмотра объекта в движении. Технический вид 3D аэрофотосъемки основан на построении объемного изображения ландшафта на базе плановых аэрофото, где текстуры слабо выражены, но хорошо читаемы формы рельефа, строений, что актуально при строительстве и планировании застройки либо понимания форм ландшафта.

3.4. История аэрофотосъемки местности

Возникновение аэрофотосъемки относится к концу XIX в. Первые фотографии земной поверхности были сделаны с воздушных шаров. В 1858 г., выполняя полет на воздушном шаре над Парижем, Гаспар Феликс Турнашон, известный больше под псевдонимом Nadar, сделал первый в мире аэрофотоснимок.

Еще в 1855 г. он запатентовал идею использования аэрофотосъемки в картографии и геодезии, но ему потребовалось около трех лет экспериментов, прежде чем он смог получить первые успешные фотографии с воздуха. Это был вид на французскую деревню Petit-Beccet с высоты 80 метров над землей из привязанного теплового аэростата. К сожалению, самые ранние аэрофотоснимки Надара не сохранились. Старейшим фотоснимком с воздуха, «дошедшим» до наших дней, является работа Джеймса Уоллеса Блэка – это изображение города Бостон, сделанное также с помощью теплового аэростата в 1860 г.

Дальнейшее развитие науки и техники сделали процесс фотографирования проще, а фотокамеры компактнее – стало еще проще запускать камеры в небо. Для получения аэрофотоснимков, помимо аэростатов, первопроходцы также использовали воздушных змеев, голубей и ракеты.

Одни из первых фотоснимков, полученных с использованием воздушных змеев, сделал Э. Д. Арчибальд в 1882 г. Он использовал цепочку из бумажных воздушных змеев с камерой, находившейся на последнем змее.

Баварский Голубиный Корпус использовал своих голубей для почтового сообщения и для воздушной разведки. В 1903 г. немецкий аптекарь Джулиус Неубрэннер запатентовал свой «Способ и средства для фотографирования пейзажей сверху» с помощью почтовых голубей. Этот способ пользовался успехом и завоевал награды на международных выставках в Дрездене, Франкфурте и Париже в 1909–1911 гг. Голубиная фотосъемка использовалась во время Первой мировой войны для ведения воздушной разведки и послужила прообразом современных «живых камер», устанавливаемых на диких и домашних животных.

Первый успешный аэрофотоснимок с установленной на ракете камеры был получен шведским изобретателем Альфредом Нобелем в 1897 г. Он известен в настоящее время по изобретению динамита и по Нобелевской

премии. В 1904 г. немецкому инженеру Альберту Молю удалось получить аэрофотоснимок с использованием ракеты с высоты около 2000 футов (1 фут = 0,3 м), после чего камера отделилась от носителя и спустилась на парашюте.

Первая аэрофотосъемка с самолета была произведена в 1909 г. Уилбером Райтом. Он был в Италии и занимался переговорами по продаже самолетов итальянскому правительству, когда взял с собой в полет пассажира, который сделал киносъемку по заказу военных над местностью Ченточелле, недалеко от Рима.

Во время Первой мировой войны аэрофотосъемка вскоре заменила рисование эскизов и рисование наблюдателей с воздушных аэростатов. Карты сражений, используемые обеими сторонами, были составлены из аэрофотоснимков, и к концу войны обе стороны производили запись всего фронта, по крайней мере, два раза в день. Стали производиться камеры, специально предназначенные для аэрофотосъемки, но стабильность и скорость срабатывания затвора все еще оставляли желать лучшего. И к концу войны Шерман Н. Фейрчайд разработал камеру с затвором, расположенным внутри объектива. Такая конструкция значительно повысила качество получаемых фотоснимков и стала стандартом для аэрофотокамер на следующие 50 лет.

В наши дни, в связи с повсеместным распространением недорогих цифровых фотоаппаратов, многие люди тайно делают снимки, находясь на борту коммерческих самолетов и – все чаще – самолетов гражданской авиации общего назначения, совершающих частные прогулочные полеты.

3.5. Виды космической съемки

Как было сказано ранее, космической съемкой называют съемку поверхности Земли с космических летальных аппаратов (рис. 11).



Запуск КЛА, управление его полетом, обеспечение съемки, доставка информации на Землю обеспечиваются с помощью средств управления полетом, наземных измерительных и информационных систем, объединяемых вместе с КЛА в единые космические комплексы.

Рис. 11. Съемка поверхности Земли с КЛА

Для изучения природных ресурсов Земли (ИПРЗ), используют наблюдательные космические комплексы, подразделяемые на две группы: а) предназначенные для наблюдения за поверхностью Земли, называемые космическими комплексами исследования природных ресурсов:

б) предназначенные для наблюдения за атмосферой, получившие название метеорологических космических комплексов.

Космические комплексы исследования природных ресурсов Земли на сегодняшний день выполняют следующие задачи:

- составление и обновление общегеографических, тематических и топографических карт;
- контроль загрязнения и деградации окружающей среды;
- инвентаризация природных ресурсов и контроль хозяйственных процессов для обеспечения рациональной деятельности в различных отраслях хозяйства;
- информационное обеспечение деятельности по поиску нефти, природного газа, рудных и других месторождений полезных ископаемых;
- контроль застройки территорий, получение данных для инженерной оценки местности в интересах хозяйственной деятельности;
- контроль водоохранных и заповедных районов;
- оценка ледовой обстановки;
- наблюдение районов чрезвычайных ситуаций, стихийных бедствий, аварий, техногенных катастроф, а также оценка их последствий с целью планирования восстановительных мероприятий.



Метеорологические космические комплексы осуществляют: детальные наблюдения за погодой, оперативный сбор фактических данных и составление прогнозов погоды (особенно долгосрочных). Все оборудование космического метеорологического аппарата, размещенное на его борту, должно представлять единым комплексом различных научных и служебных систем, работающих как в автоматическом режиме, так и по командам с Земли.

Рис. 12. Метеорологический искусственный спутник Земли

Метеорологические искусственные спутники Земли позволяют выявлять на снимках не только относительно мелкомасштабные атмосферные явления (например, отдельные облака размером в 3–4 км), но и получать исключительно ценную информацию о снежном и ледовом покровах на суше и в акваториях полярных бассейнов (рис. 12).

Космическая съемка занимает одно из ведущих мест среди различных методов дистанционного зондирования. Она осуществляется с помощью:

- искусственных спутников Земли (ИЗС),
- межпланетных автоматических станций,

- долговременных орбитальных станций,
- пилотируемых космических кораблей.

Космическую съемку ведут разными методами. По характеру покрытия земной поверхности космическими снимками можно выделить следующие методы съемки:

- одиночное фотографирование,
- маршрутная съемка,
- прицельная съемка,
- глобальная съемка.

Одиночное (выборочное) фотографирование выполняется космонавтами ручными камерами. Снимки обычно получают перспективными со значительными углами наклона (рис. 13).



Рис. 13. Снимок, выполненный одиночным фотографированием

Маршрутная съемка земной поверхности производится вдоль трассы полета спутника. Ширина полосы съемки зависит от высоты полета и угла обзора съемочной системы.

Прицельная (выборочная) съемка предназначена для получения снимков специально заданных участков земной поверхности в стороне от трассы.

Глобальную съемку производят с геостационарных и полярно-орбитальных спутников. Четыре-пять геостационарных спутников на экваториальной орбите обеспечивают практически непрерывное получение мелкомасштабных обзорных снимков всей Земли (космическое патрулирование) за исключением полярных шапок (рис. 14).

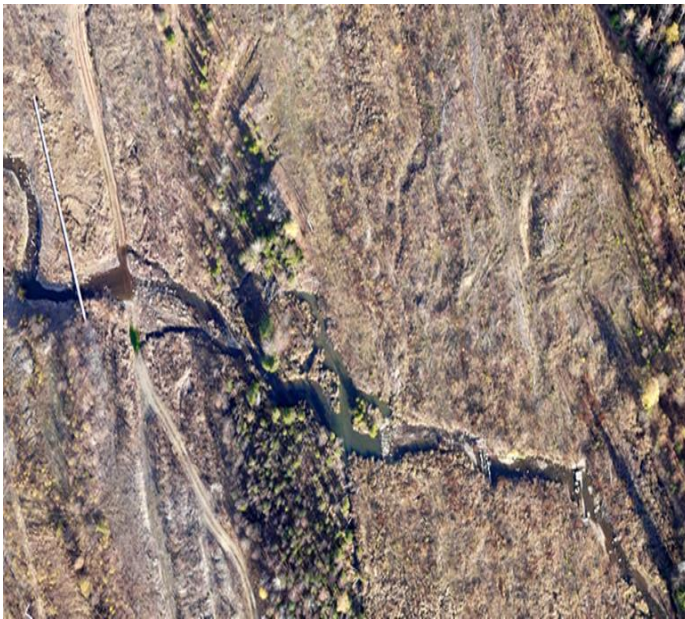


Рис. 14. Снимок, полученный глобальной съемкой

Съемка из космоса имеет две основные особенности: 1) выполняется с орбит (траектория движения искусственного спутника Земли), параметры которых влияют на свойство снимков; 2) производится с большого расстояния через толщу атмосферы.

Двигается КЛА по сложной траектории, называемой орбитой. В зависимости от высоты орбит космическую съемку поверхности Земли проводят: 1) на малых высотах с пилотируемых космических аппаратов и орбитальных станций на высоте 100–500 км; 2) на средних

высотах ресурсными и метеорологическими спутниками на высотах 500–2000 км; 3) на больших высотах геостационарными спутниками на высоте 36000–40000 км.

Интервал прохождения между двумя последовательными прохождениями одной и той же точки орбиты называется периодом обращения орбит. Для космических съемок значение имеет способность орбиты сохранять постоянную ориентацию на солнце. Орбиты, у которых угол между плоскостью орбиты и направлением на солнце остается постоянным, называются солнечно-синхронными. Такие орбиты обеспечивают одинаковую освещенность земной поверхности вдоль трассы полета космического аппарата.

Форма орбит обусловлена законами небесной механики. В зависимости от скорости движения космического аппарата она может быть круговой, эллиптической, параболической, гиперболической. Точка орбиты, расположенная ближе к центру Земли, называется перигеом (перигеем), а наиболее удаленная – апоцентром (апогеем).

Круговая орбита обеспечивает одинаковую высоту съемки земной поверхности, а, следовательно, для одной и той же аппаратуры – одинаковый охват и разрешение снимков. Круговые орбиты представляют собой окружности с центром, совпадающим с центром Земли. Средний масштаб снимков при съемке с круговых орбит практически одинаков. Полосы снимаемой поверхности (полосы обзора), захватываемые с каждого витка летательного аппарата, также примерно одинаковы. *Высота* полета КЛА при круговых орбитах находится в пределах от 200 до 1000 км. При движении КЛА по **эллиптической орбите** Земля находится в одном из фокусов эллипса. Расстояние от центра (поверхности) Земли и скорость полета КЛА непрерывно

меняются. **Параболические или гиперболические** орбиты соответствуют траектории движения КЛА по параболе или гиперболе.

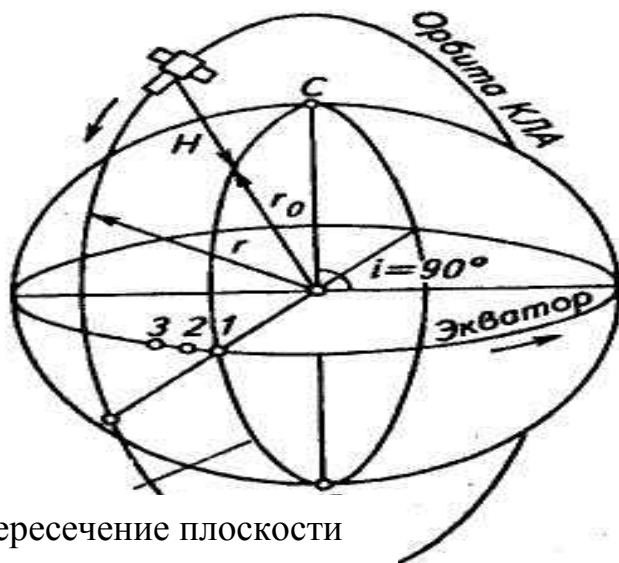


Рис. 15. Пересечение плоскости орбиты с Землей

Незамкнутые параболические и гиперболические орбиты используются для вывода космических аппаратов к другим планетам, а наблюдение Земли обычно осуществляется с замкнутых круговых и эллиптических орбит.

Пересечение плоскости орбиты с Землей. Плоскость орбиты КЛА пересекает плоскость экватора под некоторым углом i , который называют *наклоном орбиты* (рис. 15). Если наклон орбиты равно 90° , то ее плоскость проходит через

полюсы Земли. Такая орбита носит название полярной. При наклоне, равном 0° , плоскость орбиты КЛА совпадает с экватором, поэтому ее называют экваториальной. Периодичность (частота) съемки одной и той же территории в зависимости от параметров полета КЛА может быть от 4 раз в сутки до 5–6 раз в месяц и реже. Регулярная повторяемость съемки позволяет применять получаемые материалы для обновления мелкомасштабных топографических и специальных карт, а также осуществлять мониторинг больших территорий.

В зависимости от фокусного расстояния используемой съемочной системы и высоты полета КЛА снимки получают в масштабе от 100000 до 10000000. Один из главных факторов, влияющих на качество изображений, – огромная скорость движения КЛА, приводящая к фотографическому смазу.

Космические съемочные системы. Наблюдение Земли из космоса началось в 1960-е гг. с американских и советских **метеорологических спутников** серии Tiros, ESSA, Nimbus,ITOS, «Метеор». За последующие десятилетия информационные возможности и целевое применение космических аппаратов ДЗЗ значительно расширились. На смену метеорологическим ИСЗ пришли спутниковые системы, предназначенные для **мониторинга окружающей среды** и исследования динамики планетарных процессов, совместно с системами изучения природных ресурсов Земли, такими как Landsat (США, запускаются с 1972 г.), SPOT (Франция, запускаются с 1986 г.) и «Ресурс» (РФ, запускаются с 1988 г.), и миссиями исследовательских космических аппаратов.

Ведущую роль здесь играют США. Это находящиеся под эгидой Национального управления по океанам и атмосфере спутниковая метеорологическая система на полярных орбитах (запускаются с 1970 г.), геостационарные спутники GOES (запускаются с 1975 г.) и спутниковая

система, называемая «Оборонный проект спутниковой метеорологии» (запускаются с 1966 г.). Данные системы – единственные в мировой практике эксплуатационные системы мониторинга окружающей среды.

Применение на американских спутниках метеоразведки позволило с 1991 г. реализовывать круглосуточное всепогодное обеспечение стандартной информацией о **гидрометеорологических** параметрах стран. В США исследование глобальных процессов с учетом их взаимодействия и влияния на состояние окружающей среды осуществляется в рамках национальной программы изучения глобальных изменений, а также под эгидой Межправительственного комитета по климатическим изменениям. Ожидается, что полученные результаты станут научной основой для принятия государственных решений по вопросам состояния окружающей среды и климата в глобальном масштабе.

Программа, называемая «Система наблюдения Земли», предназначена для реализации опубликованного в 2001 г. стратегического плана по исследованию планеты с помощью серии ИСЗ определенной направленности. Она включена в проект, который называется «Миссия к планете Земля», проводимый с 1991 г. по программе «Исследование глобальных изменений на Земле». В рамках этой программы предполагается в течение 15 лет всесторонне изучать планету как единую интегрированную систему с использованием общей информационной сети для приема, обработки, архивирования, распределения, моделирования и интерпретации спутниковых данных, а также для комплексного планирования работы и управления полетом ИСЗ данной серии. Каждый спутник выполняет одну из задач по изучению химического состава атмосферы, динамики и энергетики атмосферы, облачного покрова, водного и энергетического баланса, динамики, физико-химических и энергетических свойств океана, глобального биохимического цикла, биологических ресурсов, гравитационного поля, а также в области геодезии, геологии, картографии.

Наиболее известные и используемые в мире данные получают с зарубежных космических аппаратов NOAA, LANDSAT, SPOT, IRS, RADARSAT, ERS.

В нашей стране, несмотря на ее сложное экономическое положение и нарастающее отставание космической деятельности от других стран, в соответствии с федеральной космической программой проводятся работы по дистанционному зондированию из космоса. Декларируются следующие направления:

- расширение знаний о Земле;
- мониторинг окружающей среды и контроль чрезвычайных ситуаций;
- повышение эффективности промышленного сырьевого секторов, транспорта, энергетики и др.

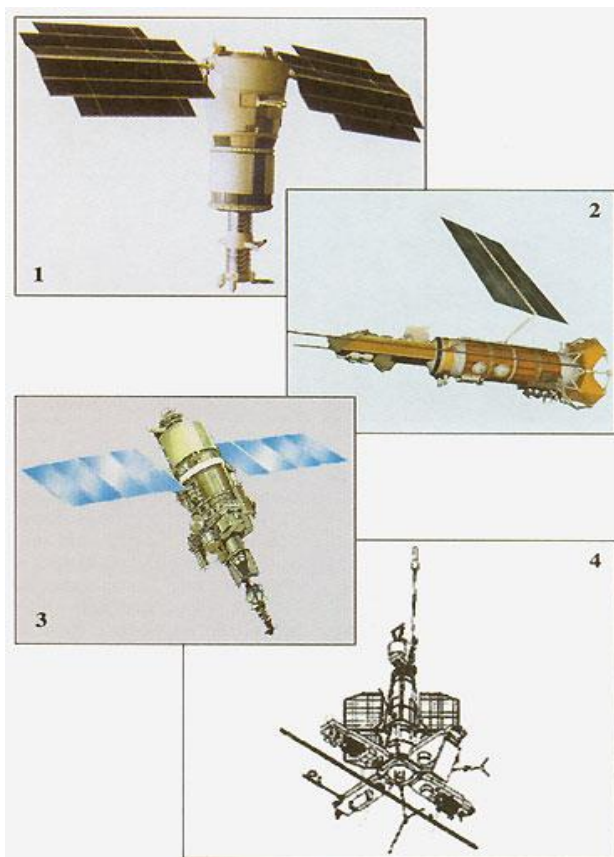


Рис. 16. Природоведческие спутники:

1 – «Ресурс-О1», 2 – «Океан-О1»,
3 – «Метеор-3М», 4 – «Сич-1М»

В 1990-х гг. в России для осуществления мониторинга окружающей среды и изучения природных ресурсов на орбиту последовательно запущены природоведческие спутники (рис. 16) «Ресурс-О1» (запускаются с 1980 г.) и океанографические «Океан-О1» (запускаются с 1979 г.). В настоящее время функционирует выведенный на орбиту 10 декабря 2001 г. ИСЗ аналогичного назначения «Метеор-3М». Начались измерения таких важнейших для прогноза погоды параметров, как водный запас облаков, профили температуры и влажности атмосферы, радиационный баланс и скорость ветра. Подобная информация используется государственными метеорологическими службами стран – членов ВМО, ранее ее единственным источником служили спутники, принадлежащие Министерству обороны США.

3.6. Возникновение космических методов съемки

В истории космического фотографирования может быть выделено три этапа. К **первому** этапу следует отнести фотографирование Земли с высотных, а затем с баллистических ракет, относящееся к 1945–1960 гг. Самые первые космические фотографии Земли были сделаны в 1946 г. с помощью баллистической ракеты «Викинг-2» с высоты около 120 км на полигоне Уайт-Сэнд (Нью-Мексико, США). В течение 1946–1958 гг. на этом полигоне производились запуски баллистических ракет в вертикальном направлении и после достижения максимальной высоты (около 400 км) происходило их падение на Землю. На траектории падения осуществлялось получение фотографических изображений земной поверхности в масштабе 1:50000–1:100000.

В 1951–1956 гг. на советских метеорологических ракетах также стала устанавливаться фотоаппаратура. Снимки выполнялись при спуске на парашюте головной части ракеты. В 1957–1959 гг. для съемок в автоматическом режиме использовались геофизические ракеты. В 1959–1960 гг. на высотных стабилизированных в полете оптических станциях были установлены фотографические камеры кругового обзора, с помощью которых

были получены фотографии Земли с высоты 100–120 км. Фотографирование производилось в разные стороны, в разное время года, в разные часы дня. Это позволило проследить сезонные изменения космического изображения природных особенностей Земли. Снимки, полученные с баллистических ракет, оказались весьма несовершенными: обнаружились большие расхождения в масштабе изображения, малая площадь, нерегулярность запусков ракет. Но эти работы были необходимы для отработки техники и методики съемок земной поверхности с искусственных спутников Земли и пилотируемых кораблей.

Второй этап фотографирования Земли из космоса охватывает период с 1961 по 1972 г. и носит название экспериментального. 12 апреля 1961 г. первый космонавт СССР (России) Ю.А. Гагарин впервые вел визуальное наблюдение Земли через иллюминаторы корабля «Восток». 6 августа 1961 г. космонавт Г.С. Титов на корабле «Восток-2» выполнял наблюдение и съемку земной поверхности. Съемка производилась через иллюминаторы отдельными сеансами на протяжении всего полета. Уникальную научную ценность имеют исследования, выполненные в этот период на космических пилотируемых кораблях серии «Союз». С борта корабля «Союз-3» проводилось фотографирование дневного и сумеречного горизонта Земли, земной поверхности, а также наблюдение тайфунов, циклонов, лесных пожаров. С борта кораблей «Союз-4» и «Союз-5» велись визуальные наблюдения за земной поверхностью, фото- и киносъемка, в том числе районов Каспийского моря.

Эксперименты большого хозяйственного значения были выполнены по совместной программе научно-исследовательским судном «Академик Ширшов», спутником «Метеор» и пилотируемым космическим кораблем «Союз-9». Программой исследований в этом случае было предусмотрено наблюдение Земли с использованием оптических приборов, фотографирование геолого-географических объектов с целью составления геологических карт и возможных районов залегания полезных ископаемых, наблюдение и фотографирование атмосферных образований с целью составления метеорологических прогнозов. В этот же период была проведена радиолокационная и тепловая съемка Земли и экспериментальное фотографирование в разных зонах видимого солнечного спектра, позднее названного многозональным фотографированием.

Большую научную ценность представляют работы американских астронавтов по фотографированию земной поверхности, выполненные в этот период во время пилотируемых полетов на кораблях серии «Джемини» и «Апполон». Запущенный в 1966 г. Советским Союзом спутник «Молния-1» позволил впервые получить телевизионное изображение Земли с расстояния около 40000 км.

Третий период истории космических съемок начинается с 1973 г. и продолжается по настоящее время. Его основными задачами являются разработка и совершенствование технических средств производства

космической съемки, совершенствование методов обработки полученных космических изображений, разработка и совершенствование методов машинной обработки космических снимков и внедрение полученных результатов в различные отрасли науки и народного хозяйства. Используя космическую информацию, сейчас решают задачи прогнозирования погоды, изучения ресурсов Земли, охраны окружающей среды.

В 1977 г. в СССР был запущен специализированный космический аппарат для получения информации о естественных ресурсах «Метеор-Природа». Информация такого рода используется для изучения почв, состояния растительности и посевов, земляных работ, роста оврагов, льдов, паводков, условий морской навигации. Кроме того, эта информация используется в лесном хозяйстве, рыболовном морском промысле, геологии и т. д.

Космическая информация обладает рядом качественно новых достоинств. Это быстрое получение и быстрая передача, возможность многократного повторного получения изображения одной и той же территории, большая обзорность изображений. Космические изображения обладают тремя особенностями. Во-первых, это объединение в одном снимке обширных, отдаленных друг от друга объектов и явлений. Это позволяет выявить крупные черты земной поверхности – широтную зональность, вертикальную поясность в горах, комбинации растительности и почв различных географических районов. Во-вторых, космические изображения Земли обладают свойством объединять множество компонентов – климат, гидрографию, растительность, почвенный покров, культурные ландшафты. Это единство позволяет выявлять связи между ними. Третьей особенностью космических изображений является их свойство передавать явления в динамике, то есть в движении и развитии. Это позволяет делать снимки более качественными.

3.7. Что лучше выбрать для картографирования в крупных масштабах, аэросъемку или космический снимок?

На рынке данных ДЗЗ сегодня доступны космические снимки с разрешением до 0,5 м. Разрешение 41 см пока доступно лишь американским спецслужбам. Космические снимки сегодня имеют как никогда высокую геометрическую и спектрометрическую точность, они доступны на коммерческом рынке и широко применяются для задач картографирования и изучения природных ресурсов, в территориальном устройстве. Но даже такие высокодетальные и точные изображения не всегда пригодны для составления карт 1:10000 и 1:5000.

И все же, могут ли космические снимки применяться для составления и обновления топографических, земельных, кадастровых планов и карт? Какого масштаба? В состоянии ли они заменить аэрофотосъемку?



Рис. 17. Снимок, полученный с самолета камерой DIMA (при съемке с высоты 1000 м). А разрешающая способность в 15–20 см является абсолютно обычной для современных аэросъемочных систем (Vexcel UltrCam, Leica ADS, DiMAC, Visionmap A3, «Геосистема»). Цифровые модели рельефа (ЦМР), получаемые при фотограмметрической обработке данных самолетной съемки, также являются более точными. При съемке применяются даже малые самолеты (рис. 17).

Использование сервоплатформ позволяет компенсировать искажения, возникающие при колебаниях камеры. В принципе, геометрическая точность конечных продуктов аэросъемки сегодня мало зависит от условий съемки, а определяется в большей степени камеральной обработкой. Поэтому даже если аэросъемка будет выполнена с большой высоты, будет сказываться влияние атмосферных эффектов, шумов камеры и других неблагоприятных факторов, снимки будут более точными и информативными (рис. 18).

И все-таки аэросъемка кое в чем **проигрывает** космической.

Первый недостаток — это **стоимость**. Космические снимки дешевле. Ортотрансформацию космического снимка вполне можно провести самостоятельно — необходима лишь надежная ЦМР и программное обеспечение (ERDAS, PCI, Digital,

Дело в том, что аэроснимки и составленные на их основе фотопланы, как и много лет назад, успешно конкурируют с космическими снимками и превосходят их по многим параметрам.

Прежде всего, если говорить о пространственном разрешении как о ключевом факторе, определяющем масштаб создаваемых карт и планов, первенство, несомненно, за аэрофотоснимками. Современные камеры и фотограмметрические сканеры позволяют получать изображение с разрешением до 5 см



Рис. 18. Пригороды Барселоны. Космический снимок ICONOS PAN+MSI

PHOTOMOD и др.). На стоимость аэрофотосъемки также существенно влияет тип самолета, дальность перелета до объекта съемок и цена на топливо.

Второй недостаток – организация технологического процесса. Работа с аэроснимками в стереорежиме требует и наличия цифровых фотограмметрических станций и обученных специалистов.

Так все-таки карты и планы какого масштаба можно составлять по космическим снимкам сверхвысокого разрешения? Можно ли при земельно-кадастровых работах (инвентаризации земель, лесоустройстве, создании планов города) использовать только космические снимки? Однозначный ответ дать нельзя. Но этот вопрос постоянно изучается учеными и специалистами-практиками и обсуждается на конференциях авторитетных ассоциаций ISPRS и EARSeL.

Результаты исследований говорят, что возможность использования данных космоснимков сверхвысокого разрешения для создания карт и масштаб составляемых карт зависит от следующих факторов:

- 1) конструктивных особенностей специальных приборов на спутниках и алгоритмов обработки сигналов;
- 2) геометрической точности изображений;
- 3) применяемых методов ректификации и ортотрансформирования;
- 4) отражательной способности объектов земной поверхности и их распределения по снимку;
- 5) размера, формы и ориентации объектов, которые должны быть нанесены на карту.

Влияние местных особенностей. В средних широтах невозможно получать изображение со спутника каждый день. Период съемки составляет от 4 до 10 дней. Лишь спутники Rapid Eye могут обеспечивать практически ежедневное получение изображений (при отсутствии облачности).

Критическое значение имеет высота солнца. При низком стоянии солнца растут тени от объектов. На плотно застроенных территориях, в городах тени от домов могут полностью скрывать дороги, деревья, места соединения с другими зданиями. В таких случаях часто невозможно определить, где же находится южная стена дома, ибо ее полностью закрывает тень от соседнего здания, расположенного еще южнее. При этом северные стороны домов здания дешифрируются четко.

Известно также, что оптимальным периодом для съемки является весна, когда растительность, листва не закрывает объекты и поверхность земли. Но в конце марта и в апреле солнце расположено не очень высоко и выбрать оптимальное время для космической съемки трудно. Вот и приходится вести войну с тенью, а это очень сложно, так как никакая фильтрация изображений, как правило, не позволяет извлечь полезный сигнал из темной области. Этот эффект иногда ухудшает условия съемки в Средней полосе и на юге Сибири. А для Севера России он составляет действительно серьезную проблему.

На космических снимках даже сверхвысокого разрешения плохо дешифрируется плотная, сомкнутая городская застройка. Мешают тени от

соседних зданий, нельзя точно нанести дворы-колодцы, узкие улицы, проходы между зданиями, некоторые объекты теряются при дешифрировании. В результате составленный или обновленный план является неточным, неполным или содержит некоторые ошибки.

Составить фотоплан на территорию городов с исторической застройкой в масштабе 1:5000 по космоснимкам даже с разрешением 50 см на сегодняшний день невозможно. В районах с современной застройкой космический снимок можно использовать в качестве основы при составлении плана в масштабе 1:5000. Полностью же составить этот пятидесятилетний план можно лишь проведя значительный объем наземных съемок тахеометром или GPS с ровером, так как на снимке не проявляются многие мелкие объекты (столбы, канализационные люки, лестницы).

При использовании материалов аэросъемки многие операции выполняются в стереорежиме с использованием цифровых фотограмметрических станций. Поэтому составление карт и планов требует и затрат труда, и наличия в штате фотограмметристов, что удорожает работы. Однако в условиях плотной застройки, дешифрирования под пологом растительности, насыщенности мелкими объектами составление и обновление топографических и кадастровых планов в масштабе 1:5000 (в особо сложных случаях – 1:10000) возможно только по материалам съемки с самолетов. Планы 1:2000 составляются только по данным аэросъемки.

Все описанные проблемы, а к ним добавляется еще состояние атмосферы, шумы в датчиках, помехи, ухудшают эффективное разрешение космического снимка. Таким образом, на нем различается меньше объектов, иногда нельзя четко определить их края или размеры.

На качестве материалов аэросъемки также сказывается влияние многих неблагоприятных факторов. В фотографических системах проявляются геометрические искажения. Цифровые аэросъемочные камеры также далеко неидеальны: используемые во многих из них фильтры Байера снижают разрешающую способность. Ни один прибор, ни один сенсор не является идеальным. Цифровые снимки должны быть записаны на накопитель, а это требует некоторого времени, в итоге интервал между кадрами может быть таким большим, что перекрытие между снимками может оказаться меньше 50 %.

Существуют трудности при фотограмметрической обработке снимков. По сравнению с обработкой космических снимков это более сложный процесс.

Однако более высокое пространственное разрешение аэрофотоснимков (от 25 до 5 см), меньшее влияние атмосферных эффектов при съемке, метод ректификации (аналитическая триангуляция), создание ЦМР непосредственно в процессе обработки снимков априори гарантируют получение лучшей основы для составления и обновления топографических и кадастровых карт и планов. О точности определения координат и высот по аэроснимкам уже говорилось. Значительно лучше и спектральные показатели, и разрешение. На аэроснимках видны фонарные столбы, столбы линий связи, трубопроводы,

малые архитектурные постройки. На космических снимках с разрешением 0,5–0,61 см можно различить лишь 10–40 % этих объектов.

Сказанное ни сколько не приуменьшает значения и возможностей космической съемки. Ее преимущества очевидны: относительная дешевизна, глобальный охват, возможность работы с изображениями на любой район страны, Европы, мира; менее строгие режимно-секретные ограничения; возможность использования ценной информации, которую дают изображения в узких спектральных каналах, в инфракрасном диапазоне, в радиодиапазоне (например, тип почвы, влагосодержание в ней, видовой состав растительности, ее состояние, состав горных пород и др.); простота обработки снимков по сравнению с аэрофотоснимками, легкая интеграция с ГИС и ИСОГД.

Поэтому при реализации конкретного проекта, на этапе написания технического задания, когда решается, какие из дистанционных данных использовать, следует учесть следующие параметры: требуемый масштаб карты или плана, их содержание; топографию местности (равнина, расчлененная возвышенность или горы), какой тип ландшафта преобладает (городской, сельскохозяйственный, леса, болота, техногенно измененный горнопромышленный и др.); необходимость получения информации в узких спектральных диапазонах; содержание и назначение карт и планов (для создания топопланов используют материалы аэросъемки, для землеустройства в городах – фотопланы на их основе, в сельской местности, лесистых районах можно использовать космоснимки, при создании тематических карт лучше использовать мультиспектральные космоснимки в сочетании с панхроматическими); важность получения оперативной информации (при мониторинге ЧС необходимо заказывать всю космическую съемку, какая возможна, учитывая дату прохождения спутника, возможную облачность и другие факторы); стоимость проекта (космические снимки дешевле).

Контрольные вопросы

1. Что называют аэрокосмическими методами исследований?
2. Как классифицируются аэрокосмические методы и каков характер их использования в сельском хозяйстве?
3. Где и когда впервые стали использовать аэрокосмические методы исследований?
4. Назовите основные виды аэрофотосъемок.
5. В чем отличие космической съемки от аэрофотосъемок? Их преимущества и недостатки.

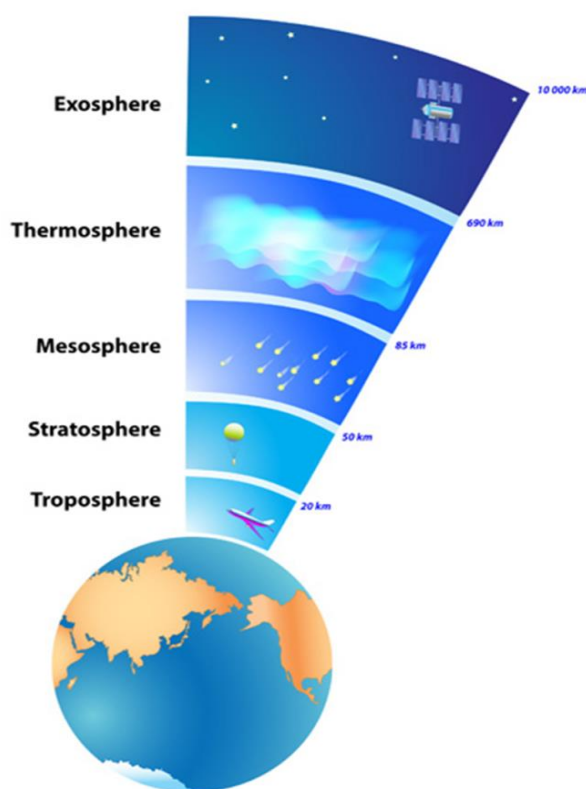
4. АТМОСФЕРНО-ОПТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ СЪЕМОК

4.1. Состав и строение атмосферы

Атмосфера – это воздушная оболочка, которая окружает нашу планету и вращается вместе с ней. Половина всей массы атмосферы сосредоточена в нижних 5 км, а три четверти массы – в нижних 10 км. Выше воздух значительно разрежен, хотя его частицы обнаруживаются на высоте 2000–3000 км над земной поверхностью.

Воздух, которым мы дышим, – это смесь газов. Больше всего в нем азота – 78 % и кислорода – 21 %. Другие многочисленные газы составляют около 1%. Воздух содержит также водяной пар, частички различных веществ, бактерии, пыльцу и космическую пыль.

Атмосфера простирается от поверхности планеты и постепенно сливается с космическим пространством. Плотность атмосферы меняется с высотой: у поверхности Земли она наивысшая, с поднятием вверх уменьшается. Атмосфера состоит из нескольких слоев (рис. 19):



1. Тропосфера – до 15–18 км.

Это ближайший к земной поверхности и самый плотный, теплый слой атмосферы. В нем содержится 80 % воздушной массы всех слоев и почти весь водяной пар. Здесь находятся системы формирования погоды нашей планеты и биосфера.

2. **Стратосфера.** Простирается до высоты 50 км. Плотность воздуха и давление в стратосфере незначительны. Разреженный воздух состоит из тех же газов, что и в тропосфере, но в нем больше озона. Находящаяся на высоте 50 км **стратопause** отделяет стратосферу от следующего слоя.

3. Мезосфера – 50–80 км.

Наблюдается большая разреженность воздуха. Самая холодная часть атмосферы – мезопause, находящаяся между мезосферой и термосферой (80 км). Плотность воздуха там в 200 раз меньше, чем у поверхности Земли.

4. **Термосфера** – высота от 80 до 1000 км. В этом самом тонком слое содержится лишь 0,001 % воздушной массы атмосферы. В пределах термосферы находится ионосфера, где происходят полярные свечения (150–

Рис. 19. Слои атмосферы

300 км), магнитосфера (300–400 км) – наружный край магнитного поля Земли. Газы атмосферы (азот и кислород) находятся в ионизированном состоянии. Малая плотность дает небу черный цвет.

5. Экзосфера – выше 1000 км, постепенно сливающаяся с космическим пространством.

Границы между основными слоями выражены нерезко. Верхний слой атмосферы является частью околоземного космического пространства. Решением Международной авиационной федерации принято считать полеты космическими, если высота их не менее 100 км.

В ряде случаев под понятием «космос» понимают область высот более 200–250 км, где любые теплообмены, кроме лучистых, практически отсутствуют. Эту высоту в практике при многих расчетах условно считают верхней границей атмосферы.

Слой атмосферы от 0 до 50 км является определяющим на формирование изображения при проведении дистанционного зондирования Земли.

Функции атмосферы. Атмосфера играет очень важную роль в жизни нашей планеты. Она предохраняет Землю от сильного нагрева солнечными лучами днем и от переохлаждения ночью. Большая часть метеоритов сгорает в атмосферных слоях, не долетая до поверхности планеты. Атмосфера содержит кислород, необходимый всем организмам, озоновый экран, защищающий жизнь на Земле от губительной части ультрафиолетовой радиации солнца. Поэтому основными функциями атмосферы являются следующие: терморегулирующая, жизнеобеспечивающая и защитная.

Давление, температура, влажность, аэрозоли, озон и некоторые другие компоненты оказывают влияние на результативность съемочного процесса и качество получаемых изображений, поскольку они могут ослаблять излучение в направлении прохождения оптических лучей. Рассмотрим более подробно оптические свойства атмосферы.

4.2. Оптические свойства атмосферы

Наша планета окружена газовой оболочкой, которую мы называем атмосферой. Под воздействием различных факторов ее слои перемешиваются, меняют плотность, температуру, прозрачность, перемещаются на большие расстояния с различной скоростью.

Для лучей света, идущих от солнца или других небесных светил, земная атмосфера представляет собой своеобразную оптическую систему с постоянно меняющимися параметрами. Оказываясь на их пути, она отражает часть света, рассеивает его, пропускает сквозь всю толщу атмосферы, обеспечивая освещенность земной поверхности, а в определенных условиях разлагает его на составляющие и искривляет ход лучей, вызывая тем самым различные атмосферные явления.



Рис. 20. Закат

Самым простым и доступным для наблюдения атмосферным явлением является **закат** солнца (рис. 20). Необычайно красочный, он никогда не повторяется. Приближаясь к горизонту, солнце не только теряет яркость, но и начинает постепенно менять свой цвет – в его спектре подавляется коротковолновая часть (красные цвета).

Одновременно начинает окрашиваться и небо. В окрестности солнца оно приобретает желтоватые и оранжевые тона.

Радуга – это красивое небесное явление – всегда привлекала внимание человека (рис. 21). В прежние времена, когда люди еще мало знали об окружающем мире, радугу считали «небесным знаменем».

Радуга наблюдается в стороне, противоположной солнцу, на фоне дождевых облаков или дождя. Разноцветная дуга обычно находится от наблюдателя на расстоянии 1–2 км, а иногда ее можно наблюдать на расстоянии 2–3 м на фоне водяных капель, образованных фонтанами или распылителями воды.

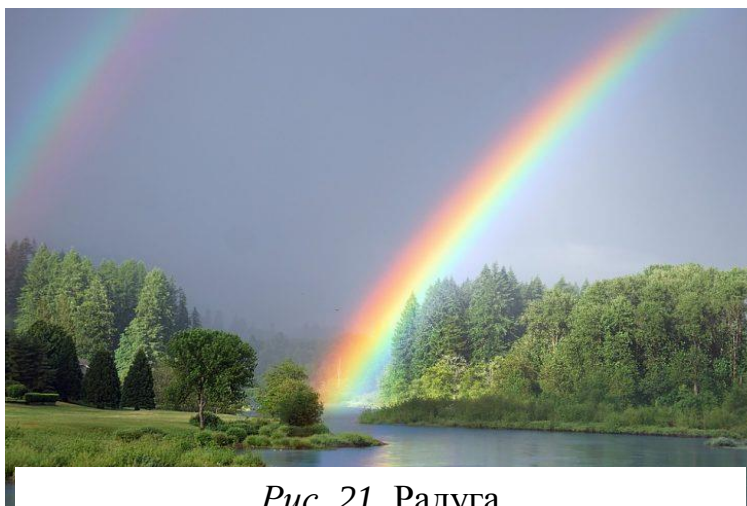


Рис. 21. Радуга

Впервые теория радуги была дана в 1637 г. Рене Декартом. Он объяснил радугу как явление, связанное с отражением и преломлением света в дождевых каплях. Образование цветов и их последовательность были объяснены позже, после разгадки сложной природы белого света и его дисперсии в среде.

Полярные сияния. В большинстве случаев полярные сияния имеют зеленый или сине-зеленый оттенок с изредка появляющимися пятнами или каймой розового или красного цвета (рис. 22). Полярные сияния наблюдают в двух основных формах – в виде лент и в виде облакоподобных пятен. Когда сияние интенсивно, оно приобретает форму лент. Теряя интенсивность, оно превращается в пятна.



Рис. 22. Полярное сияние

Интенсивные вспышки сияния часто сопровождаются звуками, напоминающими шум, треск. Полярные сияния вызывают сильные изменения в ионосфере, что в свою очередь влияет на условия радиосвязи. В большинстве случаев радиосвязь значительно ухудшается. Возникают сильные помехи, а иногда полная потеря приема.

Гало (произносится с ударением на «о»). Иногда солнце выглядит так, как будто его видно через большую линзу (рис. 23). На самом деле, на изображении виден эффект миллионов линз: ледяных кристаллов. Совместный эффект этих кристаллов может приводить к появлению явления, называемого паргелия, или ложного солнца.



Рис. 23. Гало

Конечно, в атмосфере нашей планеты происходит значительно больше оптических явлений, о которых говорится здесь. Так в чем же секрет этих явлений? Рассмотрим более подробно оптические свойства атмосферы.

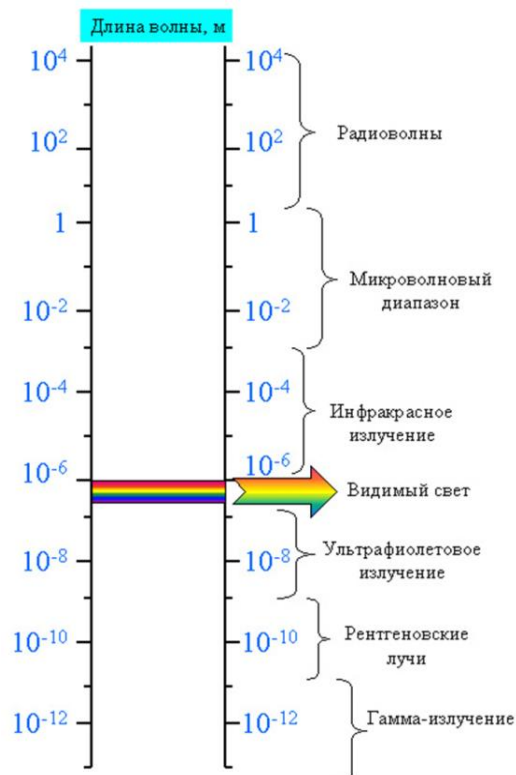


Рис. 24. Спектр излучения

На верхнюю границу атмосферы приходится поток солнечного излучения (свет), представляющий собой электромагнитные волны широкого спектрального диапазона (рис. 24).

Длину их обозначают λ и выражают в нанометрах (нм), $1 \text{ нм} = 10^{-9} \text{ м}$, микрометрах (мкм) или миллимикронах ($\mu\text{м}$), сантиметрах и метрах.

Спектр начинается с коротковолнового излучения (гамма-лучи – $\lambda = 10^{-4} - 10^{-2}$ и рентгеновские лучи – $\lambda = 10^{-2} - 10$ нм). Участок спектра с длиной волн

$\lambda=10\text{--}380$ нм относится к ультрафиолетовой (УФ) области спектра. Диапазон $\lambda = 380\text{--}760$ нм – область видимого излучения, воспринимаемого человеческим глазом, называемого светом. Область спектра $\lambda=760$ нм – 1000 мкм – инфракрасное (ИК) излучение. Оно делится на ближнее, среднее, дальнее и очень далекое. Участок спектра, примыкающий к ИК-тепловой зоне (с длиной волны более 1 мм) охватывает ультракороткие радиоволны.

Земная атмосфера – оптически неоднородная среда, она вызывает поглощение и рассеяние излучения солнца, снижающие его энергию и изменяющие спектральный состав.

Гамма-излучение, лучи Рентгена и ультрафиолетовые почти полностью поглощаются кислородом и озоном атмосферы.

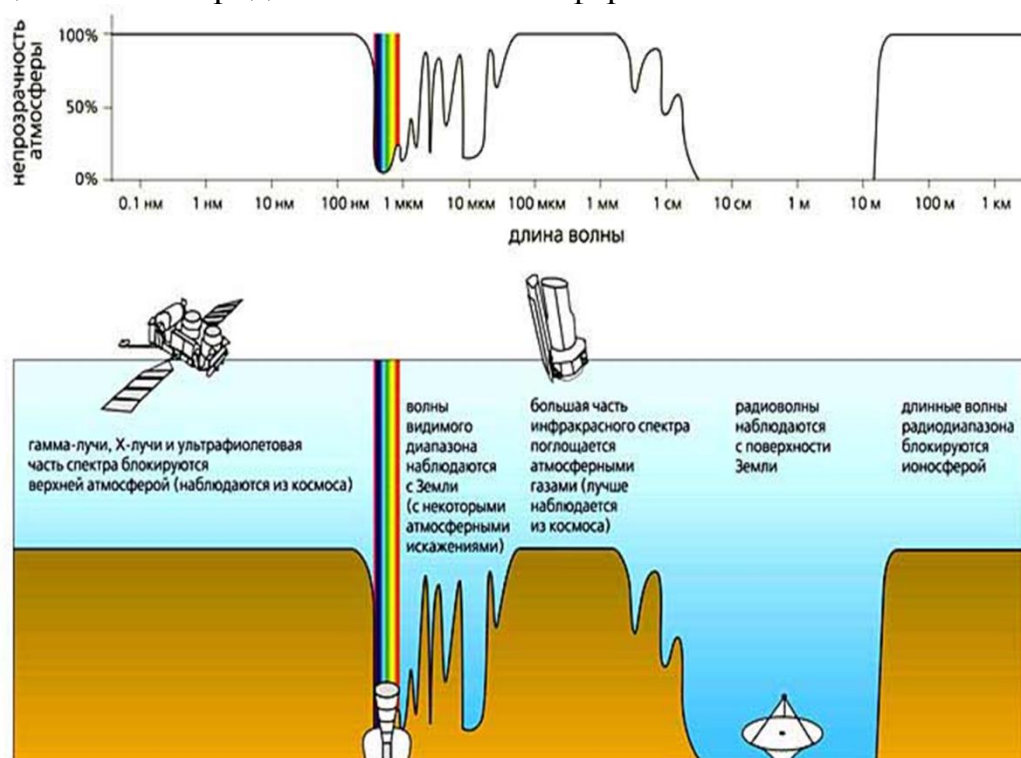


Рис. 25. Зоны прозрачности земной атмосферы

При изучении Земли дистанционными методами наблюдения можно проводить только в зонах прозрачности земной атмосферы – на рис. 25 эти зоны расположены в видимом диапазоне и диапазоне радиоволн.

4.3. Оптические характеристики природных образований

Исследование спектральных отражательных свойств ландшафта, и в частности растительного покрова, является одним из основных элементов в изучении природной среды аэрокосмическими методами.

Первая и наиболее полная классификация объектов ландшафта по спектральным отражательным характеристикам в «фотографическом», видимом диапазоне длин волн (0,40–0,85 мкм) была разработана в лаборатории аэрометодов под руководством Е.Л. Кринова в 1947 г. Разработанная спектрофотометрическая классификация природных образований широко применяется до сих пор.

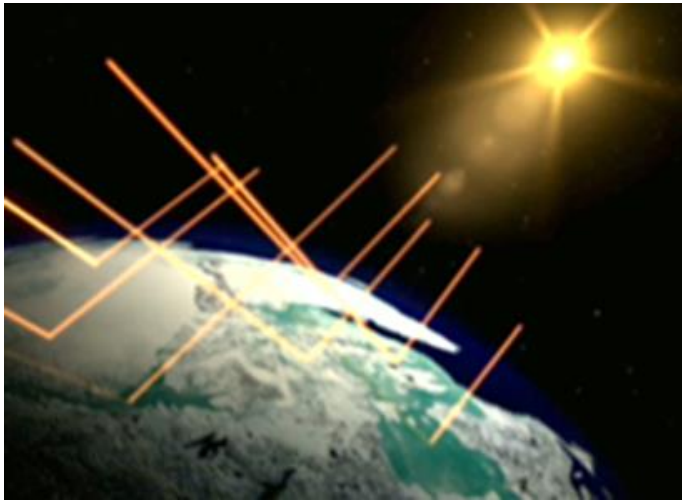


Рис. 26. Отражение
солнечных лучей

Все объекты земной поверхности при наблюдении и съемке в видимом и ближнем ИК-диапазонах воспринимаются отдельно благодаря их яркостным различиям.

Яркость объекта зависит от освещенности, отражательной способности. На рис. 26 представлен снимок, на котором лучи солнца отражаются обратно в космос.

К показателям, характеризующим яркость объектов и определяющим дешифровочные возможности материалов

дистанционных съемок, относят:

- коэффициент полного отражения, или альбедо A ;
- коэффициент яркости r ;
- коэффициент спектральной яркости r_λ ;
- яркостной контраст K ;
- интервал яркости U .

Эти показатели учитывают при расчете условий съемки для получения наиболее информативных съемочных материалов и для дешифрирования. Краткая характеристика данных показателей приводится ниже.

Альбедо A (от лат. albedo – белизна) – это отношение количества рассеянного во все стороны электромагнитного излучения F к величине падающего на какую-либо поверхность полного его потока F_0 . Самые темные объекты в Солнечной системе имеют альбедо около 0,02, а самые светлые – более 0,9. Следует иметь в виду, что альбедо зависит от длины волны излучения и может сильно отличаться, например, в видимом и инфракрасном диапазонах спектра электромагнитного излучения.

На рис. 27 цвета изображения показывают альбедо земной поверхности. Самые высокие значения показаны красным цветом, низкие – синим. Желтый и зеленый цвета занимают промежуточное положение.

Коэффициент яркости r определяется отношением яркости лучистого потока B , отраженного в каком-либо фиксированном направлении, к яркости лучистого потока от идеально рассеивающей поверхности в данном направлении, имеющей коэффициент отражения, равный единице, и находящейся в тех же условиях освещения и наблюдения, $r=B/B_0$.

Яркость лучистого потока – это показатель, характеризующий яркостные особенности естественной освещенности (падающей или отражающей).

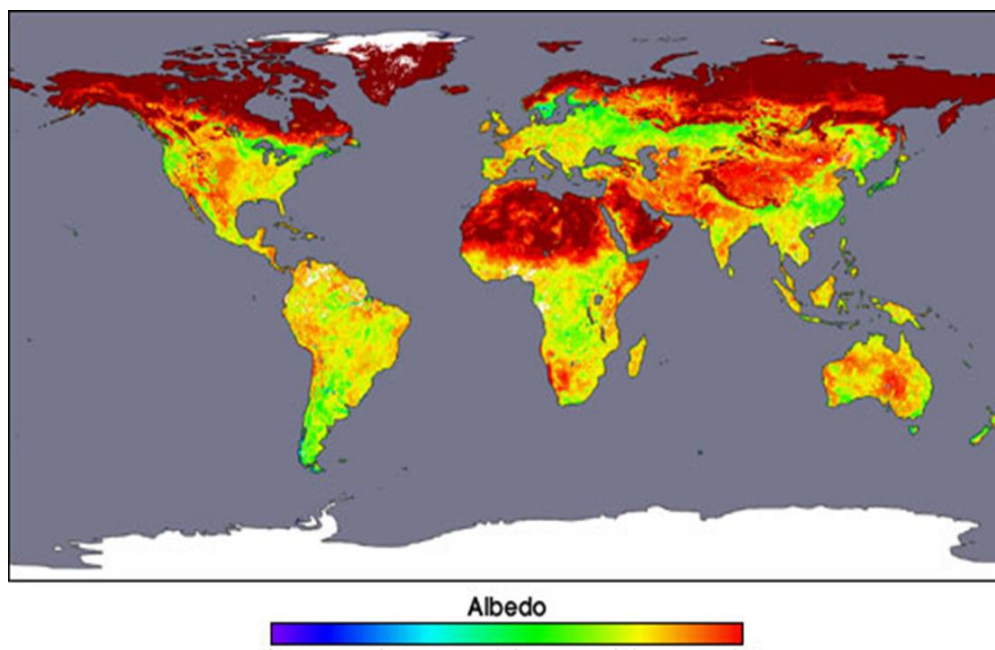


Рис. 27. Альbedo земной поверхности

Объекты оптически нейтральные (серые) имеют одинаковый коэффициент яркости для всех видимых и ближних ИК-лучей спектра. Для объектов с тоновыми или цветовыми различиями коэффициент яркости неодинаков для разных участков спектра.

Коэффициент спектральной яркости r_λ – это отношение спектральной яркости объекта B_λ к спектральной яркости идеально рассеивающей поверхности в одинаковых условиях освещения и наблюдения.

Объекты земной поверхности выявляются на снимках в значительной степени благодаря различиям в яркости, которые оцениваются **яркостным (пограничным) контрастом** K . Яркостный контраст – это отношение разности яркостей (коэффициентов яркостей) смежных объектов к большей из них: $K = \frac{B_1 - B_2}{B_1} = \frac{r_1 - r_2}{r_1}$.

Объекты, у которых $K=1$, называют объектами абсолютного контраста. Такой контраст имеет комбинация абсолютно черных и абсолютно белых объектов. В природе их практически нет. Близкий к абсолютному контраст имеют, например, свежесвыпавший снег на фоне хвойного леса, солнечный блик (зеркально отраженный солнечный свет) на фоне остальной поверхности водоема. Различают объекты, имеющие большой контраст – контрастные ($K > 0,5$), малоконтрастные ($K > 0,2$) и среднеконтрастные ($K = 0,2 - 0,5$). В природе преобладают малые и средние контрасты.

При выборе условий съемки определяют **интервал яркости** (относительный фотографический контраст) – отношение наибольшей яркости объектов к наименьшей.

4.4. Спектральные отражательные свойства растительности и методы их изучения

Спектральные отражательные характеристики природных образований являются основой дистанционных методов ее исследования. Поток лучистой энергии, прошедший атмосферу Земли, изменяется по интенсивности и спектральному составу. Он делится на три составные части: поглощенную, отраженную (рассеянную) и пропущенную (прямую). Поток лучистой энергии, состоящий из прямой и рассеянной солнечной радиации, при падении на объект также делится на три части: пропущенную, поглощенную, отраженную. Практический интерес для съемки имеет отраженная энергия. На оптические характеристики растений влияют географическое и высотное положения, погодные условия.

Оптические свойства древесных и кустарниковых пород в видимой области спектра зависят в основном от хлорофилла, поэтому в период вегетации кроны разных древесных пород характеризуются близкой яркостью и имеют небольшие тоновые различия. Так, на рис. 28 в центре представлен выполненный в видимом спектре космический снимок древесных пород – ельники и сосняки, имеющие небольшие тоновые различия. В верхней части рис. 28 – план лесонасаждений данного участка, в нижней – обработанный цифровой вариант.

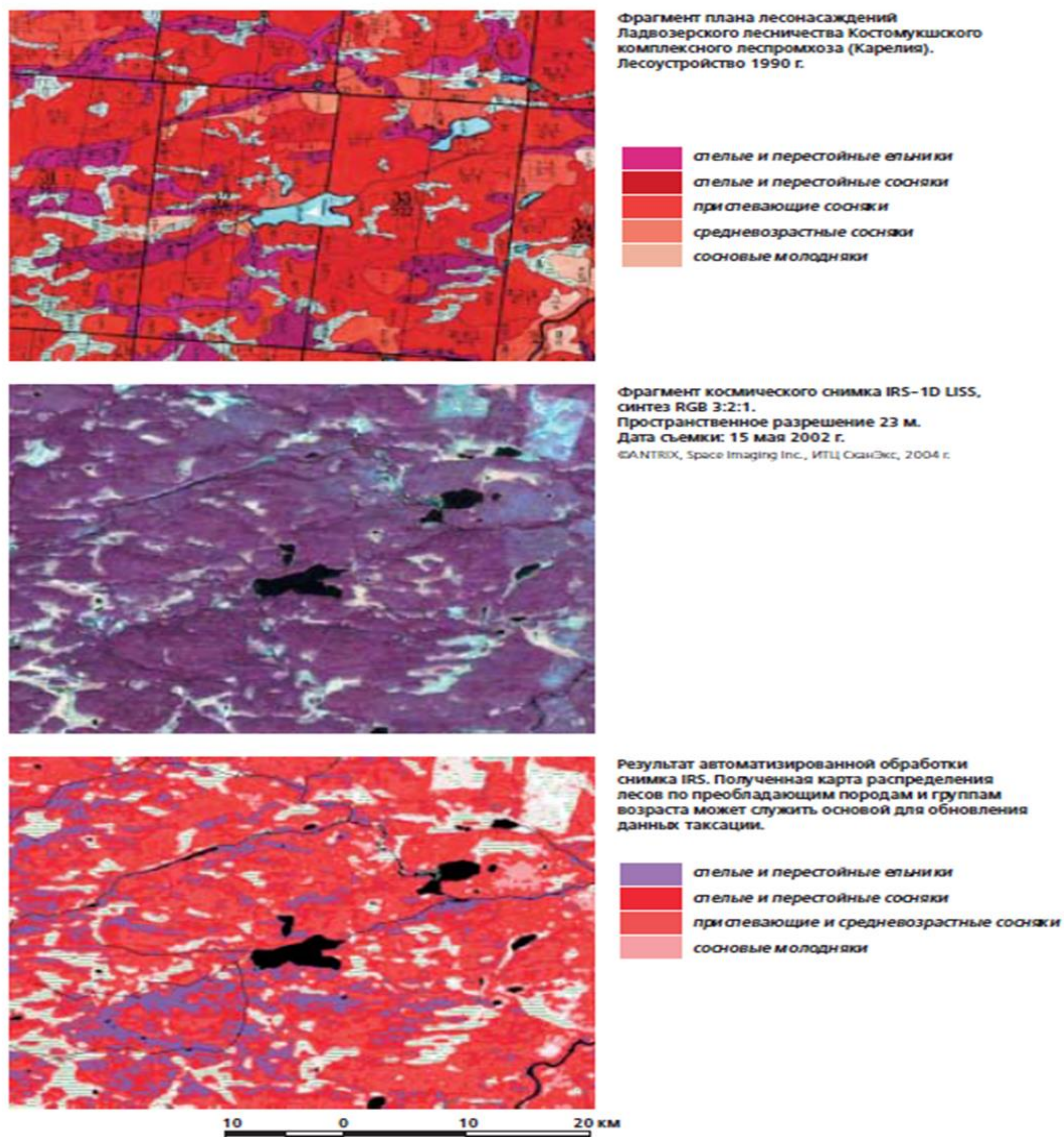


Рис. 28. План, космический снимок и обработанный цифровой вариант лесонасаждений

В ближней ИК-зоне спектра различия в спектральных яркостях кроны основных древесных пород значительно больше — они позволяют отделять хвойные породы (сосна, кедр, ель, пихта) от лиственных. Наибольшие цветовые и тональные контрасты между лиственными и хвойными древесными породами наблюдаются в весенний период.

В видимой зоне спектра поврежденные вредителями или пожарами деревья существенно не

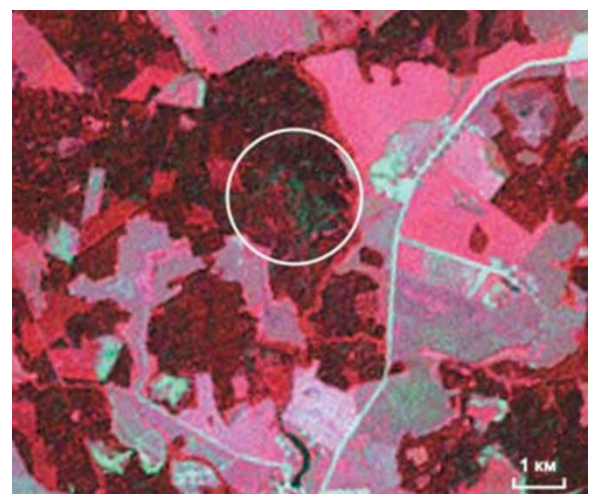


Рис. 29. Очаг усыхания ельников на ИК-снимке

отличаются от здоровых. В ИК-зоне различия между ними значительные. На снимке, выполненном в ИК-диапазоне, представлены ярко выраженные очаги усыхания ельников в результате вспышки размножения короеда-типографа. Очаги усыхания в данном синтезе выявляются по серо-зеленому цвету (рис. 29).



Рис. 30. Участок погибшего леса после вспышки размножения короеда-типографа



Рис. 31. Спектрорадиометр ASD FieldSpec 4 Hi-Res NG

На рис. 30 показан участок погибшего леса после вспышки короеда-типографа.

Изучение особенностей спектральной отражательной способности древесной растительности разного состава, возраста, произрастающей в различных климатических и лесорастительных условиях под воздействием разнообразных факторов среды, проводят с помощью лабораторных или летных спектрометров, спектрорадиометров, видеоспектрометров (рис. 31).

При проведении лабораторных исследований спектрометрированию подвергаются растительные образцы в виде охвоенных побегов разных лет или ветвей с листьями. Измерения основаны на сравнении спектральных яркостей исследуемой и идеальной эталонной рассеивающей поверхностей.

Оптические характеристики природных объектов можно изучать в лаборатории, в наземных полевых и подводных условиях, с летательных аппаратов, включая космические носители. Данные, полученные в наземных условиях, позволили установить закономерности изменения природных объектов.

На основе этих данных проведена спектрофотометрическая классификация природных образований, созданы спектрональные пленки и методы многозональной съемки.

4.5. Индекс NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)

NDVI – нормализованный относительный индекс растительности, по которому можно судить о развитии биомассы растений во время вегетации. Зеленые листья растений поглощают электромагнитные волны в красном диапазоне и отражают волны в ближнем инфракрасном. Чем больше листовая поверхность растений и чем больше хлорофилла в листьях, тем сильнее

растения поглощают попадающий на них красный свет (и меньше его отражают). По сумме и разности отражений в красном и ближнем инфракрасном диапазонах вычисляется индекс NDVI:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED},$$

где NIR – коэффициент отражения в ближней инфракрасной области спектра, RED – коэффициент отражения в красной области спектра.

Наличие и состояние растительности, относительная биомасса, контроль роста растительности. Зелень отражает больше в ИК, чем в видимом диапазоне.

Диапазон абсолютных значений индекса NDVI лежит в интервале от –1 до +1. Для растительности индекс принимает положительные значения (примерно от 0,2 до 0,9), и чем больше зеленая фитомасса растений в момент измерения, тем значение NDVI ближе к единице.

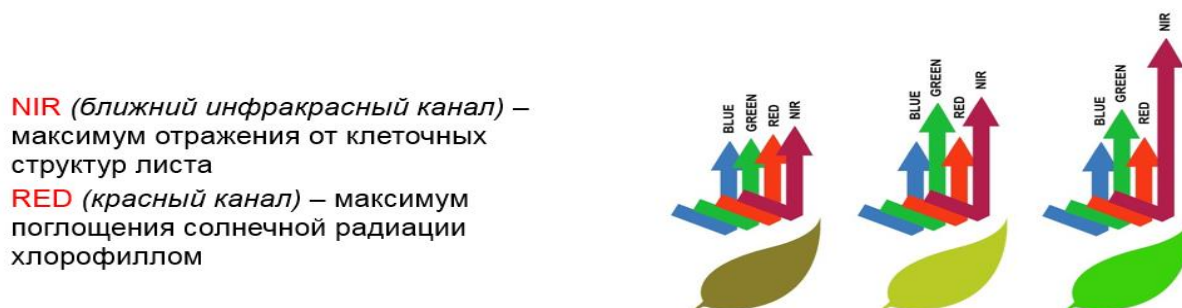


Рис. 32. Отражение различных спектров излучения в зависимости от цвета биомассы растений

Показатель NDVI – относительный, он не показывает абсолютных значений биомассы зеленых листьев (в т/га, например), но по нему можно достоверно оценить, насколько хорошо или плохо развивается посев (рис. 32).

4.6. Метеорологические условия съемки

Съемку земной поверхности осуществляют через толщу атмосферы, характеристики которой непостоянны. Состояние атмосферы определяет условия и результаты съемки. Физическое состояние атмосферы характеризуют ее прозрачность и рефракции лучей в ней, температура воздуха, атмосферное давление, влажность воздуха, облачность, перемещение воздушных масс. Наибольшее влияние на результативность съемки в видимом и ближнем ИК-диапазонах спектра оказывают степень прозрачности атмосферы, освещенность и облачность.

В слое атмосферы между земной поверхностью и съемочной системой, установленной на самолете, вертолете или космическом аппарате, всегда в той или иной степени содержатся мельчайшие частицы газов, водяных паров, пыли, дыма. Они вызывают рассеяние света в атмосфере и обуславливают дополнительную яркость самого воздуха, чем снижают контрастность деталей земной поверхности. В прямой зависимости от контрастности находится разрешающая способность съемочных материалов.

Аэро- и космические съемки обычно выполняют в яркие, солнечные, безоблачные дни. Перистые и перисто-слоистые облака им не препятствуют. Аэрофотосъемка возможна и при высокой сплошной облачности, расположенной выше самолета (вертолета), выполняющего съемку. Высокая сплошная облачность позволяет получать бестеневые аэрофотоснимки со смягченными тонами теней, в результате чего полог насаждений просматривается глубже, лучше видны его затененные части. На открытых местах (прогалины, вырубки) изображение отдельных деревьев или подроста лучше заметно в солнечную погоду из-за наличия падающих теней.

Для целей лесного дешифрирования значение имеет влияние высоты солнца в момент проведения съемки: чем оно выше, тем контрастнее выделяется соотношение между освещенными и затененными сторонами крон в пологе насаждений. При высоте солнца более 30° общий вид изображения полога насаждений яркий и пестрый, так как сомкнутые насаждения состоят из светлых крон и темного фона от затененных промежутков между кронами. При низкой высоте солнца (менее 30°) контраст между тонами изображения крон и затененными промежутками ослабевает, уменьшается освещенность лесных территорий; общий рисунок полога насаждений становится однообразнее (рис. 33).



Рис. 33. Снимок, сделанный при низкой высоте солнца



Рис. 34. Облачность

Обычно съемку начинают не ранее чем через 2 ч после восхода солнца и заканчивают за 3 часа до захода. В большинстве случаев аэрофотосъемочное время дня ограничивается тремя-четырьмя часами, поскольку после 9–10 часов, особенно в лесных районах, появляется кучевая облачность, достигающая наибольшего развития к 13–15 часам. Съемку земной поверхности в ИК-тепловом диапазоне можно осуществлять в любое время суток, а в радиодиапазоне – в любую погоду. Кучевые облака изображаются белыми пятнами, а тени – от них – темными пятнами. Части снимков, закрытые облаками и тенями от них, непригодны для дешифрирования.

Поскольку в любой фиксированный момент времени в среднем 65 % поверхности Земли покрыто облачностью, а территория России – сплошной и значительной облачностью на 75 %, фотографическая съемка из космоса существенно осложняется, ибо

запас пленки в космических аппаратах и срок их работы на орбите ограничены (рис. 34). Следовательно, необходимо максимально продуктивно использовать фотопленку и стремиться к включению фотоаппаратуры лишь при отсутствии облачности. Это можно обеспечить только при наличии надежного прогноза распределения облачности по территории Земли на трассе полета космического летательного аппарата.

Для предварительного планирования времени запуска КЛА, с которого предусматривается съемка определенных территорий, требуются многолетние данные об облачности над ними. Определенный объем данных для разработки прогноза дают карты погоды с исходной аэросиноптической информацией, хотя они и не показывают полную картину фактического распределения облачности из-за отсутствия информации о районах между метеостанциями.

4.7. Оптимальные сроки проведения аэрокосмических съемок

При изучении лесов съемку выполняют в определенные сроки, связанные с их фенологическим состоянием. Обычно съемку проводят после полного распускания листьев и до начала массового листопада (в зависимости от породы, лесорастительного района и почвенных условий).



Рис. 35. Съемка лесной зоны

Снимки лучшего дешифровочного качества получаются при съемках древесных пород в тот период года и в той зоне спектра, в которых отражаются наибольшие различия в их яркости (рис. 36). Летом отражательная способность хвойных и лиственных пород в пределах видимой области спектра почти одинакова.

Весной и осенью у древесных пород наблюдается большое различие в отражательной способности: весной – в желто-зеленых и красных лучах спектра, осенью – в оранжево-красных.

Изучение фенологического состояния лесов показывает, что в лесной зоне России сроки проведения аэрокосмической съемки наиболее удобно согласовывать с фенологическими изменениями березы и дуба. Береза распространена здесь повсеместно, у нее раньше, чем у других пород, начинается облиствение и пожелтение листьев (рис. 35).

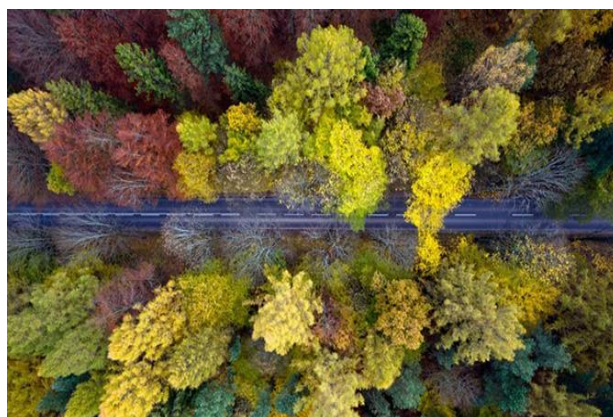


Рис. 36. Различные древесные породы осенью

В весеннее время съемку начинают через две недели после начала облиствения и заканчивают ее через 15–20 дней. Съемку в осенний период проводят после начала массового пожелтения листьев березы и заканчивают до того времени, когда у лиственных пород опадает половина листвы.

В последние годы особенно актуальными стали проекты по мониторингу природной среды, техносферы, экологических бедствий и катастроф. Это связано с высокой эффективностью использования для этих целей космических снимков. Это относится не только к задачам государственного и регионального уровней, но и к проектам изучения небольших территорий.

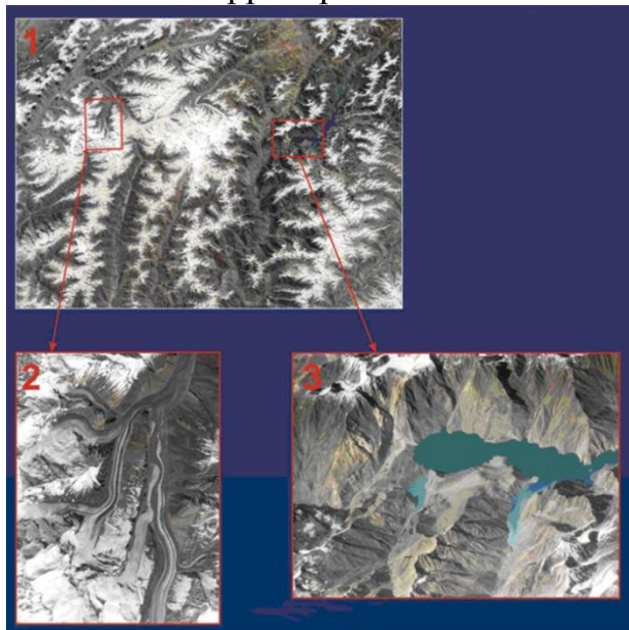


Рис. 37. Программа «Ураган».

1. Центральный Памир. Съемка для расчета стока горных рек;
2. Ледник Бивачный. Съемка для прогнозирования подвижки;
3. Сарезское озеро. Съемка для оценки устойчивости горного массива правого борта

Программа «Ураган» – это космический мониторинг природной среды, экологических ситуаций и катастроф с борта РС МКС. Выполнялась в 2001–2015 гг. совместно Институтом географии РАН и НПП «Прогресс» при РКК «Энергия». Осуществляется российскими космонавтами на борту МКС.

Программа «Ураган» состоит из двух частей: фото- и видеосъемки земной поверхности (рис. 37). Основные направления исследований: наводнения, землетрясения, извержения вулканов, опустынивание, потери урожаев сельскохозяйственных культур, эрозия почв, гляциологические катастрофы, оползни, сели, лесные пожары, ураганы, пыльные бури, загрязнение окружающей среды, техногенные катастрофы и другие.

Первая часть программы – фотосъемка земной поверхности с помощью цифровых фотоаппаратов. Используется несколько фотокамер, но основная из них – Nikon D2X.

Вторая часть программы «Ураган» – видеосъемка земной поверхности в цифровом формате. Главная цель этой работы – создание видеофильмов образовательных программ для школьников, студентов и широких слоев населения под общим названием «Космос и образование: география, экология, катастрофы».

Контрольные вопросы

1. От чего зависит качество аэрокосмических съемок?

2. Что такое оптическое свойство атмосферы и как оно влияет на аэрокосмические съемки.
3. Назовите наиболее оптимальные сроки проведения аэрокосмических съемок. Как сроки проведения влияют на качество съемки?
4. Что такое спектральные отражательные свойства растительности? Как это свойство используется в сельском хозяйстве?
5. Понятие индекса NDVI, его применение и значение.

5. ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА АЭРОКОСМИЧЕСКИХ СЪЕМОК

5.1. Летательные аппараты, используемые для проведения аэрокосмических съемок



Рис. 38. Самолет P28R

Аэрокосмические съемки земной поверхности проводят с различных летательных аппаратов, которые подразделяются на две группы:

1) осуществляющие полет в воздушной среде – самолеты и вертолеты (рис. 38);

2) осуществляющие полет в безвоздушном пространстве – космические летательные аппараты (ИСЗ, пилотируемые орбитальные станции, пилотируемые космические корабли). Сравнение высоты и диапазона покрытия при съемки различными

способами представлено на рис. 39.

Используемые для аэросъемки **самолеты и вертолеты** должны отвечать следующим требованиям:

- обеспечивать устойчивый горизонтальный полет и разворот с одного курса на другой, иметь достаточный диапазон скоростей и необходимую дальность полета, обеспечивающую беспосадочное время работы не менее 6–7 часов;

- обладать хорошей продольной, поперечной и путевой устойчивостью;

- быть оснащенными высокоточным навигационным оборудованием, позволяющим выполнять автоматизированный полет по заданному маршруту с высокой точностью в разных геомагнитных и широтных условиях;



Рис. 40. Вертолет МИ-8

- иметь удобное, с хорошим обзором местности, место для штурмана, а также соответствующее место для установки съемочной аппаратуры, работы бортинженера и хранения фото- и других материалов.



Рис. 39. Сравнение высоты и диапазона покрытия при съемке различными способами

В настоящее время в лесном хозяйстве России для аэросъемки и выполнения других

работ применяют в основном самолеты ТУ-134, АН-30, иногда АН-2 и вертолеты К-26, МИ-8 и др. (рис. 40).

Навигационные средства для аэрофотосъемочного самолетовождения. К навигационным средствам относят оптические навигационные визиры. На самолетах и вертолетах, предназначенных для проведения аэрофотосъемки, помимо автоматизированных навигационных систем, применяются визиры (рис. 41). При прохождении самолета (вертолета) по маршруту съемки эти навигационные системы позволяют:

- контролировать точность прокладки курса следования по заданному маршруту;
- контролировать точность прокладки поперечного базиса съемки;
- намечать ориентиры на оси очередного съемочного маршрута;
- намечать начало и окончание маршрута;
- определять боковое отклонение от линии заданного пути (оси маршрута);
- измерять горизонтальные и вертикальные углы относительно продольной оси самолета (вертолета);
- измерять углы сноса и интервал фотографирования (съемки).

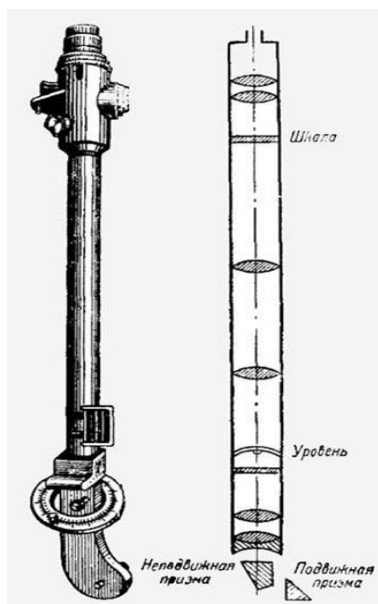


Рис. 41.

Навигационный визир ОПБ-1м и его устройство

Второй вид навигационных средств – это курсовые приборы. При выполнении съемочного полета применяются три автономных метода определения курса следования: магнитный, гироскопический, астрономический. Используются магнитные индукционные компасы, гироскопические компасы и астрономические компасы (рис. 42).



Рис. 42.

Гирокомпас вакуумный Falcon Gauge



Рис. 43. БМС –

бортовая многофункциональная система спутниковой навигации

Третий вид навигационных систем – автоматические системы управления аэрофотосъемочным полетом. В целях улучшения качества съемочного материала, аэрофотосъемочный полет осуществляется инструментальными методами в режиме автоматического программного пилотирования с использованием комплекса пилотажно-навигационных приборов и систем. Основой такого комплекса является автопилот с программным устройством. В настоящее время при выполнении аэросъемочных работ применяют спутниковые системы навигации (рис. 43). Принцип

действия их основан на использовании специального комплекса орбитальных спутников Министерства обороны США – GPS. Данная система позволяет с высокой точностью вычислить свою широту, долготу, высоту над Землей.

Космические летательные аппараты. Для съемки земной поверхности из космоса в целях изучения природных ресурсов используются различные космические аппараты (КА). В основном это искусственные спутники Земли (рис. 44). Запуск первого ИСЗ, ставшего первым искусственным небесным телом, созданным человеком, был осуществлен в СССР 4 октября 1957 г.



Рис. 44. ИСЗ «Метеор-М» № 2

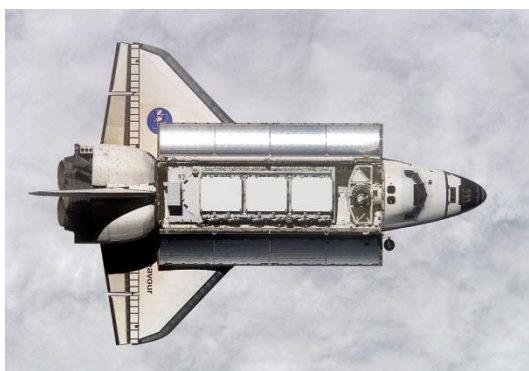


Рис. 45. Шаттл Endeavour

Иногда выборочные съемки отдельных территорий или объектов выполняют с пилотируемых космических кораблей (ПКК) (рис. 45) или пилотируемых долговременных орбитальных станций (ДОС) (рис. 46).



Рис. 46. Орбитальная станция «Мир»

Пилотируемые корабли-спутники и обитаемые орбитальные станции являются наиболее сложными и совершенными ИСЗ. Они, как правило, рассчитаны на решение широкого круга задач, в первую очередь – на проведение комплексных научных исследований, отработку средств космической техники, изучение природных ресурсов Земли и др.



Рис. 47. ИСЗ IKONOS

Искусственные спутники Земли. Для съемки земной поверхности в целях исследования природных ресурсов Земли используются различные ИСЗ гражданского назначения, запускаемые разными странами на околоземные орбиты. Это российские ИСЗ серии «Ресурс-Ф», «Ресурс-01», «Океан», «Метеор». Зарубежные космические системы включают американские ИСЗ Landsat, IKONOS (рис. 47), французский SPOT, индийский IRS и др.

Пилотируемые космические корабли. Это российские «Восток», «Восход», «Союз» (рис. 48), американские «Меркурий», «Джемини», «Аполлон», с которых в 60–70 гг. проводились разнообразные, преимущественно фотографические съемки территорий.

В настоящее время для съемки иногда используются лишь американские корабли многоразового действия системы «Шаттл».

Пилотируемые орбитальные станции: Российский «Салют» (1971–1987), «Мир» (1986–2000), американская станция «Скайлэб» (1973). С них проводилась эпизодическая съемка поверхности Земли. Россией, США при участии других стран создана Международная космическая орбитальная станция «МКС» (рис. 49), которая начала функционировать в 2001 г. В принципе, с нее также могут проводиться съемки Земли.



Рис. 48. Космический корабль «Союз»



Рис. 49. МКС – Международная космическая станция

5.2. Технические средства дистанционных съемок

Для регистрации отраженной солнечной радиации на воздушных и космических носителях устанавливают аэрофотоаппараты, оптико-электронные системы, радиометры, радиолокаторы и другие устройства, позволяющие использовать как естественные, так и искусственные источники излучения. Рассмотрим фотографические средства аэрокосмических съемок.



Рис. 50.
Широкозахватный
АФА

Аэрофотоаппараты, применяемые при аэро- и космических съемках. В применяемых для аэро- и космических съемок аэрофотоаппаратах (АФА) (рис. 50) реализованы три основные схемы фотографирования: кадровое, щелевое и панорамное.

При **кадровом** фотографировании участок земной поверхности одновременно проектируется при помощи фотообъектива на плоскость (рис. 51).

Фотографическое изображение местности получается в виде отдельных кадров-аэрофотоснимков или космических снимков, а оптическая ось съёмочной камеры перпендикулярна к плоскости.

Различают следующие основные виды аэрокосмической фотосъемки кадровыми фотоаппаратами:

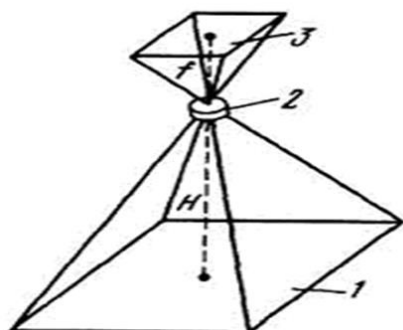


Рис. 51. Схема
кадрового
фотографирования

– однокамерная, при которой съемка местности проводится одним фотоаппаратом, в том числе разных участков местности за счет его наклона (качания);

– многокамерная, при которой одновременно получают несколько (по числу фотокамер, установленных на борту носителя) изображений местности по способу кадрового фотографирования;

– однокамерная многообъективная, при которой у фотокамеры в одном общем корпусе расположено несколько объективов,

оптические оси которых параллельны между собой и перпендикулярны к плоскости прикладной рамки.

Существуют два вида фотографирования: 1) одного и того же участка местности (многозональная фотосъемка); 2) различных участков местности, для чего перед объективами устанавливают зеркала или призмы, обеспечивающие отклонение связок проектирующих лучей и получение единого фотоснимка сфотографированного участка местности.

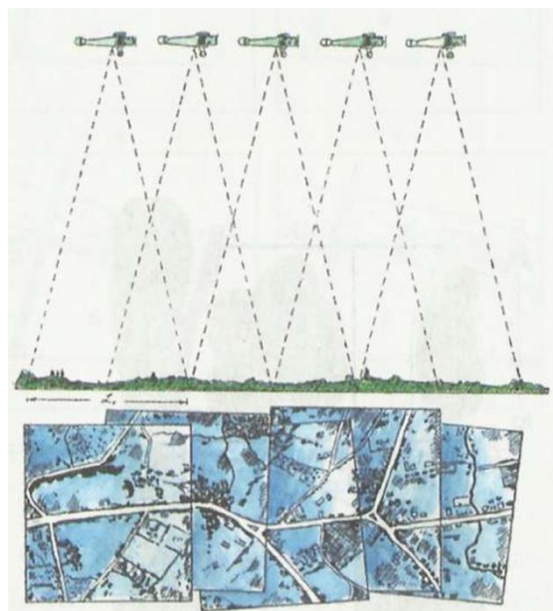


Рис. 52. Съемка с взаимными
перекрытиями снимков

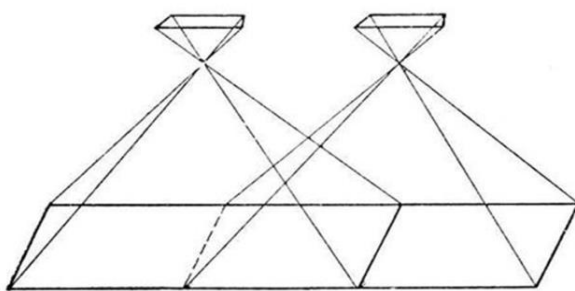


Рис. 53. Схема продольного перекрытия снимков

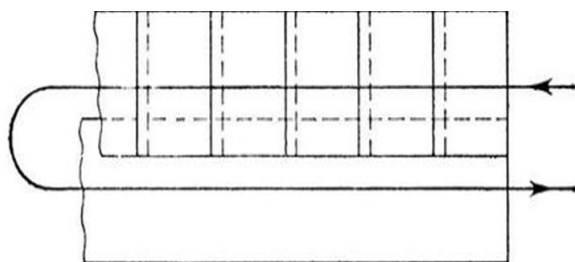


Рис. 54. Схема поперечного перекрытия снимков

Кадровые аэрофотоаппараты применяют при одномаршрутных и площадных съемках с взаимными перекрытиями снимков как в пределах маршрутов, так и между смежными маршрутами (рис. 52). При прокладывании маршрута часть участка местности, сфотографированного на одном снимке, должна фотографироваться и на другом. На рис. 53 показано продольное перекрытие снимков.

Отношение площади, сфотографированной на двух смежных снимках, к площади, изображенной на каждом отдельном снимке, выраженное в процентах, называется продольным перекрытием; его задают в соответствии с требованиями

последующей фотограмметрической обработки (обычно продольное перекрытие составляет 60 %).

При аэрофотосъемке значительного по ширине участка фотографирование площади производят серией параллельных маршрутов, имеющих между собой поперечное перекрытие (обычно 30 %) (рис. 54). То есть, перекрытия в пределах маршрута называются продольными. Перекрытия между маршрутами называются поперечными.

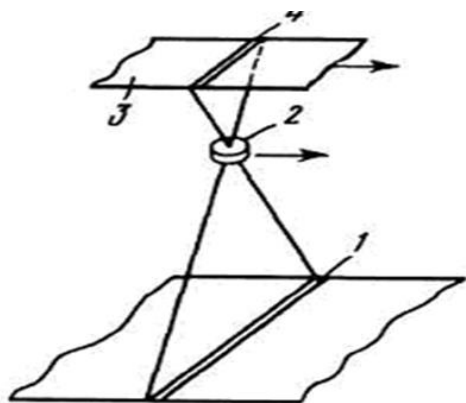


Рис. 55. Схема щелевого фотографирования

При щелевом фотографировании полоса земной поверхности непрерывно и последовательно проектируется при помощи поступательно перемещающегося фотообъектива на непрерывно движущуюся в том же направлении фотопленку через щель (рис. 55). Скорость перемещения объектива и фотопленки согласованы. При щелевом фотографировании изображение земной поверхности представляется не в виде отдельных кадров, а в виде сплошной ленты – непрерывной последовательностью изображений узких полос земной

поверхности. Используются однообъективные и двухобъективные щелевые аэрофотоаппараты.

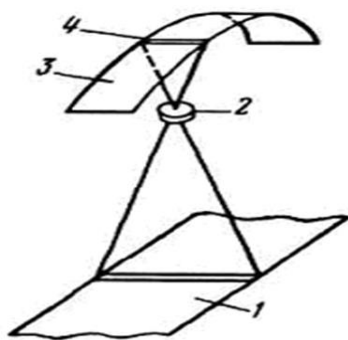


Рис. 56. Схема панорамного фотографирования

При **панорамном** фотографировании участок земной поверхности проектируется при помощи фотообъектива и экспонирующей щели на фотоматериал, при этом обеспечивается практически мгновенное последовательное проектирование участка местности на фотоматериал, что достигается, например, вращением фотообъектива или другими способами (рис. 56). В результате панорамного фотографирования получают отдельные полосы – панорамы, изображающие иногда земную поверхность от горизонта до горизонта. При панорамном фотографировании используются

аэрофотоаппараты прямого сканирования и косвенного.

Нефотографические съемочные процессы. К ним относятся сканирующие оптико-электронные системы, телевизионные системы, лазерные съемки, микроволновая съемка, радиолокационные съемочные системы.

Оптико-электронными называют приборы, в которых информация о наблюдаемом (исследуемом объекте) переносится оптическим излучением, а ее первичная обработка сопровождается преобразованием энергии излучения в электрический сигнал.

На летательных аппаратах дистанционного зондирования с оперативной доставкой информации в качестве съемочной системы оптического диапазона применяют сканирующие ОЭП, или сканеры (рис. 57). С помощью сканеров формируется изображение, состоящее из множества отдельных последовательно получаемых элементов изображения – пикселей в пределах полос. Размер пикселя определяет детальность (разрешение на местности) изображения.

Различия фотографического и сканерного снимков наглядно можно увидеть, увеличив изображения в несколько раз.

При увеличении полутонного фотографического снимка на нем будут, до определенного предела, проявляться все более и более мелкие детали (рис. 58).

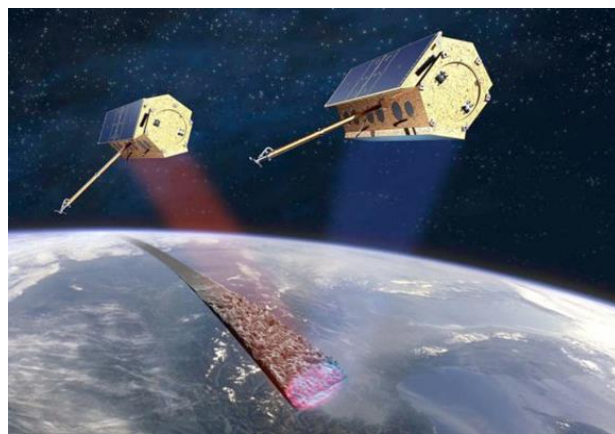


Рис. 57. Радиолокационные спутники TerraSAR-X и Tandem-X

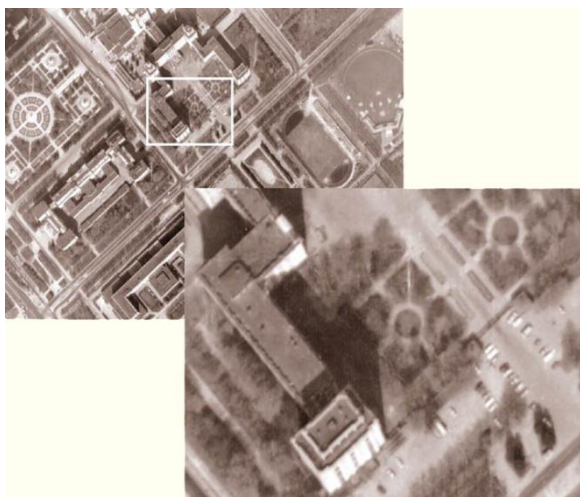


Рис. 58. Фотографический снимок

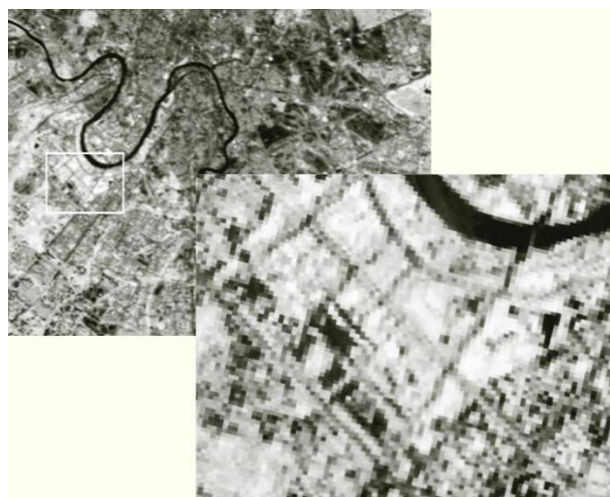


Рис. 59. Сканерный снимок

Сканерный снимок состоит из множества маленьких элементов (пикселей), соответствующих просматриваемым при съемке площадкам местности (рис. 59). При увеличении на изображении проявляются эти элементы, внутри которых нет никаких деталей. Обычно каждый сканер сканерного снимка представляется в виде числа, характеризующего его яркость, что очень удобно для ввода этого снимка в компьютер.

Телевизионные системы. В основе телевидения лежит фотоэлектрический эффект, используемый в передающих трубках телевизионных камер для преобразования оптического изображения в электрические сигналы.

Лазерные съемки – применение оптических генераторов излучения – лазеров – привели к разработке активных оптических съемочных систем. Основными компонентами аппаратного обеспечения лазера являются: транспортное средство или устройство (самолет, вертолет, штатив), система лазерного сканирования, GPS (Глобальная система позиционирования) и INS (Внутренняя система позиционирования).

Микроволновая съемка. Любое физическое тело создает тепловое радиоизлучение, обусловленное электродинамическими процессами в атомах и молекулах вещества, из которого состоит тело. Такое излучение называют радиотепловым. На нем основана микроволновая съемка. Она менее чувствительна к изменению метеорологических условий, смене дня и ночи по сравнению с ИК-тепловой съемкой.

Радиолокационные съемочные системы, – это активные всепогодные средства зондирования, основанные на использовании отражения зондирующих сигналов, излучаемых передатчиком радиолокационной станции от различных объектов на земной поверхности. За рубежом такую съемку называют радарной.

Обобщающая характеристика съемочной аппаратуры, установленной на современных искусственных спутниках Земли.



Рис. 60. Продольная съемка с ИСЗ

Развитие технических средств дистанционного зондирования Земли из космоса идет по двум взаимодополняющим направлениям. Первое из них основано на фотосъемке земной поверхности в видимой и ближней ИК-областях спектра и доставке отснятых фотопленок на Землю при посадке спускаемого аппарата космического корабля либо в сбрасываемых контейнерах. Это направление в России обеспечивали до конца XX столетия автоматические

(беспилотные) ИСЗ серии «Ресурс-А» (рис. 60).

Второе направление исследования природных ресурсов Земли из космоса связано с беспилотными оперативными ИСЗ. Они обеспечивают проведение съемок в видимом, инфракрасном и радиодиапазонах электромагнитного спектра нефотографическими съемочными средствами и передачу полученной информации со спутников по радиоканалам в оперативном режиме, в том числе в режиме реального масштаба времени, на наземные пункты приема информации, где производится ее оперативная обработка и доставка потребителям (рис. 61) Информация предназначена как для исследования быстротекущих процессов на поверхности Земли (например, пожаров), так и для решения задач, связанных с разносторонним изучением природных ресурсов (например, учетом текущих изменений в лесном фонде).

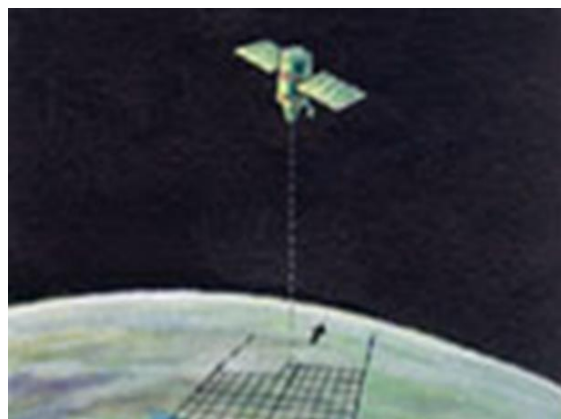


Рис. 61. Поперечная съемка с оперативного ИСЗ

Основными характеристиками космических снимков, как и аэрофотоснимков, являются величины пространственного, спектрального, радиометрического (для цифровых изображений) и временного разрешений.

Пространственное разрешение снимков определяется минимальным размером контрастного объекта на поверхности Земли, который может быть изображен на нем. А спектральное разрешение характеризуется способностью датчиков космических систем принимать отраженную от земной поверхности радиацию в установленных диапазонах электромагнитного спектра.

Различают космические снимки низкого, среднего и высокого пространственного разрешения, размер пикселей у первых равен примерно 1 мкм (и более), у вторых – находится в пределах до 1 м и у третьих – измеряется в единицах и десятках метров.

С величиной разрешения на местности связана величина возможного масштаба картографирования. Так, по космическим снимкам с разрешением 30 м возможно картографирование в масштабе 1:200000; 15–20 м – 1:100000; 10 м – 1:50000; 5 м – 1:25000; 2–3 м – 1:10000 и 1 м – 1:5000.

Спектральное разрешение – это ширина спектрального канала, к которому чувствителен датчик. Таким образом, спектральное разрешение – это характеристика каждого канала, а не всего снимка в целом. Первые снимки имели один канал с очень широким диапазоном чувствительности, который охватывал видимый и часть ближнего ИК-диапазона (т. е. спектральное разрешение составляло около 0,5 мкм).

Радиометрическое разрешение характеризует чувствительность датчика съемочной системы для различения градаций яркости. Оно выражается в количестве бит, в которых записывается принятая на борт спутника информация. Например, 8-битные изображения могут содержать информацию в диапазоне квантования от 0 до 255 градаций яркостей.

Временное разрешение характеризуется промежутком времени, в течение которого космическая система способна пролетать над одной и той же территорией и проводить повторную съемку. Так, спутник «Ресурс» может проводить повторную съемку через 14 суток.

Разновременные и повторные съемки из космоса позволяют организовать слежение или мониторинг за состоянием лесных ресурсов за длительный период времени и оценивать экологические последствия различных воздействий на лес.

5.3. Устройство аэрофотоаппарата и фотографические материалы

Аэрофотоаппарат является сложным оптико-механическим прибором (рис. 62). К основным агрегатам и частям аэрофотоаппарата относятся: аэрофотокамера, аэрофотоустановка, командный прибор, кассета, камерная часть и объективная часть (рис. 63).



Рис. 62. АФА-27Т-49

В аэрофотокамере расположены следующие узлы и механизмы: механизм перемотки аэрофотоплёнки, выравнивающий механизм, распределительный механизм, оптическая система, аэрофотошutter.

Аэрофотоустановка является промежуточным звеном между аэрофотокамерой и летательным аппаратом, на котором она установлена. Аэрофотоустановка служит для обеспечения требуемого

положения аэрофотокамеры в пространстве и уменьшает вредные воздействия внешних и внутренних возмущений.

Командный прибор входит в комплект автоматических аэрофотоаппаратов и служит для дистанционного управления и контроля за работой всего аэрофотосъемочного оборудования.

Кассета служит для размещения светочувствительного материала и механизмов перемотки и выравнивания аэрофотоплёнки.

Камерная часть предназначена для соединения кассеты и объективной части и кинематической связи механизмов.

Объективная часть содержит оптическую систему (объектив, светофильтр, отенитель и др.) для получения изображения снимаемой местности.

На аэрофотоснимках некоторых АФА фиксируются контрольные метки (кресты, нанесенные на поверхности выравнивающего стекла или стеклянные масштабные линейки с метками, размещенными вдоль сторон прикладной рамки), которые служат для учета искажений изображения, обусловленных деформаций фотоматериала и другими факторами (рис. 64).

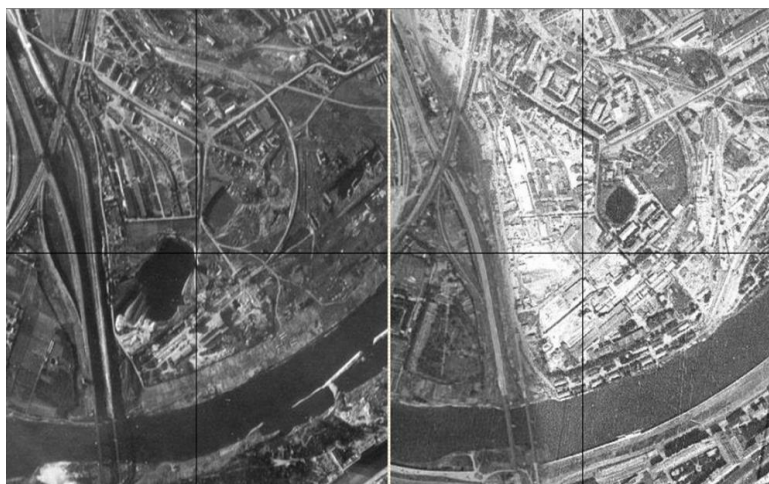


Рис. 64. Снимок с контрольными метками для учета искажений

Основными характеристиками фотообъектива являются фокусное расстояние, дисторсия, разрешающая способность, угол поля изображения, светораспределение по полю изображения.

Фокусное расстояние f_k объектива – это расстояние от задней узловой точки объектива до главного фокуса. Через главный фокус перпендикулярно

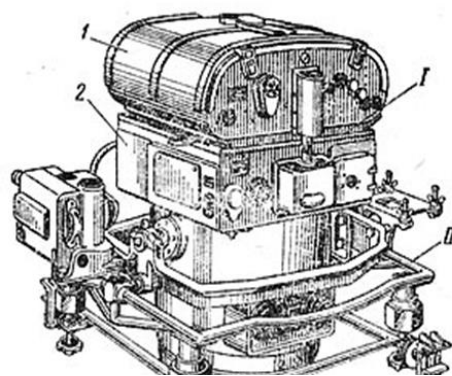


Рис. 63. Основные агрегаты АФА:

I – аэрофотокамера;

II – аэрофотоустановка;

III – командный прибор;

1 – кассета; 2 – камерная часть; 3 – объективная часть

На АФА также регистрируются сведения о времени полета и объекте фотографирования, типе АФА, его номер, фокусное расстояние, марка объектива, данные о показаниях приборов для определения элементов внешнего ориентирования снимков, номер кадра и др.

оптической оси проходит фокальная плоскость, в которой строится изображение и где располагается фотопленка.

В АФА применяют объективы с фокусными расстояниями от 20–30 мм до нескольких метров. Фокусное расстояние и высота фотографирования H определяют масштаб фотографирования:

$$\frac{1}{m} = \frac{F_k}{H},$$

где m – знаменатель масштаба фотографирования.

При низменной высоте фотографирования, чем больше фокусное расстояние, тем крупнее масштаб съемки. При аэросъемке лесов применяют обычно АФА с фокусными расстояниями объективов в пределах 10–30 см, при съемке из космоса – до 1 м и более.

Важной характеристикой объективов АФА является их **дисторсия** – ошибка или погрешность изображения в оптической системе, при которой нарушается подобие между объектом и его изображением. Дисторсия – это частный случай аберрации, что, в свою очередь, представляет собой отклонение хода реального луча от идеального.

Схематически дисторсия выглядит следующим образом (рис. 65).

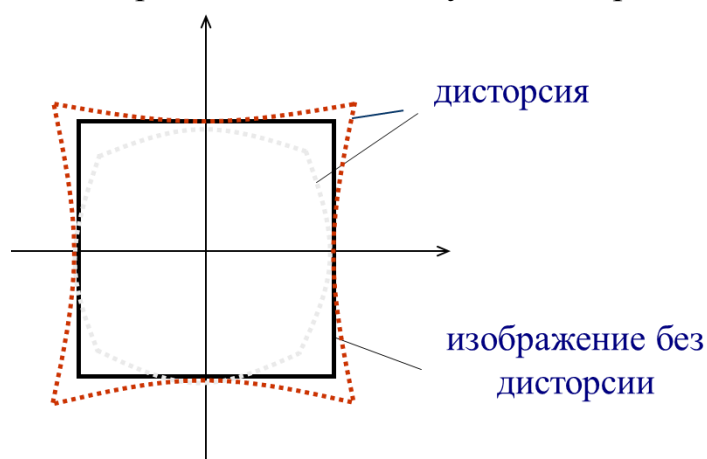


Рис. 65. Схема изображения с дисторсией и оригинала

Важной характеристикой объективов является их **разрешающая способность**, под которой понимают свойство воспроизводить отдельно оптическое изображение двух близко расположенных точек или линий, при ее определении используют штриховые и радиальные миры (рис. 66).



Рис. 66. Различие разрешающей способности снимка

В центре снимка изображение имеет разрешающую способность больше, чем на краю. Поэтому при дешифрировании мелких деталей снимаемых объектов предпочтительнее использовать центральные части снимков. Правда, имеются объективы, разрешающая способность которых не изменяется по полю изображения.

Еще одной характеристикой объектива является **угол изображения объектива** – угол, образованный лучами, соединяющими диагональ кадра с

задней главной точкой объектива, т. е. точкой пересечения задней главной плоскости с оптической осью (рис. 67). Угол изображения характеризует пространство, которое охватывает объектив при съемке.

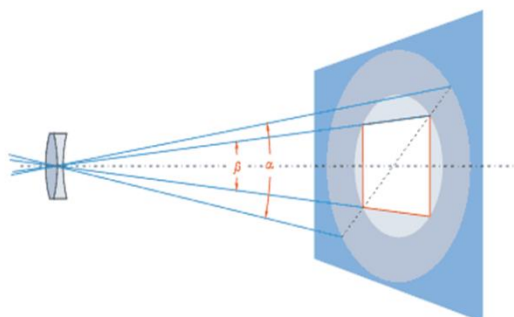


Рис. 67. Угол изображения (β) и угол зрения (α) объектива

Характеристикой фотообъективов, определяющей их фотометрические свойства, является **светораспределение** в плоскости снимка (рис. 68). Светораспределение по полю изображения – это освещенность, создаваемая в фокальной плоскости. Она

уменьшается на краях изображения.

Важнейшей деталью АФА, применяемых для аэрокосмических съемок, является светофильтр. Свойства светофильтра зависят от цвета и густоты (плотности) окраски, а также кратности. Цвет окраски определяет, какие лучи спектра пропускает и поглощает светофильтр, а густота – с какой интенсивностью (чем гуще окраска, тем сильнее поглощаются лучи). Кратность показывает, во сколько раз должна быть увеличена выдержка по сравнению с выдержкой при фотографировании без светофильтра.

Для исключения влияния атмосферной дымки чаще применяют желтые светофильтры ЖС-18 и компенсационные, поглощающие коротковолновую часть спектра (до 450–500 нм) – фиолетовые и синие лучи.

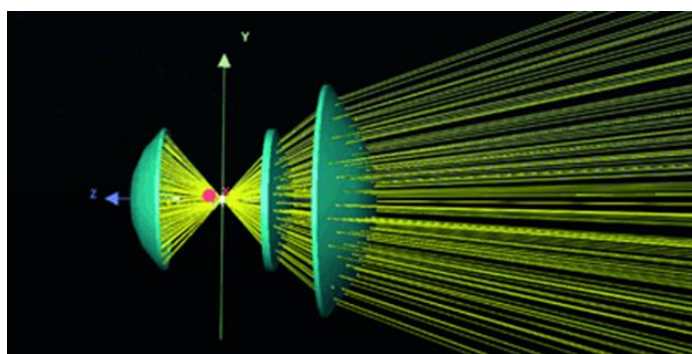


Рис. 68. Светораспределение

Требования к АФА:

- дисторсия должна быть меньше 1мкм;
- точность выравнивания фотопленки – 1мкм;
- сдвиги и вибрация аппарата – не больше 50 мкм;
- компенсация сдвига изображения;
- элементы внутреннего ориентирования камеры должны быть постоянны.

5.4. Фотографические материалы

Представим структуру аэрофотосъемки в виде соответствующих слоев. Для общего случая будем считать, что пленка состоит из нескольких слоев, например, светочувствительных к трем основным цветам: синему, зеленому и красному (рис. 69).



Рис. 69. Структура фотопленки

Точно такая же структура и в фотобумаге. То есть фотопленка состоит из основы и светочувствительного слоя (эмульсии).

Основными характеристиками фотопленки являются общая и спектральная светочувствительность, вуаль, контрастность, широта, разрешающая способность.

Эти качественные показатели пленки устанавливают по результатам сенситометрических испытаний (измерений свойств светочувствительных материалов) при помощи специальной аппаратуры: сенситометра, проявительного прибора и денситометра.

Общая светочувствительность пленки – способность ее после экспонирования и проявления чернеть, т. е. достигать определенной оптической плотности.

Спектральная чувствительность, или цветочувствительность (чувствительность пленки к определенным зонам спектра), определяет свойства эмульсии передавать цвета фотографируемых объектов разной

степенью почернения на черно-белых пленках или различными цветовыми оттенками на цветных и спектральных пленках.

Вуаль – почернение, вызванное не светом, а проявителем.

Контрастность пленки характеризует способность эмульсии передавать различие в яркости отдельных частей снимаемых объектов.

Широта – это динамический диапазон фотоматериала, определяющий способность светочувствительного материала правильно передавать яркость снимаемого объекта.

Разрешающая способность пленки (материалов съемки, съемочных систем) характеризуется наибольшим числом линий, приходящихся на 1 мм оптического изображения, при наличии одинаковой ширины промежутков между ними.

Реальная разрешающая способность аэрофотонегативов обычно составляет 10–20 линий/мм, космических фотонегативов – около 50 линий/мм. Разрешающая способность снимков ниже. Так, для аэрофотоснимков она обычно находится в пределах от 5 до 15 линий/мм.

В более детальных исследованиях определяются следующие характеристики фотопленки: **зернистость и пограничная кривая.**

Зернистость – это неоднородность почернения равномерно экспонированного и одинаково проявленного участка изображения при его увеличении.

Пограничная кривая характеризуется четкостью изображения, или резкостью. Если изображение резкое, то в нем лучше передаются детали.

Фотопленки, которые применяют при аэрокосмических съемках, подразделяются на **черно-белые** (однослойные) – чаще всего применяют при лесоинвентаризации простых по строению и породному составу лесов или при учете текущих изменений в составе лесного фонда в результате изменения границ участков покрытых лесной растительностью земель; **цветные** (трехслойные) с воспроизведением объектов в цветах, близких к натуральным, и **цветные спектральные** (двух- и трехслойные) с воспроизведением объектов в условных цветах (рис. 70).



Рис. 70. Различные виды фотопленок

Черно-белые фотопленки в зависимости от сенсibilизации (спектральная чувствительность фотоэмульсии достигается путем введения в

нее специальных органических веществ оптических сенсibilизаторов) подразделяются на:

- несенсибилизированные (простые), у которых эмульсионный слой чувствителен только к фиолетовым, синим и голубым лучам в зонах спектра $\lambda=390-505$ нм;
- ортохроматические, чувствительные к зеленым и желтым лучам при $\lambda \leq 585$ нм с некоторым понижением чувствительности в пограничной зоне голубых и зеленых лучей ($\lambda=500-525$ нм);
- изоортохроматические, чувствительные к тем же лучам, но без понижения чувствительности к зеленой зоне;
- панхроматические, чувствительные ко всей зоне видимой области спектра ($\lambda=400-730$ нм), но с понижением чувствительности в зоне зеленых лучей ($\lambda=500-550$ нм);
- изопанхроматические, имеющие такую же чувствительность, как и панхроматические, но почти без понижения чувствительности в зоне зеленых лучей;
- инфрахроматические, имеющие две области чувствительности – в видимой (синей) и невидимой (ИК) частях спектра ($\lambda > 750$ нм);
- панинфрахроматические, чувствительные ко всем лучам видимой области спектра и частично в ИК-зоне – невидимой части спектра.



Рис. 71. Обычный и инфрахроматический снимок

На рис. 71 представлены аэроснимки одного и того же участка местности: слева – обычный, справа – инфрахроматический. На рисунке справа деревья четко разделены на хвойные (более темные) и лиственные (более светлые), темное пятно в центре – водоем, который на обычном снимке сливается с фоном.

Цветные фото пленки с натуральной цветопередачей (ЦН-1, ЦН-3, ДС-5 и др.) состоят из трех эмульсионных слоев. Верхний – светочувствительный слой, представляющий собой несенсибилизированную эмульсию, наиболее чувствителен к синей зоне спектра, средний – ортохроматический – к зеленым лучам, а нижний – панхроматический – к красным лучам.

Аэрофотоснимки с цветных аэропленок с натуральным воспроизведением цветов, полученные в летнее время, менее информативны по цветопередаче лесных объектов по сравнению с осенними и ранневесенними снимками.

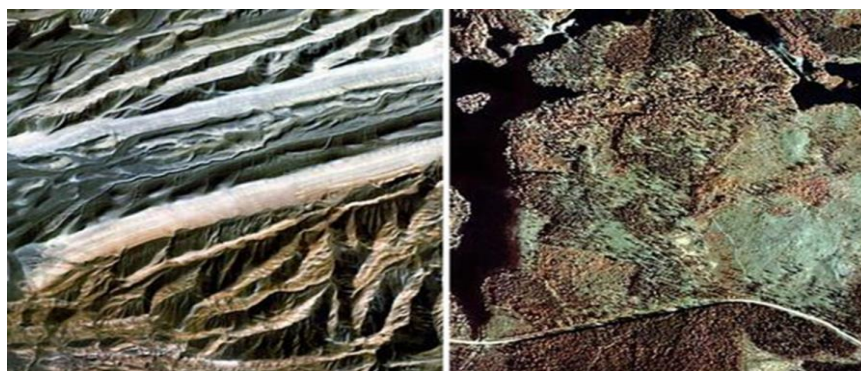


Рис. 72. Снимок с натуральным и преобразованным цветовоспроизведением местности

На рис. 72 представлены аэроснимки с натуральным (цветные) и преобразованным (спектрозональные) цветовоспроизведением местности, полученные в летнее время.

Слева – среднегорный участок с обнаженными пестроцветными грядами коренных пород (мергели – красноватые, песчаники – серые). Справа – равнинный озерно-болотный участок с древесно-кустарниковой растительностью (ельники – зеленые, березняки – кирпично-красные).

Цветные спектрозональные фотопленки – двухслойные (СН-2М, СН-6М) и трехслойные (С-15, СН-23). В лесном дешифрировании часто применяют фотопленку СН-6М. Она имеет два светочувствительных слоя: инфрахроматический, чувствительный к синим и красным лучам, с зоной светочувствительности 670–800 нм, и панхроматический, с зоной спектральной светочувствительности 510–670 нм (вся видимая область спектра). Общая светочувствительность этой пленки составляет 300–400 ед., разрешающая способность – 68 линий/мм.



Рис. 73. Аэроснимки с натуральным (цветные) и преобразованным (спектрозональные) цветовоспроизведением местности, полученные в летнее время

На рис. 73 представлены цветные и цветные спектрозональные снимки. Слева на цветном снимке дома распознаются уверенно, древостои по породам не разделяются, посевы мало дифференцируются. На спектральном снимке (справа) дома распознаются не полностью, древостои разделяются благодаря условной цветопередаче (сосняки – темно-зеленые, дубравы – желто-коричневые), посевы дифференцируются.

Негативные и позитивные процессы.

После фотографирования проходят следующие негативные процессы:

- проявление;
- промывка;
- фиксирование;
- окончательная промывка;
- сушка.

В результате этого получается аэронегатив.

Позитивный процесс – это процесс получения снимка или негатива. Для получения позитива осуществляется фотопечать.

Фотопечать бывает контактная и неконтактная. При контактной печати используется специальный станок.

Бесконтактная – осуществляется проекторами. Проекторы увеличивают или уменьшают изображение, а при съемке желательно, чтобы позитив имел такой же масштаб, что и негатив.

После контактной печати осуществляется позитивный процесс, т. е. над фотобумагой выполняются следующие операции: проявление изображения, промывка, фиксация, окончательная промывка, сушка. В итоге получается позитив (рис. 74).

Цифровые камеры против аналоговых. В отличие от бытового фотографирования, где цифровые камеры в последнее время окончательно вытеснили пленочные, в области аэрофотосъемки пока все не настолько однозначно. Наиболее широко распространенная в настоящее время гибридная технология съемки на пленку с последующим сканированием обеспечивает впечатляющие точность и разрешение. Нужно еще и отметить, что собственная разрешающая способность пленки (особенно цветной) часто оказывается ниже возможностей сканеров. Поэтому разработчикам цифровых аэрофотокамер приходится применять довольно сложные технические решения, чтобы достигнуть разрешения, соизмеримого с пленочным. Поскольку прогресс не стоит на месте, ясно, что в течение ближайшего десятилетия цифровая технология аэросъемки догонит пленочную по разрешающей способности. Тем более что по остальным параметрам ее преимущества очевидны. К ним относятся: более высокая оперативность выполнения работ за счет исключения процесса проявления и сканирования; более высокое радиометрическое

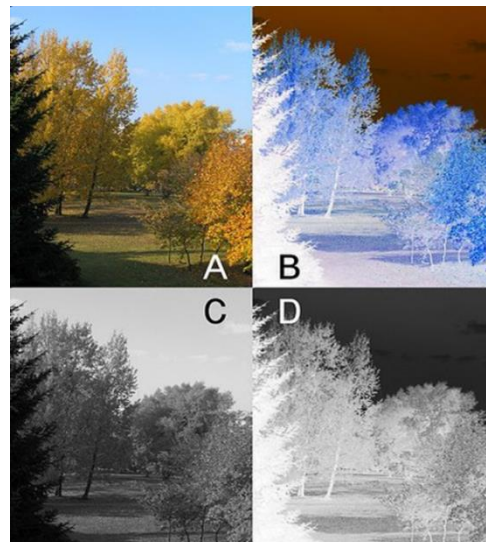


Рис. 74. Позитивные (А, С) и негативные (В, D) снимки

разрешение, которое благотворно сказывается на качестве изображения; отсутствие затрат на дорогостоящие расходные материалы. Возможность одновременной съемки не только в видимом, но и в ближнем инфракрасном диапазоне также является преимуществом, особенно важным для целей ДЗЗ.

Контрольные вопросы

1. Какие аппараты преимущественно используются для проведения аэрокосмических съемок?
2. Каково техническое обеспечение летательных аппаратов, используемых в проведении аэрокосмических съемок?
3. Как устроен фотоаппарат? Каков характер его использования?
4. Сколько контрольных точек необходимо для регистрации изображения?

6. ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АЭРО- И КОСМОСНИМКОВ

6.1. Понятие аэрокосмического снимка

Аэрокосмический снимок – это двумерное изображение реальных объектов, которое получено по определенным геометрическим и радиометрическим законам путем дистанционной регистрации яркости объектов (рис. 75).

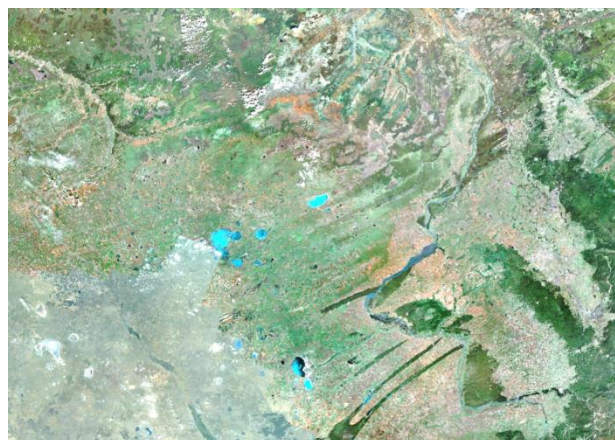


Рис. 75. Аэрокосмический снимок

Аэроснимки предназначены для исследования видимых и скрытых объектов, явлений и процессов окружающего мира, а также для определения их пространственного положения.

Характеристика аэроснимков:

Размеры – 18×18 см, 24×24 см и 30×30 см.

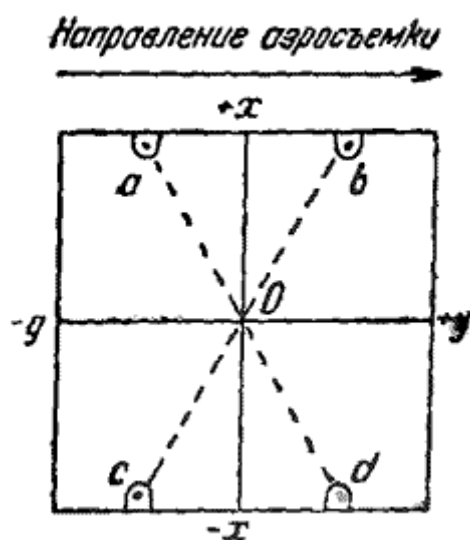


Рис. 76. Координатные оси снимка x и y ; a , b , c , d – координатные метки, o – главная точка снимка

По краям аэроснимка расположены особые метки (индексы), находящиеся на прикладной рамке камеры (индексы a , b , c и d). Точка пересечения прямых, соединяющих диаметрально противоположные индексы снимка, называется **главной точкой снимка o** и принимается за начало координат (рис. 76).

Аэрофотоаппарат заряжается пленкой на 150–300 снимков. Полученный негатив имеет порядковый номер. Нумерация ведется в порядке съемки последовательно по маршрутам.

Снимки каждого маршрута располагаются в порядке съемки по номерам.

Если аэросъемка производилась маршрутами с запада на восток, принято монтировать снимки слева направо в каждом маршруте и сверху вниз по маршрутно (рис. 77).

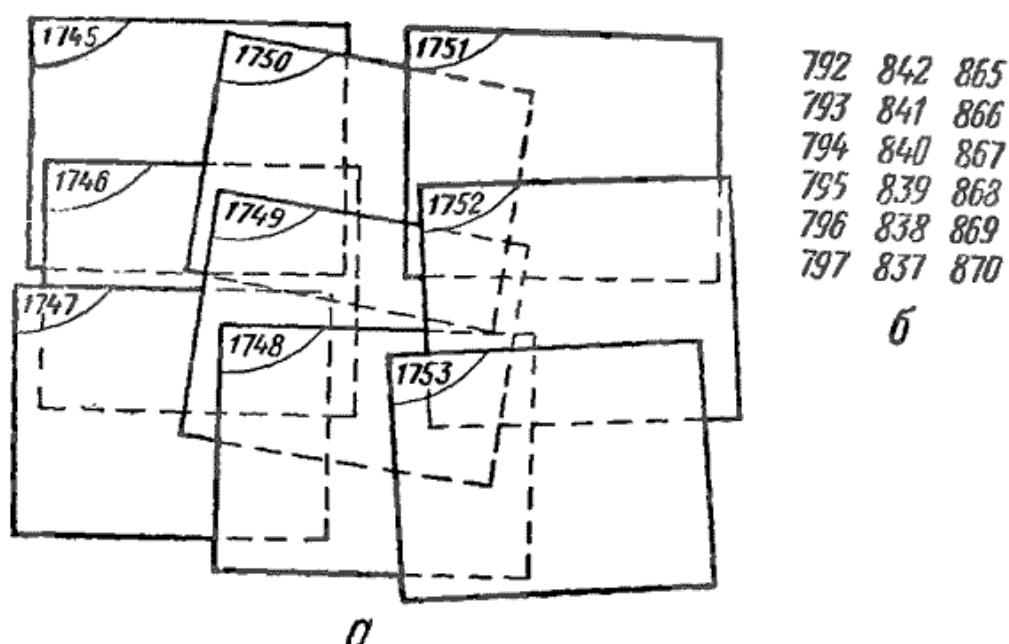


Рис. 77. Схемы накидного монтажа: а – графическая, б – цифровая (по А. Добровольскому и С. Александрову)

Если аэросъемка производилась маршрутами с севера на юг, снимки монтируют сверху вниз в каждом маршруте и слева направо помаршрутно.

Диапазон масштабов аэрокосмических снимков – от 1:1000 до 1:1000000000. При этом наиболее распространенные масштабы аэрофотоснимков лежат в пределах 1:10000–1:50000, а космических – 1:200000–1:10000000.

Все аэрокосмические снимки принято делить на аналоговые (обычно фотографические) и цифровые (электронные) (рис. 78).

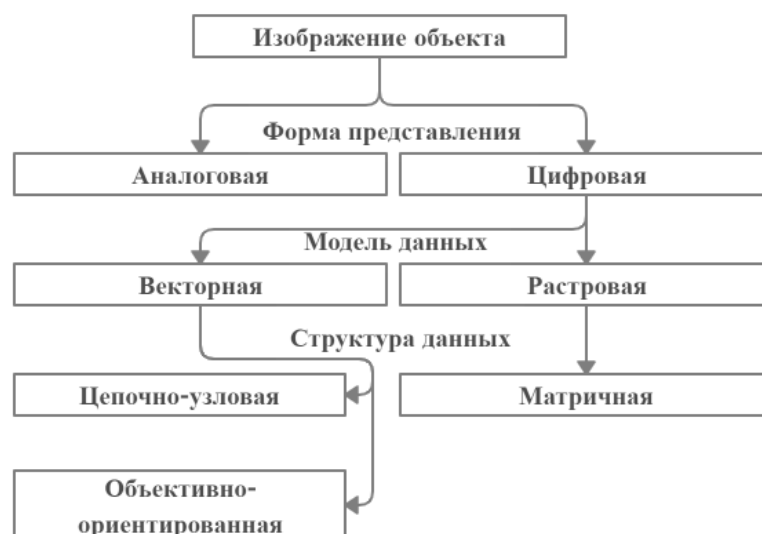


Рис. 78. Способы представления изображений

Аналоговая форма представления изображения объектов используется с незапамятных времен и предполагает получение его каким-либо образом на физическом носителе – бумаге, фотобумаге, фотопленке и др. Во многих случаях аналоговая форма и сегодня является основной, особенно там, где важна юридическая значимость изображения либо если оно необходимо для использования в нестационарных условиях. Фотографируя местность, получают изображение в виде аэронегатива или позитивного отпечатка, полученного с аэронегатива фотографическим путем, который характеризуется более четким отображением как оптических плотностей элементов местности, так и взаимного положения объектов и их частей.

Аналоговое изображение характеризуется форматом кадра, величиной фокусного расстояния объектива аэрокамеры, а также погрешностями, возникающими как при его построении с помощью объектива, так и при фиксации на светочувствительном слое. Основными из них считают разрешающую способность системы объектив-негатив и величину некомпенсируемой дисторсии.

Цифровая форма изображения возникла вместе с электронными вычислительными машинами и используется для представления изображения в памяти ЭВМ и на магнитных носителях.

Векторная форма цифрового изображения предполагает представление его с помощью набора примитивов и их комбинаций – точек, векторов, граней, ребер и др. Эта форма широко используется в цифровой картографии и предполагает, что положение точек изображения задано в некоторой координатной системе, выбираемой пользователем в зависимости от характера решаемых задач. Элементы векторного изображения представляются в одной из двух структур. Эта форма не является основной, а используется для представления конечных результатов.

Растровая форма цифрового изображения предполагает представление его в виде некоторой матрицы, соответствующей плоскости исходного изображения и состоящей из квадратных ячеек одинакового размера, являющихся наименьшими адресуемыми элементами. Каждый такой элемент, называемый пикселем, соответствует определенному участку исходного изображения и характеризуется набором оптических параметров – цветом, плотностью, яркостью (интенсивностью) и т. д.

Аэрокосмические снимки как информационные модели местности характеризуются рядом свойств, среди которых выделяют изобразительные, радиометрические (фотометрические) и геометрические.

Геометрические параметры аэрофотосъемки:

1. Продольные и поперечные перекрытия. Рабочая область негатива.
2. Оценка фотограмметрического и фотографического качества съемки.
3. Составления проекта летосъемочных работ.
4. Технические требования к топографической съемке.

В результате съемки должны определить координаты x , y , z местности, т. е. решить пространственную засечку.

В нашем случае пространственная засечка определена пространственными лучами S_1A и S_2A . Для точки В нельзя построить засечку, потому что она не отражается на снимке из точки S_2 . Такое условие должно осуществляться на всем маршруте аэрофотосъемки или блоке АФС (рис. 79).

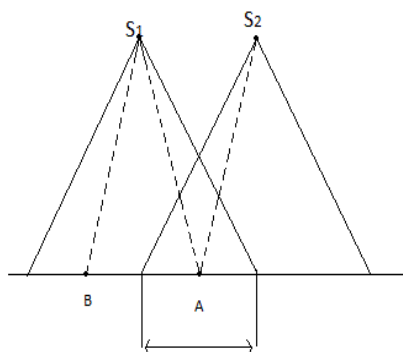


Рис. 79. Схема блока АФС

Для осуществления таких засечек по всему объекту осуществляется продольное перекрытие (рис. 80). Обычно оно составляет не менее 60 %.

$P_x = \frac{1}{1_x} \cdot 100\%$ – продольное перекрытие.

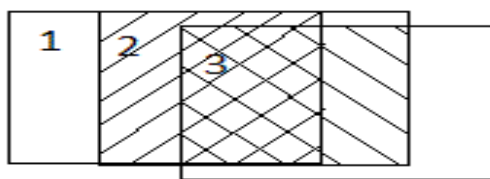


Рис. 80. Схема продольного перекрытия

Наличие области тройного перекрытия является обязательным условием решения пространственных засечек.

Снимки 1,2,3 с тройным перекрытием называются триплет. Поперечное перекрытие нужно для того, чтобы отдельные маршруты соединить в блоки.

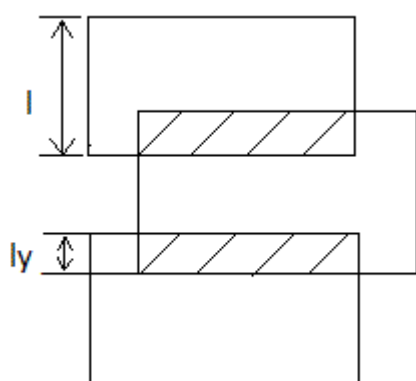


Рис. 81. Выделение рабочей зоны аэронегатива

$P_y = \frac{l_y}{l} \cdot 100\%$ – поперечное перекрытие. Рабочая зона аэронегатива определяется осями зон продольного и поперечного перекрытия (рис. 81).

Для оценки фотограмметрического качества АФС составляется накидной монтаж (рис. 82). Для составления накидного монтажа снимки располагают таким образом, чтобы по продольным и поперечным перекрытиям совпадали одноименные контуры.

По накидному монтажу определяют параметры:

– обеспечение

границ съемочного участка;

– прямолинейность маршрута;

– отклонение перекрытий от заданной величины;

– непараллельность продольной стороны снимка к продольному базису.

Оси крайних маршрутов должны идти по границам участков. Маршрут должен переходить

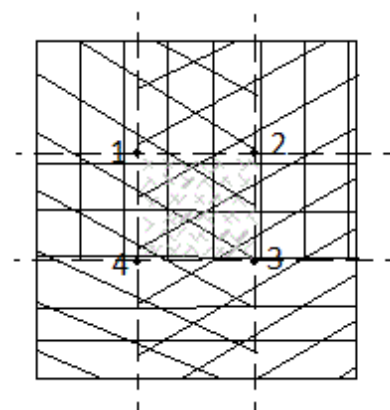


Рис. 82. Накидной монтаж

поперечную границу на один базис. Базис – это расстояние между смежными точками фотографирования.

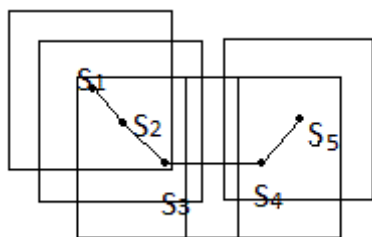


Рис. 83. Стрела прогиба

Непрямолинейность маршрута определяется стрелой прогиба (рис. 83).

$$K = \frac{\Delta}{L} \cdot 100 \% \text{ – непрямолинейность,}$$

L – длина маршрута

Непараллельность к базису показана на рис. 84.

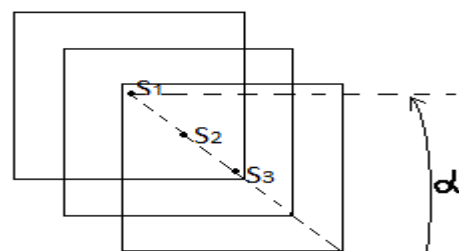


Рис. 84.

Непараллельность к базису

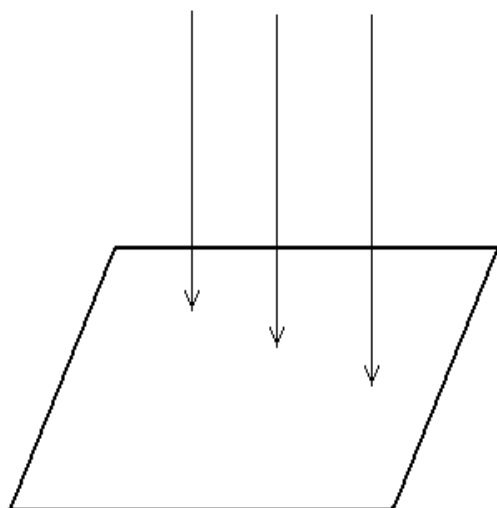
6.2. Понятие о проекции изображения

Построение изображения какого-либо объекта (предмета) на любой поверхности по определенному закону называется проектированием, а полученное изображение – проекцией.

Виды проектирования весьма разнообразны. Так, например, для получения плана небольшого участка земной поверхности все ее точки проектируют на горизонтальную поверхность отвесными линиями. Такой способ проектирования называется прямоугольным (ортогональным), а полученная проекция – прямоугольной, или ортогональной.

Так, топографическая карта – ортогональная проекция местности, а аэроснимок – центральная проекция (рис. 85).

а)



б)

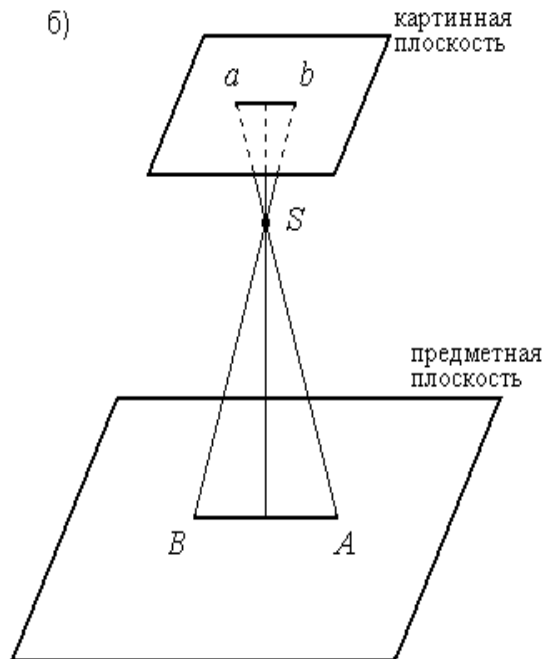


Рис. 85. Проекция: а) ортогональная; б) центральная

Ортогональная проекция характеризуется двумя основными свойствами: расстояния на карте пропорциональны горизонтальным проложениям соответствующих расстояний на местности; углы с вершинами в любой точке карты равны соответствующим горизонтальным углам на местности.

В отличие от карты на аэрофотоснимках изображение объектов местности строится проектирующими лучами, пересекающимися в объективе аэрофотоаппарата.

Проекция, в которой изображение предметов на плоскости получается с помощью проектирующих лучей, пересекающихся в одной точке, называется центральной, а точка пересечения этих лучей – центром проекции или узлом связки. Поэтому изображение аэрофотоснимка – центральная проекция местности.

Рассмотрим детально центральное проектирование на примере аэрокосмических съемок.

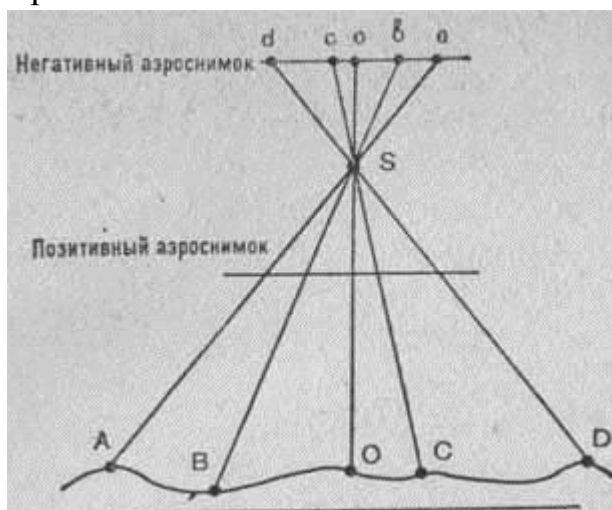


Рис. 86. Основные понятия аэрофотосъемки: S – центр проекции, задняя узловая точка аэрофотоаппарата; Aa, Bb, Cc, Dd – световые лучи; o – главная точка снимка; $So=t$ – фокусное расстояние объектива АФА; SO – высота фотографирования; a, b, c, d – изображение на светочувствительном слое

Оптический центр объектива фотоаппарата (съёмочной системы) служит центром проекции, через который проходят все проектирующие лучи, исходящие от точек объекта в момент его фотографирования, а фотонегатив – плоскостью, на которой строится изображение по закону центрального проектирования. Проявленный фотографический негатив является центральной проекцией (перспективной) сфотографированного объекта (рис. 86).

При аэросъемках объектом фотографирования служит земная поверхность, а результатом съемки является аэрофотоснимок (негатив или позитив), представляющий собой центральную проекцию снятой местности.

Изображение на аэроснимках объектов местности, в том числе деревьев, обуславливается прежде всего их геометрическими свойствами – формой и размером.

Формы и размеры местности изображаются на аэрофотоснимках в соответствии с их масштабом, разрешающей способностью и с геометрическими законами центральной проекции. Если фотографируемая

местность плоская, и объекты местности не имеют высоты, то изображение их, полученное при отвесном положении оптической оси съемочной камеры, будет подобно им, т. е. центральная проекция будет совпадать с ортогональной проекцией.

Однако в большинстве случаев снимаемые объекты из-за их высоты, неровностей земной поверхности, наклона оптической оси в момент аэрофотосъемки изображаются искаженно.

Далее рассмотрим эти два варианта.

6.3. Элементы центральной проекции аэрофотоснимка

Аэроснимок представляет собой изображение земной поверхности в центральной проекции. Центром проекции является передняя узловая точка S объектива фотокамеры, оригиналом является поверхность земли. Картинной плоскостью служит плоскость снимка.

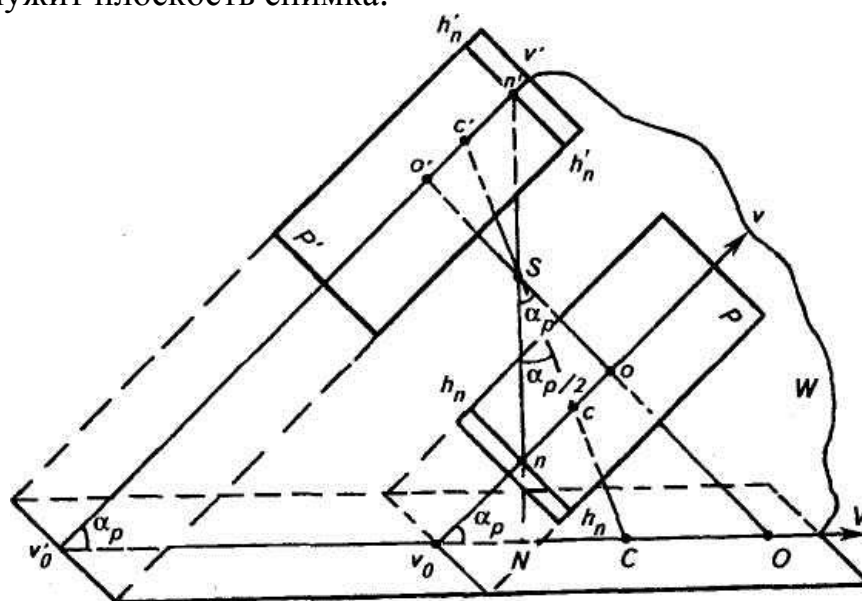


Рис. 87. Центральная проекция аэрофотоснимка

Прямая линия OS , проходящая через узловую точку объектива перпендикулярно к плоскости снимка, называется **оптической осью камеры**. Пересечение оптической оси с плоскостью снимка называется **главной точкой снимка «о»**. **Надирной линией** SN называется отвесная линия, проходящая через центр проекции, **точкой надира** n — точка пересечения надирной линии с плоскостью снимка или с ее продолжением. **Главным вертикалом** называется вертикальная плоскость, проходящая через главную точку снимка и надирную линию. След пересечения главного вертикала с картинной плоскостью называется **главной вертикалью** vv' . **Главной горизонталью** hh' называется линия, проходящая через главную точку снимка перпендикулярно главной вертикали.

Аэрофотоснимки, полученные при наклонном положении оптической оси аэрофотоаппарата, имеют более сложные зависимости между элементами центральной проекции, и положение аэрофотоснимка в пространстве в этом

случае определяется рядом плоскостей, линий и точек, которые характеризуются особыми свойствами.

На рис. 87 точка пересечения биссектрисы S_c угла α (угол наклона оптической оси аэрофотоаппарата) с плоскостью аэрофотоснимка определяет точку нулевых искажений c . Ее положение на аэрофотоснимке может быть установлено на основании определения отрезка до главной точки по формуле

$$oc = \frac{oS \cdot \operatorname{tg} \alpha}{2} = \frac{f_k \cdot \operatorname{tg} \alpha}{2}.$$

В точке нулевых искажений масштаб по всем направлениям равен масштабу горизонтального аэрофотоснимка плоской местности, и направления, проведенные от точки нулевых искажений к краям аэрофотоснимка, из-за наклона оптической оси АФА в момент фотографирования не искажаются.

На горизонтальном аэрофотоснимке (при отсутствии угла наклона оптической оси аэрофотоаппарата) точки надира n и нулевых искажений c совпадают с главной точкой «о».

Для составления картографических материалов и выполнения некоторых других работ необходимо знать положение каждой изобразившейся на снимке точки в системе геодезических координат. Для этого нужно установить положение снимка в плоскости и пространстве в момент съемки. Величины, определяющие положение снимка в момент съемки относительно системы координат, называют элементами ориентирования снимка. Различают элементы внутреннего и внешнего ориентирования.

Элементы внутреннего ориентирования определяют положение

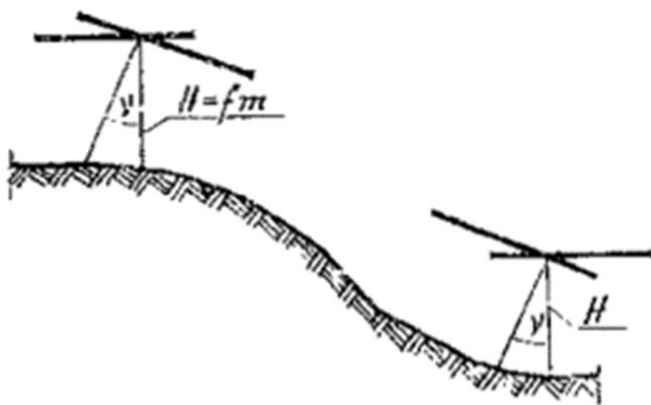


Рис. 88. Схема аэросъемки по вертикальной кривой с помощью самолета

снимка относительно центра проекции S и являются постоянными для данной камеры. К элементам внутреннего ориентирования относятся:

1) фокусное расстояние камеры f_k ;

2) начало координат снимка в прямоугольной системе — главная точка снимка «о»;

3) координатные оси снимка xx и yy , параллельные сторонам снимка. За ось y принимается линия, наиболее близкая к направлению съемки.

Элементы внешнего ориентирования, определяющие положение снимка в пространстве в момент съемки, таковы:

1) положение объектива в прямоугольной пространственной системе координат, определяемое координатами X , Y , T и H (высота) объектива;

2) дирекционный угол (азимут) плоскости главного вертикала c ;

3) угол α отклонения оптической оси от отвесной линии в момент съемки;

4) угол поворота плоскости снимка вокруг оптической оси, или угол крена.

На рис. 88 представлена схема аэросъемки по вертикальной кривой с помощью самолета.

6.4. Масштабы снимка

Аэрофотоснимок горизонтального участка плоской местности, полученный при отвесном положении оптической оси АФА, представляет собой контурный план этой местности, пригодный для различных измерений.

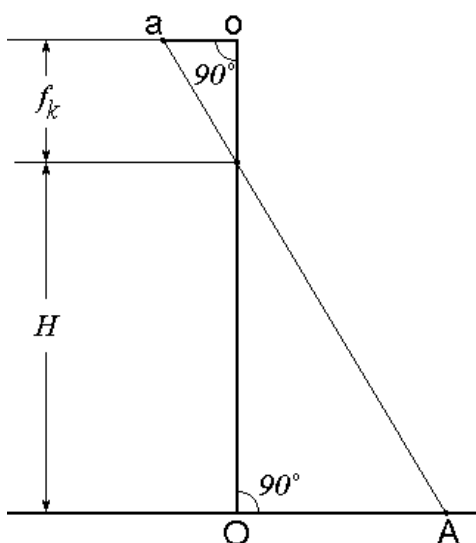


Рис. 89. Масштаб горизонтального аэрофотоснимка

Под масштабом изображения местности понимают отношение отрезка прямой этого изображения к соответствующему отрезку прямой на местности.

Масштаб такого аэрофотоснимка называется горизонтальным (рис. 89), выражается отношением

$$\frac{1}{m} = \frac{oa}{OA} = \frac{f_k}{H},$$

где m – знаменатель численного масштаба аэрофотоснимка;

oa – отрезок на снимке;

OA – отрезок на местности;

f_k – фокусное расстояние АФА;

H – высота полета самолета.

При ровной горизонтальной местности эта формула пригодна для любого отрезка в любой части снимка. В этом случае масштаб является величиной постоянной, и снимок представляет план местности.

Если же оптическая ось отклонится от отвесного положения, то полученный аэрофотоснимок будет иметь в каждой своей точке разный масштаб. В этом случае можно говорить только о среднем масштабе снимка.

Масштабы планового и перспективного аэрофотоснимков не равны масштабу соответствующего горизонтального аэрофотоснимка. Так как углы наклона планового аэрофотоснимка малы (до 3°) и искажения невелики, масштаб для практических целей определяется по той же формуле, что и для горизонтальных снимков.

Масштаб перспективного снимка определяется по более сложной формуле, учитывающей угол наклона аэроснимка и угол, образованный направлением съемки и направлением из главной точки на искомую точку.

6.5. Искажения изображений на аэрофотоснимках

Фотографируемые объекты местности из-за высоты, неровностей земной поверхности, а также наклона негатива в момент аэрофотосъемки изобразятся искаженно, т. е. точки и объекты на аэрофотоснимке получаются смещенными за счет превышения местности или высоты предмета и угла наклона аэрофотоснимка.

Участок местности изобразится на аэрофотоснимке точно так же, как на плане, только тогда, когда он имеет плоскую горизонтальную поверхность, а оптическая ось АФА в момент фотографирования занимает вертикальное положение. В любом ином случае изображение на аэрофотоснимке будет искажено. При этом искажения бывают линейные и угловые.

Линейное перспективное искажение. На любом снимке оно равно нулю, когда точка лежит на главной горизонтали.

Максимальное значение линейного перспективного искажения получается, когда точка лежит на главной вертикали. Формула подсчета линейного перспективного искажения по главной вертикали:

$$A_1 = \left(\frac{r^3}{f_k}\right) \cdot \operatorname{tg} \alpha.$$

Пример подсчета: $f_k = 100$ мм; $\alpha = 3^\circ$;

при $r = 20$ мм; $A_1 = 0,2$ мм; при $r = 100$ мм; $A_1 = 5,2$ мм.

На рис. 90 изображены искажения на аэроснимке, вызванные колебаниями высот местности aa_0 и bb_0 – линейные величины искажения в положениях изображений точек A и B на аэроснимке, VV – средняя уровенная поверхность.

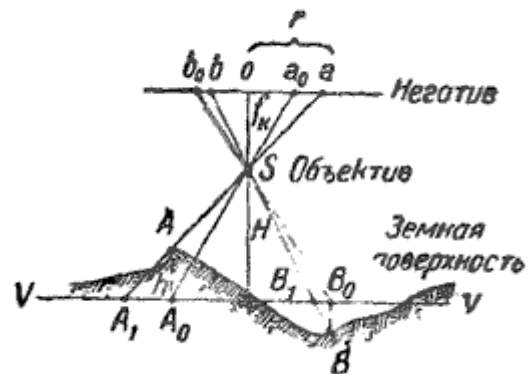


Рис. 90. Искажения на аэроснимке

Угловое перспективное искажение. Искажение это весьма незначительно, если вершина угла совпадает с главной точкой планового снимка.

Смещение точки на снимке за счет рельефа возникает вследствие колебания высот местности (по отношению к какой-либо средней плоскости).

Как видно на рис. 91, изображение вершины горы A на аэроснимке получается в точке a , хотя следовало бы получить изображение горизонтальной проекции A_0 вершины горы в точке a_0 снимка. Отрезок aa_0 есть линейное искажение (смещение точки a_0), вызванное рельефом.

Направление смещения точки, вызванного рельефом, зависит от знака превышения h данной точки над средней плоскостью. Изображения всех точек, расположенных выше средней плоскости, смещены по направлению от главной точки снимка, и наоборот.

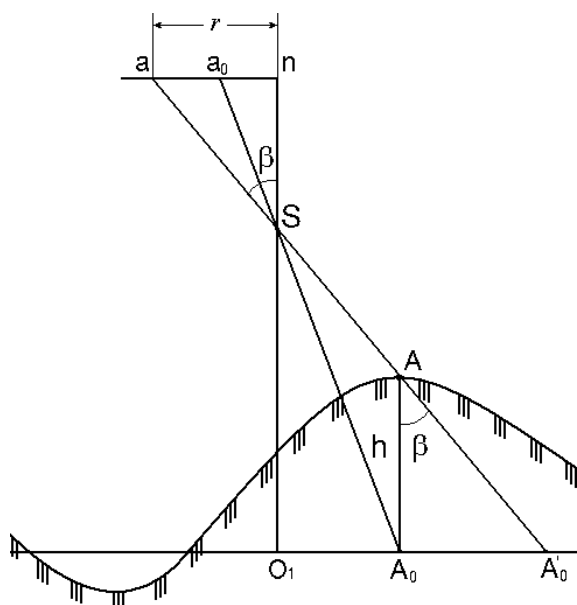


Рис. 91. Изображение рельефа на аэроснимке

В точке надира n при любых значениях превышений ошибка, вызванная рельефом, равна нулю.

Для подсчета ошибки A_2 , вызванной рельефом, на плановом снимке служит формула

$$A_2 = \frac{r \cdot h}{H},$$

где h – превышение точки над средней плоскостью (отрезок AA_0 на рисунке); r – расстояние от главной точки (отрезок oa); H – высота полета.

Пример: $H = 3000$ м;

$r = 100$ мм при $h = +20$ м; $A_2 = +0,7$ мм;

при $h = +100$ м; $A_2 = +3,3$ мм;

$h = +100$ м при $r = 30$ мм; $A_2 = +1,0$ мм;

при $r = 50$ мм; $A_2 = +1,7$ мм.

Пользуясь этой формулой, можно подсчитать также радиус r окружности с центром в главной точке планового снимка, внутри которой ошибка A_2 , вызванная рельефом, не превышает некоторой заданной величины. Пример подсчета: $H = 4000$ м;

$h_{\text{макс.}} = +40$ м; $A_{2 \text{ макс.}} = 0,5$ мм;

$r = \frac{A_2 \cdot H}{h}$; $r = 50$ мм.

В приведенных расчетах использовано руководство А. Добровольского и С. Александрова «Аэрофототопография», 1939.

Рабочая площадь аэрофотоснимка. Из сказанного выше видно, что величина линейных искажений изображений на аэрофотоснимках тем больше, чем больше расстояние от центра снимка (главной точки) к его краям, т. е. все искажения увеличиваются по мере увеличения расстояния r . Поэтому при дешифрировании и создании фотопланов и лесных карт используют среднюю, наименее искаженную часть аэрофотоснимка, называемую рабочей площадью аэрофотоснимка, которую в практике определяют путем проведения прямых линий посередине зон продольных и поперечных перекрытий. Это правило относится и к космическим снимкам.

Трансформирование аэрофотоснимков. Из-за влияния углов наклона при аэрофотосъемке и влияния рельефа местности изображение на аэрофотоснимке не соответствует плану, поэтому возникает задача трансформирования аэрофотоснимка.

Трансформированием называется преобразование центральной проекции, которую представляет собой аэрофотоснимок, полученный при наклонной проекции главного луча, в другую центральную проекцию, соответствующую отвесному его положению, с одновременным приведением изображения к заданному масштабу.

Наиболее распространен способ трансформирования при помощи особых оптических приборов – фототрансформаторов. Он состоит из проекционного фонаря с источником света, объектива, кассеты и экрана, на который проектируется трансформируемый снимок. Фототрансформатор позволяет устранить искажения аэрофотоснимков перемещением и наклоном кассеты и экрана до совпадения четырех ориентирующих точек аэронегатива с одноименными точками опорного планшета. Если после этого вместо планшета на экран положить фотобумагу и переснять негатив, то получают трансформированный снимок.

После трансформирования из рабочих площадей составляют план местности, который называется **фотопланом**.

На фотопланах вся контурная часть представляет собой фотографически уменьшенное изображение предметов и контуров местности. Фотоплан точнее воспроизводит ситуацию местности, чем топографическая карта.

6.6. Искажения изображений на космическом снимке

Космический фотоснимок является центральной проекцией, или перспективным изображением местности, т. е. все геометрические свойства, основные элементы и искажения, присущие аэроснимкам, характерны и для космических снимков. Однако при съемке с больших высот возникают искажения не только за счет изменения высоты, но и из-за кривизны (сферичности) поверхности Земли (особенно при съемке фотокамерами с широкоугольными объективами), влияющей на положение точек на снимке, – они не лежат в одной плоскости.

Смещение точки на снимке из-за кривизны Земли:

$$\delta_r = \frac{r^3 \cdot H}{2R_3 f_k^2},$$

где r – расстояние от центра снимка до точки;

H – высота съемки;

R_3 – радиус Земли (6371 км);

f_k – фокусное расстояние съемочной камеры.

Искажения из-за кривизны Земли, как и из-за рельефа, зависят от высоты съемки и фокусного расстояния камеры. Существенные искажения из-за кривизны Земли не могут быть исправлены трансформированием, так же как нельзя развернуть на плоскости поверхность шара без сжатия и растяжения. При незначительных искажениях снимки можно исправить трансформированием порознь отдельных равноудаленных от центра снимка участков. Исправление снимков от перспективных искажений на краях

рассматривается как преобразование одной проекции в другую. Эту работу выполняют на компьютерах по специальным программам.

Контрольные вопросы

1. Что такое геометрические свойства аэро- и космоснимков и их классификация?
2. Чем отличается аэрокосмический снимок от проекции изображения? Дайте понятия и опишите их использования.
3. Чем обусловлены искажения изображения аэрокосмических снимков?
4. Как определить и исправить степень искажения изображения?
5. Какие проекции можно использовать при регистрации, и в каких случаях?
6. Как измерить расстояние между двумя объектами на зарегистрированном изображении?
7. Как изменить положение изображения?

7. ИЗОБРАЗИТЕЛЬНЫЕ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА АЭРОКОСМИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

7.1. Ландшафты и их структура, изобразительные и информационные свойства изображений



Рис. 92. Оршанско-Могилевская равнина. Река Беседь

На аэрокосмических снимках изображается ландшафтная оболочка Земли.

Ландшафтная оболочка – это целостная и непрерывная оболочка Земли, среда деятельности человека, она охватывает нижние слои атмосферы (тропосферы), верхние слои литосферы, почти всю гидросферу и всю биосферу.

Ландшафт – генетически однородный с одинаковым геологическим фундаментом и климатом, одним типом рельефа (рис. 92).

Основные свойства ландшафта – сопряженность составляющих его компонентов: рельефа, литогенной основы, почвенного покрова, гидрологического режима, растительности.

Структура ландшафта – строение ландшафта, которое выражается в характере внутренних взаимосвязей его компонентов. Структура ландшафта бывает горизонтальной и вертикальной.

Горизонтальная структура. Самой простой неоднократно повторяющейся территориальной единицей ландшафта является фация – наименьшая территориальная единица. Для нее характерно: однородные форма рельефа, тип почв, состав горных пород, растительные сообщества. Размеры – от 1–3 м² до 1–3 км². Фация может быть отождествлена с биогеоценозом – типом леса.

В пределах фаций наиболее быстро на месте пожара восстанавливается луговая растительность, которая постепенно замещается древесными породами (рис. 93).



Рис. 93. Восстановление растительности в пределах фаций

Ландшафтам свойствен закон необходимого разнообразия: нельзя найти две абсолютно одинаковые фации, даже если они расположены рядом друг с другом и в одном ландшафте.

Следующая единица ландшафта – **подурочище**. Это природно-терриориальный комплекс, состоящий из цепочки фаций, связанных друг с другом и объединенных единым потоком вещества и энергии на определенной форме элемента рельефа одной экспозиции.

Типы подурочищ: склон, вершина холма, плоский водораздел, долина реки, часть поймы, оврага.

Урочище – совокупность фаций, приуроченных к одной форме рельефа; территория с хорошо выраженными границами, отличающаяся от окружающей местности. Объединение нескольких фаций называют урочищем – они менее однородны, но для каждого из них характерен специфический, присущий только ему набор фаций. Они надежно выделяются при разрешении съемочных материалов не менее 5–20 м. В пределах урочищ наблюдается определенный порядок во взаимном распределении фаций.

Основные факторы формирования урочищ: форма рельефа, почвообразующие породы, режим увлажнения.



Рис. 94. Урочище

Урочища подразделяются на основные и второстепенные.

К основным типам урочищ относят: холмистые и грядовые с большими уклонами рельефа, междуречные возвышенные с небольшими уклонами (2–5 %), междуречные низменные с малыми уклонами (1–2 %), ложбины и котловины, долины рек с урочищами разных типов, долины мелких рек и ручьев (рис. 94).

Местность – это наиболее крупная морфологическая часть ландшафта, состоящая по структуре из особого варианта, характерного для данного ландшафта, сочетания урочищ. То есть каждая местность имеет определенный набор основных и второстепенных урочищ. Для надежного выделения местностей разрешающая способность материалов дистанционных съемок должна быть не хуже 20–100 м.

Условия выделения границ местностей:

1. Разнообразие внутреннего строения (геологического).
2. При одном и том же генетическом типе рельефа встречаются участки с изменяющимися морфологическими характеристиками.
3. В границах одного и того же ландшафта при одинаковом наборе урочищ разного типа изменяется их площадное соотношение.
4. Обширные системы однотипных урочищ.

5. Группы чуждых урочищ, вкрапленных в данный ландшафт.

Вертикальная структура ландшафта имеет следующее деление на геогоризонты:

- аэральный (нижняя часть тропосферы);
- аэрольно-биогенный (наземная часть растений, животных, воздух);
- биокосный (почвенный горизонт);
- литогенный (толща горных пород);
- литогидрогенный (горизонт грунтовых вод).

Ландшафт – основная исходная единица в системе природно-территориального комплекса (ПТК), занимающего сотни, иногда тысячи квадратных километров. Для выделения ландшафтов могут быть применены материалы космических съемок с разрешением в сотни метров.

У ПТК разных рангов (ландшафт, местность, урочище, фация) есть свой комплекс индикаторов, отражающихся в рисунке изображения. Но необходимо выявить определяющий фактор, который следует брать за основу при ландшафтных методах дешифрирования.

Задача ландшафтного дешифрирования – выявление объективно существующих границ пространственно обособленных ПТК. Наблюдаемые на аэрокосмических снимках границы подразделяют на две крупные категории – природные границы, обусловленные рельефом, литологией, гидрологическими и другими особенностями; случайные временные границы, связанные с действием разовых антропогенных или природных факторов (рубка леса, пожары, ветровалы и др.), существенно не изменяющих литогенную основу. Временные границы по мере восстановления лесов могут исчезнуть или стать малозаметными, но могут сделаться и постоянными.

Для природных границ характерны плавность и криволинейность, согласующиеся с элементами рельефа, гидрологией, а также отсутствие резких границ, поскольку лесная растительность, способная произрастать в условиях разного рельефа, маскирует их. Временным границам присуща четкость различий, как в натуре, так и на аэрокосмических снимках. Это относится к вырубкам, гарям, трассам, поселкам, землям сельскохозяйственного пользования в пределах лесных массивов.

Правильное разделение территории на ландшафты имеет важное научное значение. Это позволяет решать вопросы моделирования насаждений, изучение типов леса и др.

7.2. Изобразительные свойства аэрокосмических снимков

Изображение снимка состоит из разных плотностей или цветов, расположение которых соответствует структуре объекта съемки. Плотность, или цвет, изображения является функцией отражательной способности снимаемого объекта в той части спектра, в которой производится съемка, и светочувствительности приемников излучения (при фотосъемке – фотоматериала).

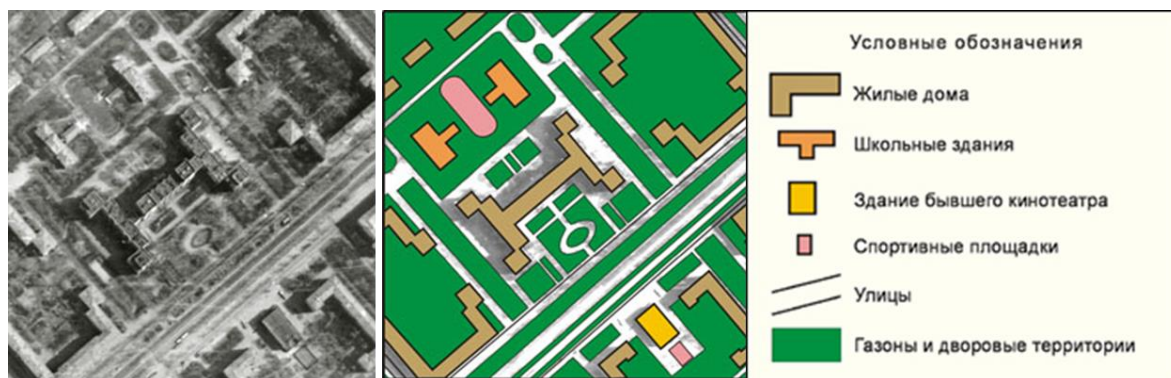


Рис. 95. Фрагмент аэроснимка и схема его дешифрирования

При дешифрировании (чтении аэрокосмических снимков) объекты опознают по комплексу прямых и косвенных дешифровочных признаков (рис. 95).

К прямым относят такие, которые изображаются на снимках и непосредственно воспринимаются дешифровщиками – тон (цвет), форма, размер, размещение, тени, рисунок.

Тон (цвет) однородных объектов изменяется в значительных пределах и является важным признаком при дешифрировании лесов. Например, по тону на черно-белых снимках в пологе насаждений выявляют кроны отдельных деревьев, темно-хвойные леса, спелые осиновые насаждения.

По цвету на цветных спектрзональных снимках различаются хвойные и лиственные леса, группы типов леса, погибшие и поврежденные болезнями, вредителями, возобновившиеся вырубки и др.



Рис. 96. Аризонский кратер. США. Космофото

Глаз человека способен визуально различать до 25 ступеней серого тона, но обычно при визуальном дешифрировании ограничиваются семибалльной шкалой тональности. Визуально тон на черно-белом изображении оценивают обычно по серой шкале тонов. Цвет на цветных снимках оценивают по специальным цветовым шкалам, в которых основная характеристика дана по цветовому тону, а дополнительная – по насыщенности цветов. Однако цвета, как и тона, на аэрокосмических снимках не всегда стабильны, они зависят от освещенности объекта, искажаются при фотолабораторной обработке.

В практике лесного дешифрирования широко применяются цветные спектрзональные фотоснимки, на которых получается изображение в условных цветах, что позволяет выявить ряд характерных особенностей и деталей, которые неразличимы на обычных фотоснимках.

Следующим прямым дешифровочным признаком является **форма**. Форма объектов на снимках может быть точечной, линейной, площадной.

Точечные объекты опознают на изображениях, но из-за малой (в масштабе изображения) величины их нельзя измерить с помощью приборов и аппаратуры. Линейные объекты различают по тону (цвету), ширине, длине, извилистости. Дороги, трассы, каналы имеют более правильную геометрическую форму, чем естественные объекты – реки, границы таксационных выделов. Площадные объекты характеризуются тоном (цветом), геометрической формой и размерами. Форма их может быть геометрически определенной (постройки, мосты, вырубки), и служить в этом случае надежным дешифровочным признаком, или неопределенной (болота, сенокосы, прогалины, массивы леса) (рис. 96).

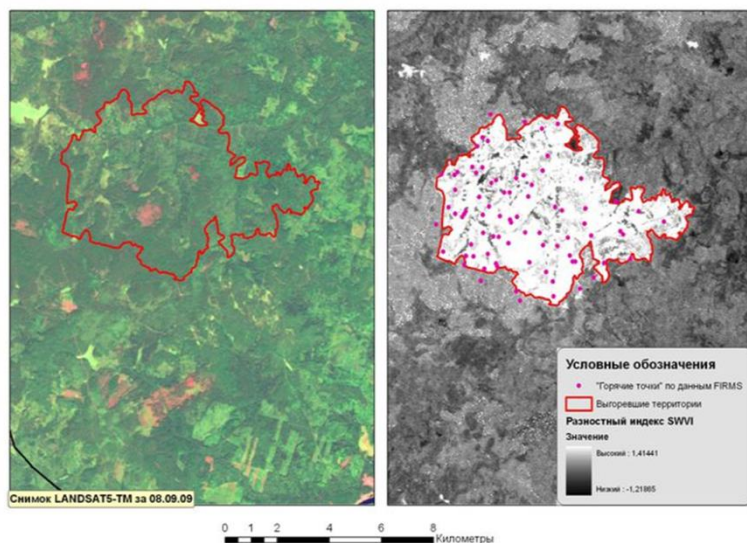


Рис. 97. Определение размеров гарей в лесах Пермского края

Размер. Это признак менее определенный, чем форма. Однако при дешифрировании лесов по снимкам по размеру крон и высоте леса можно отличить спелый лес от молодняка, по размерам промежутков в пологе насаждений определить сомкнутость и т. п. (рис. 97). Размеры объектов могут быть измерены по аэрокосмическим снимкам.

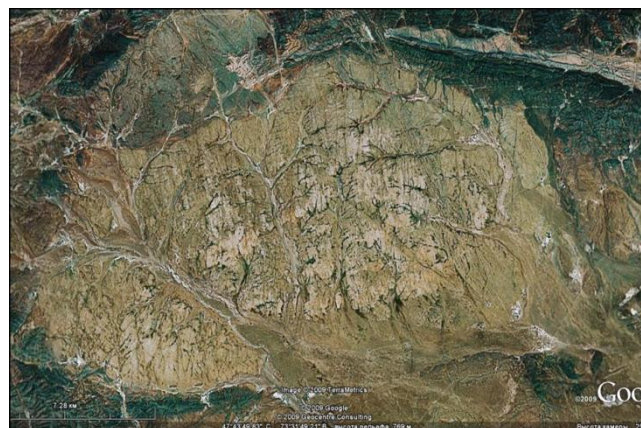
Размещение объектов может дать ряд важных характеристик об изучаемой местности. Так, размещение в пологе насаждений крон разных деревьев, а также промежутков в нем может свидетельствовать о характере состава насаждений (равномерный, куртинный), структуре полога, размещение не покрытых лесом и нелесных земель – о степени лесистости, вырубок – о степени интенсивности лесозэксплуатации, режиме освоения лесосырьевой базы.

Тени собственные и падающие. Собственными называются тени, образовавшиеся на самих объектах от их отдельных частей и расположенные на сторонах, противоположных направлению солнечных лучей. Падающие тени всегда отброшены на земную поверхность или на низкие предметы в сторону, противоположную солнцу (или другому источнику излучения). Тени облегчают выявление формы объектов. Падающие тени наглядно передают, в частности, формы крон деревьев. Собственные тени крон деревьев способствуют созданию впечатления их выпуклости.

Падающие тени от объектов нередко существенно облегчают дешифрирование рельефа и растительности, опознавание древесных пород. По тени можно измерить и определить высоту объекта. Вместе с тем, она

маскирует (закрывает) часть территории, чем затрудняет процесс дешифрирования, ухудшает стереоскопическую просматриваемость полого. Тени собственные (на самих объектах) подчеркивают объемную структуру изображенных на снимке объектов.

Рисунок изображения зависит от строения, конфигурации, размеров, взаимного расположения объектов, их тональных (цветовых) различий. Он характеризуется структурой (набор форм, размеров, тонов, или цветов и цветовых оттенков, участвующих в формировании рисунка) и текстурой (пространственное расположение структур, их взаимное сочетание). Выделяют тональную (цветовую) и геометрическую (контурную) структуры. Сочетание тонов (цветов) собственно и формирует изображение; смена их происходит за счет чередования объектов разной яркости. Геометрическая структура определяется конфигурацией, формой границ, разделяющих элементы тональной (цветовой) структуры. Контурный узор изображения образуется сочетанием линий и точек, контрастирующих с общим фоном (рис. 98).



*Рис. 98. Сетчатый рисунок фототона
гранитного массива Атырау.*

Казахстан

Косвенными дешифровочными признаками являются взаимосвязи между объектами и их характеристиками в пространстве и во времени, во многих случаях не связанные с изображением интересующих дешифровщика характеристик, а опирающиеся на результаты логической интерпретации, основанной на знаниях о закономерностях и взаимосвязях между объектами, их характеристиками и природной средой.

К числу важнейших косвенных признаков следует отнести: геоморфологические, растительность и почвы, антропогенные, созданные человеком.

7.3. Информационные свойства снимков

Цель дешифрирования снимков – извлечение из них информации. Различают полную, оперативную и извлеченную информацию.

Полная информация J_n – та, которую в каждом конкретном случае необходимо и принципиально возможно извлечь при условии выбора аэрокосмических снимков с наиболее благоприятными характеристиками и свойствами.

Информация, которую в принципе можно получить дешифрированием данных снимков, называется оперативной J_0 . Извлеченная информация J_u всегда меньше оперативной из-за ошибок дешифрирования, несовершенства технических средств.

Одни сведения, содержащиеся на снимках, являются информацией, другие – более или менее выраженной помехой (шумом). Помехи при дешифрировании – плотные тени, затрудняющие просматриваемость полога, или облака, маскирующие лесную растительность. Извлеченная информация может быть представлена в виде описаний, числовых характеристик, графиков, карт или выражена в единицах информации – битах.

Дешифрируемость снимков D , определяющая объем информации, который может быть получен при решении конкретной задачи, характеризуется отношением:

$$D = \frac{J_0}{J_n}.$$

7.4. Фотометрический анализ изображения

Изображение местности, полученное с помощью фотографических и других систем – это сочетание разных плотностей, расположение которых соответствует структуре изображенных объектов, поэтому плотности, соответствующие объекту или его частям, можно измерить и выразить количественно. Наиболее простой способ измерения плотностей изображения – визуальная оценка. Визуально оценивают семь тонов черно-белой эталонной шкалы. Инструментально с помощью специальных приборов выделяют 256 градаций плотности.

Фотометрирование может быть точечным и линейным. В первом случае, когда используют фотометры и денситометры, измеряют плотности на негативе или позитиве, соответствующие определенным объектам и промежуткам между ними. Выполнив серию измерений однотипных объектов, вычисляют среднюю оптическую плотность. Линейное микрофотометрирование выполняют с помощью микроденситометров. В этом случае непрерывно измеряют плотности по линии сканирования, в результате чего получают график – регистрограмму.

7.5. Преобразование информации

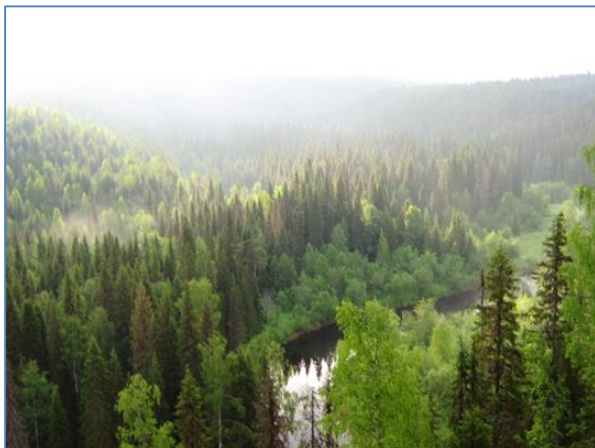
Съемочная информация предварительно проходит стадию обработки и преобразования с целью подготовки ее к визуальному или машинному дешифрированию. Выделяют три вида обработки и преобразования информации: фотографическую обработку; преобразование записанных на магнитную ленту сигналов из аналоговой в цифровую форму и получение записи, пригодной для обработки на ЭВМ; цифровое представление изображений, и наоборот, воспроизведение изображений, записанных в цифровой форме на магнитном носителе.

Контрольные вопросы

1. Что называют изобразительными и информационными свойствами аэрокосмических изображений?
2. Для чего необходим фотометрический анализ изображения?
3. Опишите основные принципы проведения преобразования информации.

8. ДЕШИФРИРОВАНИЕ АЭРО- И КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ

8.1. Объекты и методы лесного дешифрирования



*Рис. 99. Леса междуречья
Северной Двины и Пинеги,
Архангельск, Россия*

Объектами лесного дешифрирования по материалам аэро- или космических съемок являются: лесной фонд и составляющие его или находящиеся на его территории объекты, а также происходящие в нем различные события и явления; количественные и качественные характеристики этих объектов, явлений и событий.

Объектами дешифрирования могут быть: участок лесного фонда (лесной массив), таксационный выдел, представленный насаждением, различными категориями не покрытых лесом и нелесных земель

(вырубки, гари, погибшие насаждения, прогалины, болота, сенокосы), группа деревьев, дерево или его часть, различные строения и сооружения, очаги горения в лесу, пожарища, а также таксационные показатели и другие количественные и качественные характеристики дешифрируемых объектов (рис. 99).

Дешифрирование может быть визуальным (глазомерным, аналитическим), измерительным, автоматическим (машинным), а также производным от них: аналитико-измерительным и автоматизированным (интерактивным).

Визуальное дешифрирование основано на глазомерном анализе изображения изучаемого объекта на аэро- или космическом снимке (на бумажном носителе или экране дисплея) невооруженным глазом или с помощью увеличительных или стереоскопических приборов, информация с аэро- или космического изображения считывается зрительным аппаратом дешифровщика и анализируется его логическим аппаратом. Поэтому его часто называют аналитическим.

Измерительное дешифрирование предусматривает измерение на снимках ряда параметров и характеристик дешифрируемых объектов с помощью механических, оптико-механических, оптико-электронных и других измерительных инструментов, приборов, устройств и систем.

Аналитико-измерительное дешифрирование сочетает визуально-логический анализ изображения с измерением различных параметров дешифрируемых объектов.

Автоматическое дешифрирование основывается на использовании электронно-вычислительных машин и соответствующих программных продуктов для распознавания по спектральным (структурным, текстурным) характеристикам дешифрируемых объектов и их количественных и качественных показателей. При нем процесс дешифрирования выполняется интерпретационной системой (машиной). Человек создает систему, определяет конкретную задачу и соответствующее программное обеспечение обработки съемочной информации, а также организует и обеспечивает нормальное функционирование системы.

Автоматизированное (интерактивное, человеко-машинное) дешифрирование сочетает в себе элементы аналитико-измерительного дешифрирования, выполняемого дешифровщиком (оператором) по изображению на экране дисплея ЭВМ с автоматическим дешифрированием. Таким образом, при нем анализируется и обрабатывается съемочная информация специализированными или универсальными интерпретационными комплексами при активном параллельном участии оператора-дешифровщика.

В зависимости от места проведения дешифрирования оно может быть камеральным (лабораторным), полевым, выполняемым непосредственно на местности (в лесу, в поле), аэровизуальным и комбинированным.

Камеральное дешифрирование проводят в лабораторных условиях. Преимущество этого метода заключается в сокращении объемов работ инженерно-технического и рабочего персонала, выполняемых в лесу в дискомфортных условиях, ускорении работ и значительном снижении их стоимости. Камеральное дешифрирование аэро- и космических изображений проводят в лабораторных условиях, обеспечивающих их тщательный и детальный анализ и позволяющих применять более сложные инструменты и стационарные приборы, в том числе современную оптико-электронную технику. Камеральное дешифрирование всегда выполняют с привлечением дополнительных картографических, литературно-справочных материалов.

Полевое дешифрирование производят непосредственно на местности путем сопоставления аэро- или космоснимка с натурой. Метод полевого дешифрирования является наиболее простым и объективным (точным), но требует больших затрат времени и труда. Данное дешифрирование широко применяется при выполнении натурных (полевых) съемочно-геодезических и лесотаксационных работ, а также при проведении различных видов обследований. Полевое дешифрирование бывает, как правило, визуальным. При нем могут применяться простейшие приборы (лупы, портативные стереоскопы и др.) для анализа изображения.

Аэровизуальное дешифрирование производят путем сопоставления изображений распознаваемых объектов на аэро- и космоснимках с местностью при полетах на самолетах или вертолетах, как правило, легкомоторных. Основным достоинством аэровизуального дешифрирования является его

быстрота, основным недостатком – ограниченное время для опознавания объекта на местности и его характеристик из-за большой скорости полета.

Поскольку ни один из вышеперечисленных методов дешифрирования не может полностью решить практические задачи (полевой – из-за высокой трудоемкости, камеральный и аэровизуальный – из-за недостаточной точности), обычно применяют сочетание методов полевого и камерального или полевого, камерального и аэровизуального (комбинированные методы). При этом стремятся до минимума сократить наиболее дорогие и трудоемкие полевые работы – минимум затрат, максимум качественной информации.

8.2. Исходные положения лесного дешифрирования

Для успешного дешифрирования лесов по аэрокосмическим снимкам дешифровщик должен иметь хорошую профессиональную подготовку в области лесоводственных наук, особенно лесоводства и лесной таксации, обладать комплексом знаний по аэро- и космической съемке, фотограмметрии, дешифрированию, компьютерной технике.

Количественные и качественные характеристики объектов, изображенных на снимках, устанавливаются их дешифрированием (распознаванием, интерпретацией) на основе анализа присущих им дешифровочных (прямых или косвенных) признаков, а также по существующим взаимосвязям и взаимозависимостям между дешифровочными признаками и показателями (характеристиками), которые необходимо определить при дешифрировании.

Для этого нужно знать дешифрируемые объекты, взаимосвязи лесных объектов с элементами ландшафта, спектральные, структурные и текстурные особенности изображений объектов на съемочных материалах. Дешифровщик должен уметь также работать с комплексом соответствующих технических и программных средств, позволяющих анализировать аэрокосмические изображения с помощью средств космической техники с использованием ГИС-технологий.

8.3. Последовательность дешифрирования аэрокосмических снимков

Процесс дешифрирования снимков включает в себя ряд этапов: привязка снимков, обнаружение и опознавание объектов, их интерпретация и экстраполяция.

Привязка снимков – первый этап работ. Заключается в определении пространственного (географического) положения территории, изображенной на снимке. Она осуществляется при помощи географических, топографических или тематических лесных карт масштаба, соответствующего масштабу снимка или мельче его. Ориентирами для привязки служат гидрографическая сеть (реки, озера, береговая линия водоемов), дороги, трассы, населенные пункты и пр. отображенные на снимке и картах объекты. В зависимости от масштаба снимка (разрешающей способности) набор ориентиров может быть различным. На космических снимках высокого

разрешения (1–10 м) набор ориентиров в значительной степени приближается к набору ориентиров, используемых при привязке средне- и мелкомасштабных аэрофотоснимков. Если организация, обеспечивающая прием информации из космоса и последующее ее распространение, предоставляет вместе со снимками (в цифровом виде или на бумажных носителях) их географические координаты или схемы (картограммы) пространственного расположения снимков, то данный этап работ значительно упрощается или исключается совсем.

Обнаружение объектов – выделение различных рисунков изображения; оно характерно преимущественно для снимков низкого пространственного разрешения и сопровождается, как правило, опознаванием (идентификацией) дешифрируемых объектов или их групп. При самостоятельной привязке изображений этот этап сливается с предыдущим.

Опознавание объектов, или их идентификация, включает анализ всего комплекса прямых признаков дешифрирования: тона (цвета), формы, рисунка (структуры, текстуры), размеров изображения и элементов рисунка, определяющих физиономичность изображенных объектов, а также косвенных признаков, указывающих на сопряженность распознаваемых объектов с другими объектами или природными и антропогенными особенностями. Использование для опознавания нескольких независимых признаков – тона (цвета), формы, размеров элементов рисунка, их сочетания и сопряженности с другими признаками – значительно повышает достоверность опознавания.

Интерпретация заключается в распознавании и выделении опознанных дешифрируемых объектов и определении их характеристик по прямым и косвенным признакам по установленному принципу в зависимости от тематической направленности дешифрирования. Так, например, при ландшафтном дешифрировании интерпретируются физиономичные компоненты ПТК (ландшафты, местности, урочища, фации), а опознанные антропогенно-хозяйственные объекты выполняют вспомогательную роль. Наоборот, при картографировании использования земель внимание обращается на хозяйственные объекты – поля, дороги, населенные пункты, промышленные комплексы. При картографировании и инвентаризации лесов распознаются и картографируются категории земель лесного фонда, а покрытые лесом площади подразделяются на страты (таксационные выделы) в соответствии с принятой классификацией (преобладающие породы или их группы, группы возраста, полноты, условий местопроизрастания).

Экстраполяция включает идентификацию аналогичных объектов по всей территории, изображенной на снимке или нескольких снимках на изучаемый район, полученных в одних и тех же атмосферно-оптических условиях.

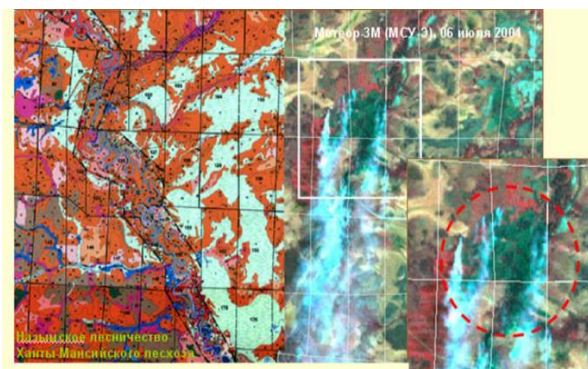


Рис. 100. Схематическое изображение карты ландшафтной структуры территории (слева) и выделенный внутри окружности участок выгоревшего леса (справа)

дешифрирование снимков и создана ландшафтная карта.

На рис. 102 представлены тематические карты экологической устойчивости ландшафтов и карта увлажненности ландшафта, созданные на основе ландшафтной карты в ArcGIS. А на основе цифровой модели рельефа построена карта уклонов поверхности.

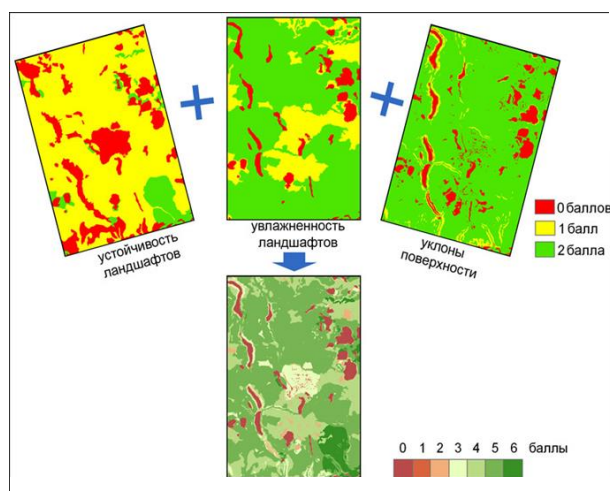


Рис. 102. Суммирование растровых тематических карт

На рис. 100 представлены слайды поэтапного дешифрирования снимков. На первой фотографии распознается объект «наличие пожаров на исследуемой территории», следующим этапом будет его характеристика и распознавание участков с такими же характеристиками на других областях поверхности.

На рис. 101 с ландшафтным картографированием представлена слева карта с распознанными элементами по представленному справа космоснимку. Таким образом, проведено тематическое

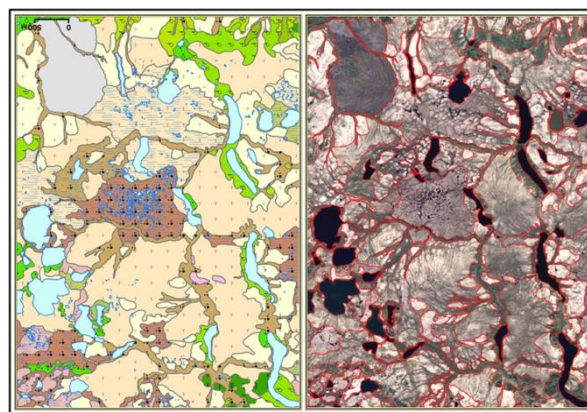


Рис. 101. Ландшафтное картографирование ключевого участка по космоснимку

8.4. Стереоскопический эффект *Зрительный аппарат человека*

Информация об окружающей обстановке и при визуальном дешифрировании снимков извлекается человеком благодаря его зрению. Глаз, с геометрической точки зрения, является аналогом съемочной камеры с дискретной матричной регистрацией яркостей.

Хрусталик глаза выполняет функцию объектива (рис. 103).

Наилучшее расстояние от рассматриваемого предмета для нормального зрения равно примерно 25 см. При меньшем расстоянии происходит

напряжение глаза и зрительное восприятие ухудшается, при большем расстоянии хуже различаются детали.

Разрешающая способность нормального глаза при нормальных условиях рассматривания составляет в угловых единицах 50–60 секунд, в линейных – около 0,05–0,08 мм.

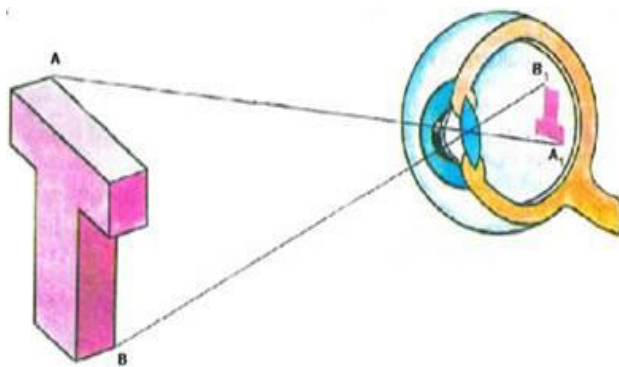


Рис. 103. Изображение в глазе

Оптической системе глаз присущи недостатки (ошибки фокусировки): **абберация** (искажение изображения на сетчатке вследствие несовершенства оптической системы глаза; наличие аберраций глаза приводит к тому, что каждая точка предмета изображается в виде пятна с довольно сложным распределением освещенности в нем), **астигматизм** (роговичная деформация, греч. stigma

– точка) – это рефракционная ошибка глаза, которая заставляет изображение, находящееся в одной плоскости, проецироваться под прямым углом на различном расстоянии от параллельного изображения. Это чаще всего является результатом значительного искривления роговицы в одном из ее меридианов. Когда рефракция идеальна, объект в виде точки проецируется на сетчатке также в виде точки. Если глаз имеет различную рефракцию в разных областях роговицы, например, вследствие ее деформации, точка на сетчатке проецируется в виде линии, что и является астигматизмом (т. е. не в виде точки). Если недостатки сильно выражены, то могут стать препятствием при работе со снимками. Дальнозоркость и близорукость, если они полностью корректируются очками, существенно не препятствуют работе со снимками.

Бинокулярное и стереоскопическое зрение

Человек может рассматривать объекты местности и снимки непосредственно невооруженными глазами или с помощью оптических устройств. Зрение может быть монокулярное – одним глазом – и бинокулярное

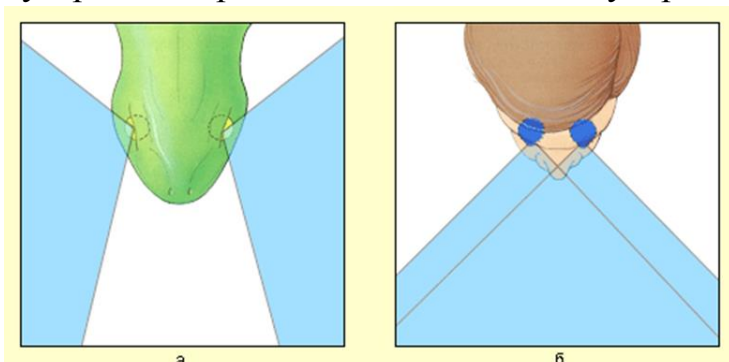


Рис. 104. Стереоскопическое зрение

а) пресмыкающегося; б) человека

– двумя глазами.

Бинокулярное зрение дает возможность компенсировать повреждения одного глаза за счет другого, снимает эффект слепого пятна и лежит в основе **стереоскопического зрения**, когда на сетчатках одновременно возникают слегка различающиеся изображения одного и того же предмета, которые мозг

воспринимает как один трехмерный образ. У человека общее поле зрения охватывает 180° , а стереоскопическое – 140° . Стереоскопическое зрение абсолютно необходимо для хищников; у их жертв, наоборот, глаза расположены по бокам, что увеличивает обзор (рис. 104). Частным случаем бинокулярного зрения является стереоскопическое, при котором наблюдатель воспринимает пространственно (трехмерно) расположение разноудаленных объектов и их формы.

При рассмотрении предмета одновременно правым и левым глазом глаза поворачиваются так, что их визирные линии пересекутся на предмете наблюдения. Наблюдатель как бы засекает наблюдаемые точки зрительными лучами с двух центров, расположенных на некотором расстоянии друг от друга, называемом базисом. Глазной базис (расстояние между центрами зрачков глаз) у людей колеблется в пределах от 52 до 74 мм, в среднем составляет 65 мм.

Свойство глаз, позволяющее им поворачиваться по отношению к объекту наблюдения, называется конвергенцией, а угол пересечения визирных осей – углом конвергенции. Угол конвергенции тем больше, чем ближе наблюдаемая точка. Таким образом, угол конвергенции определяет расстояние от глазного базиса до наблюдаемого предмета.

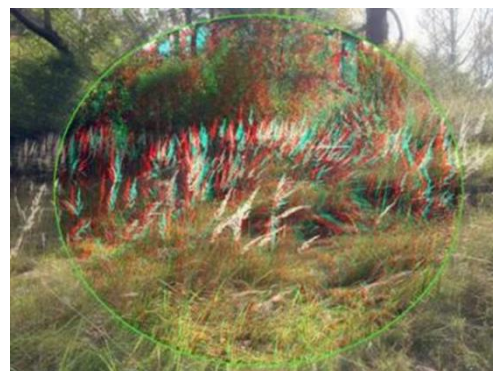


Рис. 105. Стереоснимок

При фиксации внимания на какой-либо точке глаза одновременно видят и ряд других точек. Так, если две точки А и В расположены на разном расстоянии от наблюдателя, то их изображения сдвинутся на различную величину. Это создает впечатление глубины пространства.

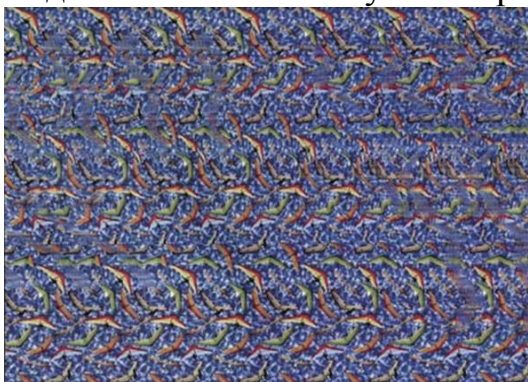


Рис. 106. Стереоскопическая перспектива, которую можно увидеть методом параллельного взгляда

Разность смещений двух точек в глазу $a_1d_1 - a_2d_2 = \delta$ называется бинокулярным физиологическим параллаксом. Для всех точек, которые не смещены по глубине, физиологический параллакс $\delta=0$. Чем больше глубинное отстояние точек, тем больше параллакс. При параллаксе более 0,4 мм наблюдаемые точки начинают двоиться.

Предельно малое изменение угла конвергенции (соединение зрительных осей глаз), которое воспринимается наблюдателем, называется остротой стереоскопического зрения (рис. 105). Таким образом, острота стереоскопического зрения есть разность

параллактических углов двух точек $\gamma A - \gamma D = \Delta\gamma$, при которой данные точки воспринимаются равноудаленными.

Острота стереоскопического зрения зависит от индивидуальных свойств и состояния наблюдателя и внешних условий наблюдения и снижается при недостатке и избытке освещения, при малом контрасте между объектом наблюдения и фоном.

Для просмотра стереоизображения используются различные методы и устройства:

метод параллельного взгляда позволяет посмотреть полноцветную стереокартинку без применения какого-либо оборудования, стереоэффект достигается за счет сведения глаз дальше плоскости изображения. Рассмотрите изображение, приведенное на рис. 106, предварительно сфокусировав зрение не на самом рисунке, а на точке, расположенной позади него. Вы увидите человека, летящего верхом на драконе.

Метод перекрестного взгляда аналогичен предыдущему, но необходимо сфокусировать взгляд в воображаемой точке перед изображением. Этот способ требует большего напряжения глаз (рис. 107).



Рис. 108. Стереоскопическая перспектива, для просмотра которой используются 3D-очки

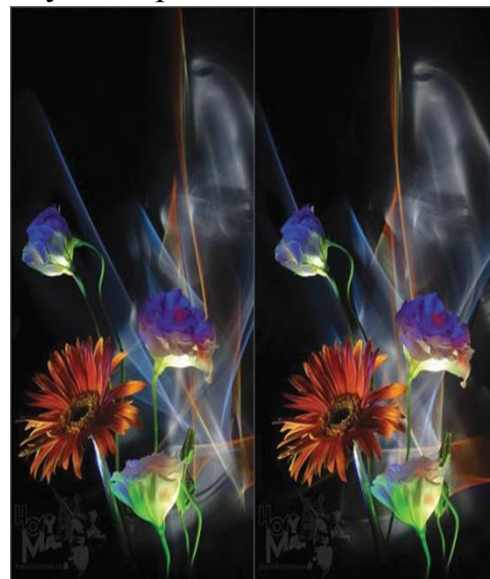


Рис. 107.

Стереоскопическая перспектива, рассматриваемая методом перекрестного взгляда

Анаглифные очки (3D-очки) – разноцветные очки, вместо линз у которых вставлены светофильтры цветов СМУ. Например, для просмотра изображения, приведенного на рис. 108, необходимо использовать очки с красным левым и голубым правым фильтрами.

Существуют оптические (зрительные) иллюзии – это ошибки визуального восприятия, а также всевозможные оптические эффекты, воплощаемые благодаря особенностям механизма зрения человека (рис. 109).

Стереоскопическая съемка и стереоэффект

Объемное пространственное представление о предметах можно получить, если рассматривать не сами предметы, а два их изображения, снятые из двух точек, расстояние между которыми представляет базис съемки.

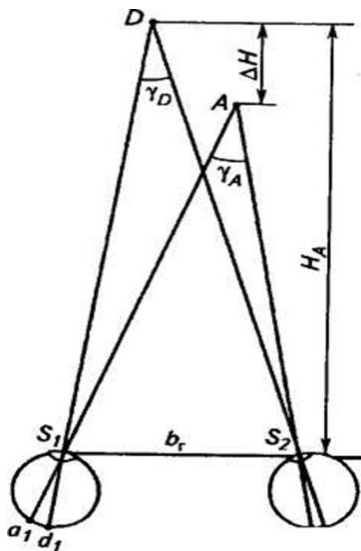


Рис. 110.

Геометрическая интерпретация принципа стереоскопического зрения

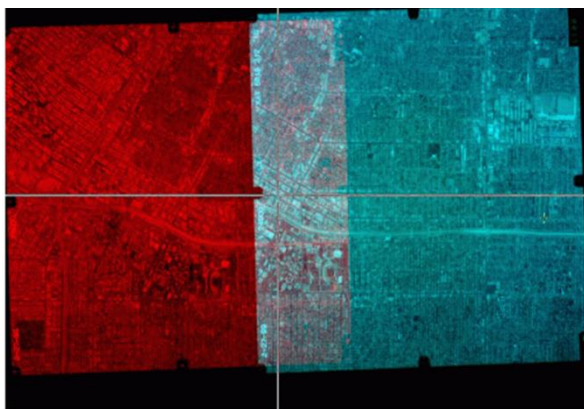


Рис. 111. Стереопара

Если точки А и D заменить парой позитивных изображений P_1 и P_2 так, чтобы левый глаз наблюдателя видел только левый снимок, а правый – правый снимок, на сетчатке глаз возникает ситуация, существовавшая при непосредственном наблюдении этих точек. Наблюдатель воспринимает в этом случае пару плоских изображений пространственно. Такое восприятие называют прямым стереоэффектом, а мнимое пространственное изображение снятого объекта, воспринимаемое наблюдателем, – стереоскопической моделью (стереомоделью), которая будет наблюдаться только в пределах перекрытия снимков (рис. 110).

Два смежных частично перекрывающихся снимка, полученных с концов некоторого базиса, называют стереопарой (рис. 111). Отсюда требование обеспечения 60 % продольного перекрытия снимков при съемке равнинной местности. При меньшем перекрытии могут образоваться разрывы между стереомоделями, тем самым усложнится процесс получения информации со снимков о трехмерных объектах. Увеличение перекрытий уменьшает углы засечек наблюдаемых точек, что ведет к снижению точности в определении их отстояний (превышений).

В зависимости от расположения стереопары снимков стереоэффект может быть прямым, обратным и нулевым.

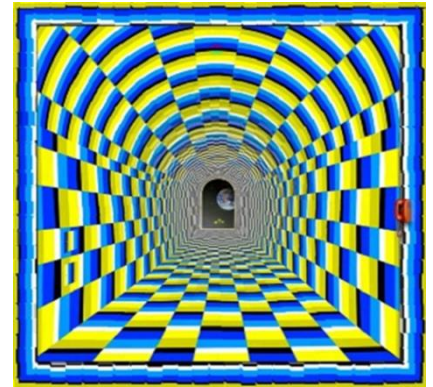


Рис. 109. Оптическая иллюзия

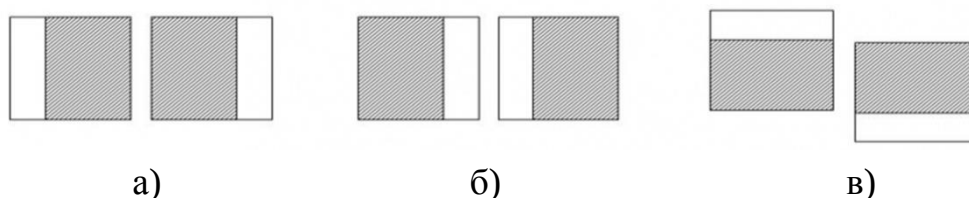


Рис. 112. Стереозэффект а) прямой; б) обратный; в) нулевой

Прямой стереозэффект возникает, когда левый снимок рассматривается левым глазом, а правый снимок правым глазом (рис. 112, а). В этом случае форма стереоскопической модели соответствует форме объекта в натуре (например, лощина будет восприниматься как лощина, возвышенность как возвышенность и т. д.).

При прямом стереозэффекте перекрывающиеся части снимков обращены друг к другу, поэтому наблюдатель видит реальное изображение местности (горы кажутся горами, долины – понижениями). В практике дешифрирования используют, как правило, прямой стереозэффект.

Если снимки поменять местами (см. рис. 112, б), то будет наблюдаться **обратный стереозэффект**, т. е. возвышенности будут выглядеть как впадины, и наоборот. То есть удаленные элементы изображения будут восприниматься близкими, а близкие элементы покажутся удаленными. Этот вариант стереоскопического наблюдения снимков используют при анализе отрицательных микроформ рельефа (ущелий, долин, канав).

Если снимки повернуть на 90° в разные стороны, то возникает **нулевой стереозэффект**, при котором слитное изображение двух снимков будет восприниматься плоским (см. рис. 112, в). Наблюдатель при этом вне зависимости от рельефа увидит плоское пластичное изображение местности. Получаемый при этом стереозэффект называют нулевым. Его используют для определения искажений, возникающих на аэрофотоснимках из-за недостаточного прижимания фотобумаги при контактной печати.

Способы стереоскопических наблюдений фотоснимков

Главное условие получения стереозэффекта по фотоснимкам – раздельное их наблюдение, при котором каждый глаз видит один из двух снимков. Этого можно достичь, рассматривая два перекрывающихся изображения и невооруженными глазами. Но при таком наблюдении глаза



Рис. 113. Анаглифные очки

быстро утомляются, так как возникает несоответствие между конвергенцией глаз и аккомодацией. Для облегчения стереоскопического наблюдения снимков используют оптические бинокулярные системы – стереоочки, стереоскопы и более сложные приборы – либо применяют анаглифический способ наблюдения и способ поляридов.

Стереоскопы применяют при наблюдении снимков на твердой основе, а также отдельно визуализированных на экране монитора изображений. При компьютерной стереофотограмметрической обработке снимков используют способы анаглифический и поляроидов.

В основе анаглифического способа лежит использование цветных светофильтров, окрашивающих в дополнительные цвета левое и правое изображения. В результате наблюдают отдельно два цветных изображения, наложенных одно на другое. Для наблюдения используют специальные очки с фильтрами, обеспечивающими дифференцированное восприятие изображений левым и правым глазом. Ввиду того что светофильтр пропускает световые лучи только своего цвета, каждый глаз наблюдателя видит лишь одно из двух изображений, а при их слиянии возникает стереомодель в серо-белых тонах (рис. 113).

Способ поляроидов основан на применении светофильтров, поляризующих свет, т.е. таких светофильтров, которые пропускают световые колебания только одного направления, а другие – задерживает (рис. 114). Светофильтры-поляроиды устанавливают в двух камерах, проектирующих на экран монитора левое и правое изображения (стереопару

снимков) с наложением одного на другое так, чтобы поляризация света в них проходила в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Изображение, возникающее на экране, рассматривают через очки, имеющие светофильтры-поляроиды и ориентированные так же, как в проектирующих камерах. При этом каждый глаз видит изображение только одного снимка, в результате чего возникает стереоэффект. Поляроиды, в отличие от анаглифического способа, можно применять для наблюдения цветных и спектральных снимков.

Можно применять способ поочередной смены наблюдения левым и правым глазом соответственных изображений.



Рис. 114. Свет проходит через систему из двух поляроидов: а – когда они параллельны; б – скрещены; в – расположены под произвольным углом

8.5. Стереоскопические измерения по аэрофотоснимкам

Зависимость между высотой и разностью продольных параллаксов

Параллакс – разность координат одной и той же точки на левом и правом снимках стереопары.

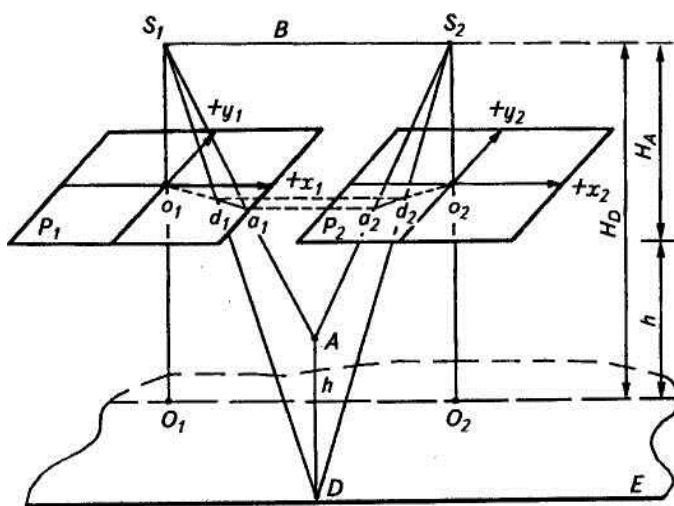


Рис. 115. Изображение отвесной линии на паре снимков идеального случая

Существует два вида параллакс – продольный и поперечный.

Разность ординат соответственных точек пары снимков называют **поперечным параллаксом точки**.

$$y_{i_1} - y_{i_2} = q_i.$$

Разность абсцисс пары соответственных точек на левом и правом снимках называют **продольным параллаксом точки**.

$$p_i = x_{i_1} - x_{i_2}$$

При лесном дешифрировании снимков часто возникает необходимость в определении высоты объекта. Для этого применяют способы, основанные на измерении разности продольных параллакс. Геометрическую сущность этого способа объяснять не будем. Лишь запишем формулу определения превышений:

$$h = \frac{H_{cp} \Delta p}{b + \Delta p},$$

где H_{cp} – средняя высота фотографирования конкретного участка местности, отображенного на снимке,

b – базис съемки,

Δp – разность продольных параллакс двух точек снимка.

Возьмем два смежных фотоснимка (негатива), составляющих стереопару и полученных при идеальном случае аэрофотосъемки, когда аэрофотоснимки и базис фотографирования горизонтальны (рис. 115).

На каждом снимке за начало координат примем главные точки (0_l и 0_p), а за ось абсцисс – линию, представляющую базис фотографирования в масштабе снимка. Оси абсцисс совпадают с начальным направлением, которое на каждом снимке проходит через собственную главную точку и изображение главной точки на смежном снимке. Каждая пара одноименных проектирующих лучей расположена в одной базисной плоскости. Следовательно, ординаты идентичных точек аэрофотоснимка независимо от рельефа местности всегда одинаковы ($y_l = y_p$). Это равенство нарушается лишь при наличии углов наклона аэрофотоснимка или базиса. Разность ординат идентичных точек называют поперечным параллаксом.

9.5.2. Техника измерения продольных параллаксов

Для измерения продольных параллаксов применяют приборы со специальными приспособлениями в виде визирных марок (нитевидных, точечных, крестообразных и др.). Техника стереоскопических измерений при этом сводится к следующему. Пусть аэрофотоснимки P_1 и P_2 , сфотографированные с некоторого базиса, ориентированы относительно друг друга и рассматриваются в стереоскоп.

Если в поле зрения каждого глаза ввести марки M_1 и M_2 и совместить их с идентичными точками аэрофотоснимков a_1 и a_2 , то при возникновении стереоскопического эффекта обе марки иллюзорно сольются в пространстве в одну стереоскопическую марку M , которая будет казаться совмещенной с точкой A местности, сфотографированной в точках a_1 и a_2 . Таким образом, в момент кажущегося совмещения стереоскопической марки с наблюдаемой точкой действительные марки совместятся с идентичными точками на левом и правом аэрофотоснимках. Смещение одной марки вдоль линии базиса, например M_1 в положение M_1^1 , воспринимается как пространственное перемещение марки по высоте (глубине) в положение M^1 . Одновременное перемещение обеих марок на одни и те же величины обуславливает перемещение пространственной марки в горизонтальной плоскости без изменения ее положения по высоте. Следовательно, техника стереоскопического измерения состоит в совмещении пространственной марки с точками стереомодели местности, при этом положение стереоскопической марки фиксируется на шкалах. Разность продольных параллаксов (разница в отсчетах по шкалам для верхней и нижней точек местности) определяет превышение одной точки над другой.

На этом принципе основаны конструкции всех стереофотограмметрических приборов, предназначенных для определения по аэрофотоснимкам высотных отметок местности, в том числе высоты деревьев и древостоев.

Технология измерения разностей продольных параллаксов заключается в следующем. Снимки ориентируют по начальному направлению – направлению, проходящему через собственную главную точку снимка и главную точку, перенесенную со смежного снимка. Снимки укладывают под наблюдательную систему так, чтобы их главные точки расположились на линии абсцисс прибора или параллельно ей. Перемещая снимки вдоль этой линии, а также вращая их в своей плоскости, добиваются получения стереоэффекта. Начальные направления при этом окажутся примерно на оси абсцисс. Уточняют ориентирование устранением остаточных поперечных параллаксов на главной точке правого снимка, вращая снимок левого, и наоборот. Затем последовательно переходят в зоны расположения объектов, высоты которых определяют. В общем случае в каждой зоне будут наблюдаться поперечные параллаксы. Здесь их перед измерением продольных параллаксов устраняют вертикальным перемещением одной из марок. Совмещают пространственную марку с поверхностью стереомодели (при

правильном ориентировании снимков обе марки сольются в одну воспринимаемую наблюдателем пространственно марку) вращением параллактического винта. Разность снимаемых со шкалы винта условных отсчетов при последовательном совмещении марки с точками, превышение которых определяют, будет величиной Δr для данной пары точек.

По значению возникающих в разных частях рабочей площади стереопар поперечных параллаксов можно судить о примерном значении углов наклона и разворота обрабатываемых снимков и соответственно устанавливать возможные расстояния между наблюдаемыми точками.

Технические средства, применяемые при дешифрировании аэрокосмических изображений

При лесном визуальном и аналитико-измерительном дешифрировании материалов аэрокосмических съемок применяют различные инструменты, приспособления, приборы, компьютеры. Традиционные приборы и инструменты условно можно разделить на увеличительные, измерительные, стереоскопические и стереофотограмметрические.



Рис. 116. Биноклярные очки VTMG6 5X

Увеличительные приборы предназначены для увеличения размеров изображения объектов на аэрокосмических снимках. Это различные монокулярные и биноклярные лупы с увеличением от 2 до 10 и более раз, в том числе со шкалами для измерения линейных размеров дешифрируемых объектов и подсветкой (рис. 116). При необходимости к увеличительным лупам изготавливают на стекле или прозрачной пленке различные палетки и шаблоны для измерения проекций крон, подсчета числа деревьев, определения сомкнутости полога.

Измерительные приборы и инструменты. Это циркуль-измеритель, масштабная и измерительная линейки, пропорциональный циркуль, измерительная лупа, измерительные пластины, клинья, палетки, различные шкалы тонов и цветов (рис. 117). С помощью перечисленных приборов и инструментов измеряют на снимках отрезки прямых линий, размеры тех или иных объектов, длину теней деревьев или других объектов, ширину крон, густоту и состав насаждений.

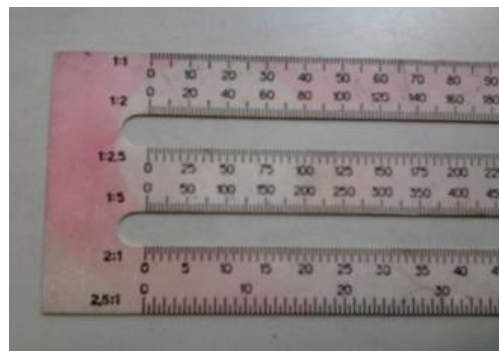


Рис. 117. Масштабная линейка

Стереоскопические приборы. К ним относятся стереоскопы разных конструкций: линзовые, линзово-зеркальные, сканирующие стереоскопы, стереофотограмметрические приборы (рис. 118).

Стереочки, линзовые стереоскопы с постоянными или сменными линзами разной кратности увеличения и с постоянным или переменным базисом имеют две линзы, через которые рассматривают два изображения



одного и того же объекта на смежных снимках, полученных с продольным перекрытием. Обычно это легкие портативные приборы, которые используются при полевом дешифрировании непосредственно в лесу.

Линзово-зеркальные стереоскопы состоят из двух пар больших и малых зеркал, смонтированных на металлической пластине; зеркала каждой пары параллельны друг другу и установлены под углом 45° к плоскости снимка (стола). Такие стереоскопы применяются в камеральных, поликамеральных условиях для визуального и аналитико-измерительного дешифрирования.

Рис. 118. Стереоскопы Logeo

Для измерительных целей при стереоскопическом анализе изображений используют набор палеток, а для измерения высот деревьев – параллактические пластины, синусные линейки или параллаксометры в сочетании со специальными приспособлениями.

Средства компьютерной техники позволяют осуществлять дешифрирование аэро- или космических изображений в интерактивном (автоматизированном или человеко-машинном) и автоматическом режимах. Эти методы дешифрирования в последние 10–20 лет получили мощное развитие в связи с появлением компьютеров и развитием на их базе геоинформационных технологий. В основе этих методов – разбиение (классификация) изображенной на снимке территории на однородные по спектральным и текстурным характеристикам классы. Основные требования к средствам компьютерной техники для дешифрирования данных ДЗ следующие:

- наличие магнитных носителей большой емкости;
- высокая производительность компьютерной системы;
- система визуализации изображений (видеокарта – монитор) должна обеспечивать высокое разрешение, контрастность, хорошую цветопередачу и соответствовать требованиям международного стандарта;
- система вывода должна обеспечивать качественную печать документов на бумажные носители;
- система ввода должна включать широкоформатный сканер с разрешением 600 dpi.

Контрольные вопросы

1. Дайте понятие дешифрования аэро- и космических снимков. Опишите характер его проведения.
2. Исходные положения и последовательность дешифрования аэрокосмических снимков.
3. Что называется стереоскопическим эффектом? Каковы его параметры?

9. АНАЛИТИЧЕСКОЕ ДЕШИФРИРОВАНИЕ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ

9.1. Особенности таксационного дешифрирования космических снимков

Для применения в практике сельского хозяйства в настоящее время доступны космические фото- и сканерные снимки высокого (1–2, 5–10; 15–40 м), среднего (150 м) и низкого (1 км) пространственного разрешения, получаемые в различных спектральных зонах. Для сельскохозяйственного дешифрирования используют снимки высокого разрешения. Снимки низкого и среднего разрешения применяют в охране лесов от пожаров, а также для обобщенного мелкомасштабного картографирования. По их данным дешифрируют границы ландшафтов и местностей, их основные элементы, выделяют площади с растительностью, не покрытые лесом и нелесные земли.

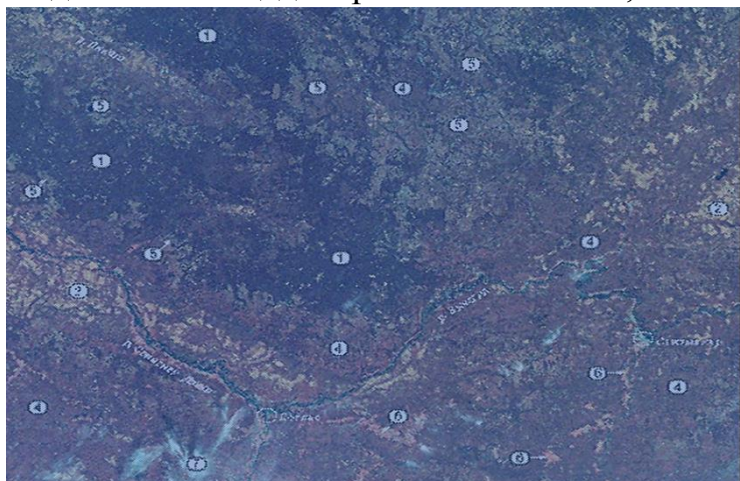


Рис. 119. Природные и хозяйственные объекты, определяемые по космическим снимкам «Ресурс МСУ-СК»

На космических снимках (КС), как и на АФС прямыми признаками дешифрирования являются цвет (тон), структура, текстура изображения, а основными косвенными – ландшафтные, основанные на приуроченности лесов и их отдельных типов к определенным формам рельефа, положенные в основу ландшафтного метода дешифрирования (рис. 119).

Ландшафтный метод предусматривает обязательное изучение и установление пространственных взаимосвязей между природно-территориальными комплексами, расположенными в непосредственном соседстве. Такие взаимосвязи, отраженные в текстуре изображения, дают возможность с достаточной полнотой охарактеризовать всю территорию.

Для выявления и установления внутри- и межландшафтных связей и индикаторов тех или иных компонентов, явлений и процессов разработаны специальные методики ландшафтно-индикационных исследований. При отсутствии выявленных индикаторов на подготовительном этапе к дешифрированию проводится анализ литературных и картографических материалов для установления взаимосвязей между физиономичными и труднонаблюдаемыми компонентами ландшафта. Для целей картографирования лесов представляют интерес следующие сопряженные карты:

- изученности лесов (лесоустроительные);

- топографические;
- геологические – для выявления связи структурных форм с литогенной основой, структурной предопределенностью ландшафтов;
- структурно-геоморфологические – отражающие взаимосвязи форм рельефа со структурным планом строения территории;
- карты четвертичных отложений – для выявления литогенной основы ландшафта;
- почвенные – для выяснения типов почв, материнских пород и их взаимосвязей с другими компонентами;
- растительности – для выявления зависимостей распределения растительного покрова от рельефа, почвенно-грунтовых и гидрологических условий, а также для установления влияния растительности на почвы, подземные воды, формирование микроформ рельефа;
- использования земель – для установления антропогенного воздействия на природные комплексы.

Картографирование и изучение ландшафтов осуществляется путем выделения на космических снимках картографируемых ландшафтных единиц (ландшафт, местность, урочище, фация) по принципу от общего к частному. На основе анализа цвета, структуры и текстуры изображения выделяются первоначально наиболее крупные ПТК, возможные для выделения на снимке данного масштаба. Внутри выделенных единиц проводится более детальное деление (рис. 120).

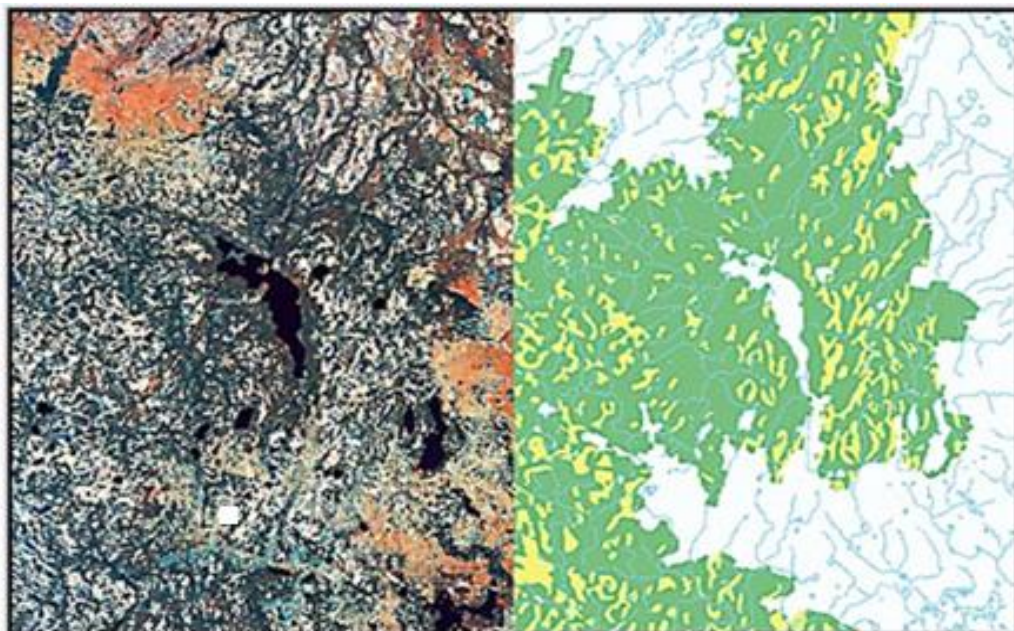


Рис. 120. Космический снимок Landsat ETM+ (слева) и построенная на его основе карта (справа, малонарушенная лесная территория выделена зеленым цветом). Болота в пределах малонарушенной лесной территории (выделены желтым цветом) нанесены на основе общегеографической карты. Архангельская область

Ландшафтное картографирование на основе дешифрирования космических снимков проводится в определенной последовательности. Вначале на снимках поднимается гидрографическая сеть, затем проводятся границы между наиболее крупными ландшафтными единицами. Выделение их контролируется по имеющимся топографическим и тематическим картам. При работе на небольших участках, охватываемых отдельным снимком, ранг ландшафтных единиц предварительного разделения территории соответственно будет ниже. Дальнейшее, более детальное, выделение тематических контуров проводится уже с учетом предварительного ландшафтного разделения изучаемой территории.

Гидрографические объекты опознаются по прямым признакам, в основном по цвету (тону) водных поверхностей водоемов и рек и характерному рисунку гидрографической сети. Искусственные водоемы часто опознаются по гидротехническим сооружениям (плотинам, дамбам), которые определяются по прямолинейному рисунку границ водоема в его расширенной (нижней) части.

Рельеф и его формы опознаются, как правило, по прямым дешифровочным признакам. В первую очередь выявляются крупные морфоструктурные формы мега- и макрорельефа. Далее осуществляется детальное изучение внутреннего строения выделенных крупных морфоструктурных элементов, обособляются элементы морфологических структур более низкого порядка, выявляются выраженные в рельефе элементы разломной тектоники. Для стереоскопического изучения гор с помощью стереоприборов получают стереоскопическую модель местности. Равнинные формы рельефа стереоскопически не воспринимаются, но хорошо выделяются на снимках по косвенным признакам (гидрография, растительность, почвенный покров). Дешифрирование форм рельефа равнинных территорий проводят с использованием топографических карт и выборочной аэрофотосъемки.

Почвенный покров при дешифрировании космоснимков определяется на основе использования прямых и косвенных признаков. На территориях, покрытых древесно-кустарниковой растительностью, характер почвенного покрова может быть установлен на основе косвенных признаков – по взаимосвязи его с характером растительного покрова (видовой состав, тип лесорастительных условий, класс бонитета) и приуроченностью к определенным формам рельефа.

По тону и рисунку изображения выделяются на снимках контуры комплексов или сочетаний почв, имеющих четко выраженные границы.

По дешифровочным признакам возможно выявление отдельных характеристик (свойств) почвенного покрова: его механический состав, засоление, режим увлажнения.

Растительный покров. Древесная растительность опознается на космоснимках всех масштабов по прямым дешифровочным признакам, кустарниково-травянистая – почти исключительно по косвенным признакам.

Отграничение участков, занятых древесной растительностью, от незалесенных территорий проводится по тону (цвету) и рисунку. На снимках высокого разрешения (10 м и лучше) древесная растительность подразделяется по преобладающим породам или их группам (сосна, лиственница), группам возраста, полноты и запаса.

Преобладающие породы или их группы дешифрируют по цвету, микроструктуре и приуроченности к определенным типам лесорастительных условий. Полноту и группы возраста определяют (по снимкам высокого разрешения) на основе микроструктуры полога насаждений и их статистических характеристик; остальные таксационные показатели – расчетным путем на основе взаимосвязей.

Для определения класса возраста преобладающей породы используют морфологические признаки дешифрирования: контурную структуру и текстуру изображения, просматриваемость полога в глубину и др. Завершающим дешифрируемым показателем является относительная полнота, которую определяют визуально стереоскопическим способом или инструментально путем измерения сомкнутости на экране компьютера.

При тренировке и дешифрировании относительной полноты основными признаками являются: просматриваемость полога в глубину, величина промежутков между кронами, общая сомкнутость полога. Кроме того, при ее определении учитывают преобладающую и сопутствующие породы, тип леса, группу возраста, рельеф местности.

Не покрытые лесом и нелесные земли. На спектрзональных и многозональных снимках высокого разрешения отчетливо дешифрируют контуры не покрытых лесом и нелесных земель: вырубок, гарей, болот, сельскохозяйственных угодий, рек. Дешифрируются они на основе фотометрических, морфологических, ландшафтных признаков (рис. 121).

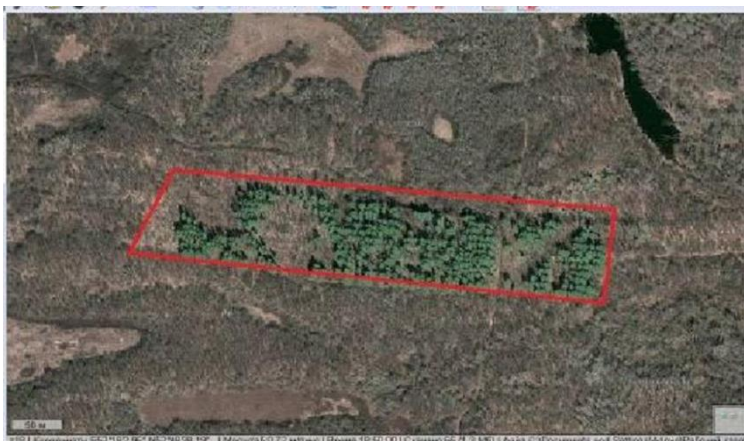


Рис. 121. Благодаря снимкам можно проследить территорию, которая была занята под лесными массивами

Вырубки дешифрируют по светлому тону (цвету) и четким прямоугольным границам, приуроченности к формам рельефа. Цветные снимки усиливают контраст между вырубками и примыкающими стенами леса.

Гари на черно-белых КС более светлого тона, чем насаждения. Обычно они имеют вытянутую в направлении ветров форму. В освоенных районах гари часто приурочены к дорогам.

Болота дешифрируются по прямым признакам – по тону и рисунку изображения. По космическим снимкам могут быть определены

конфигурация болот, степень слитности отдельных элементов, составляющих болотную систему, закономерности распределения болот по территории.

Каменистые россыпи, дороги и другие нелесные земли распознают по специфическим признакам (цвет, рисунок изображения).

Крупные населенные пункты распознают уверенно. При многорядовой застройке они дешифрируются легче, чем при беспорядочной разреженной или рядовой постройке вдоль дороги.

Колочные, поле- и почвозащитные леса дешифрируют по более темному тону, чем у окружающих нелесных земель. По оврагам, балкам и в долинах рек леса имеют вытянутую неправильную форму. Полезащитные лесные полосы имеют разную ширину и прямолинейную форму.

Дешифрированию КС, так же как и аэрофотоснимков, предшествует изучение признаков дешифрирования конкретных съемочных материалов и таксационно-дешифровочная тренировка, которые проводятся на основе типичных выделов – эталонов с проведенной измерительно-перечислительной таксацией и материалов прежнего лесоустройства (планы лесонасаждений и таксационные описания).

Ландшафтные признаки дешифрирования изучают по данным натурных исследований, фондовых материалов, анализа КС. Составляют рабочую таблицу признаков дешифрирования. В ней приводится встречаемость групп типов лесорастительных условий и лесообразующих пород, а в каждой из этих групп – приуроченность их к высоте над уровнем моря, рельефу, экспозиции, крутизне склонов.

Фотометрические и структурные признаки дешифрирования изучают в выделах, ограниченных на КС, имеющих данные наземной перечислительной или измерительной таксации. На основе стереоскопического анализа и сравнения фотоизображения для каждого выдела дается оценка цвета, структуры, текстуры изображения, формы и размеры крон. Результаты анализа признаков дешифрирования заносят в таблицу по преобладающим породам, группам возраста, категориям земель.

Затем проводится тренировка исполнителей, которая заключается в изучении признаков дешифрирования и приобретений навыков распознавания по КС основных категорий земель, состава насаждений, групп возраста, типов леса, полноты (сомкнутости полога).

Дешифрированию КС предшествует их подготовка, заключающаяся в отграничении рабочих площадей, опознавании главных точек, нанесении на снимки линий начальных направлений, границ лесхозов, лесничеств, кварталов, вычислении масштаба по прямым отрезкам между опознанными на

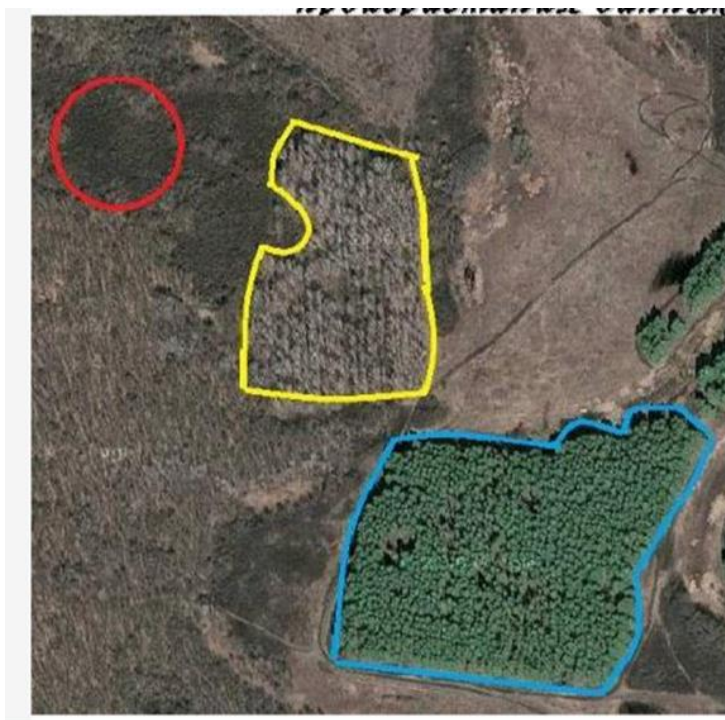


Рис. 122. Различные древесные породы на космоснимке: сосна обыкновенная (отмечена голубым цветом); тополь белый (отмечен желтым цветом); клен ясенелистный (отмечен красным цветом)

снимке территориями и топографическими картами.

Лесотаксационное дешифрирование проводят по максимально увеличенным твердым копиям или изображениям на экране компьютера. На первом этапе на основе стереоскопического анализа ограничивают покрытые лесом земли от не покрытых лесом и нелесных земель. Далее проводят разграничение выделенных укрупненных участков на таксационные выделы (страты). Полученная информация используется в инвентаризации лесов, крупномасштабном картографировании, оценке состояния насаждений (рис. 122). Применение данных КС сокращает затраты труда и средств на выполнение

различных работ и ускоряет сроки их выполнения.

Однако, как показывает опыт, для более широкого применения материалов космических съемок в лесное хозяйство и повышения эффективности от их применения необходимо наряду со снимками с разрешением 10–30–50–150 м иметь снимки с повышенным пространственным разрешением до уровня, который имеют применяемые в лесном хозяйстве аэрофотоснимки (1–2 м).

9.2. Дешифровочные признаки и методология дешифрирования по космическим снимкам пожарной обстановки

Для планирования работ по охране лесов от пожаров органы управления лесным хозяйством и подразделения авиационной охраны лесов от пожаров должны знать метеорологическую и лесопожарную обстановку как в районе нахождения лесных пожаров, так и на всей охраняемой территории. Оперативное получение такой информации обеспечивают космические съемки с метеорологических и ресурсных ИСЗ, с помощью которых снимают одну и ту же территорию несколько раз в течение суток.

Рисунок космического изображения передает морфологию географических, лесопирологических (лесные пожары) и метеорологических

Рис. 123. Участок возгорания леса комплексов. В рисунке



изображения отражаются внутренние связи между данными природными комплексами и процессами, происходящими в них, а также пространственное размещение элементов изображения, характеризующихся специфической структурой и текстурой рисунка (рис. 123).

Ровная матовая структура свойственна открытым участкам водной поверхности, слоистой облачности, туману, шлейфам дыма, задымленным участкам атмосферы. Зернистая текстура (скопление пятен или зерен светлого или темного тона) характерна для изображения кучевой облачности, но иногда размеры зерен настолько малы, что детали формы отдельных облаков полностью скрадываются. Разновидностью этой текстуры является куполообразная – крупные пятна округлой формы. Волокнистая структура – волокна, нити, полосы – характерна для перистых облаков и дымовых шлейфов лесных низовых пожаров. Особый вид текстуры – дендритовая – свойствен изображению рельефа суши и наиболее характерен для гор, покрытых снегом или лесом.

При дешифрировании синоптической и лесопожарной обстановки важное значение имеют тени и тон изображения. Тени иногда очень хорошо передают форму изображенных объектов.

Тон изображения – не что иное, как яркость объекта. Выделяют несколько градаций яркости в системе метеослужбы:

- наиболее светлые участки – облака большой вертикальной мощности и плотности или свежавывавший снег;
- светло-серые участки – районы с неплотной облачностью нижнего или среднего ярусов, а также дымовые шлейфы лесных низовых пожаров;
- темно-серые участки – районы суши, покрытые лесом и другой растительностью;
- темные участки – моря, океаны, озера, реки, свежие гари.

Дешифрирование лесных пожаров. Современные спутниковые системы (Modis, «Метеор») позволяют получать информацию о пожарах с периодичностью 8–12 часов при размерах в несколько га и более (рис. 124).

Основным дешифровочным признаком пожаров на космических снимках являются дымовые шлейфы, характеризующиеся соответственной формой, яркостью, структурой.

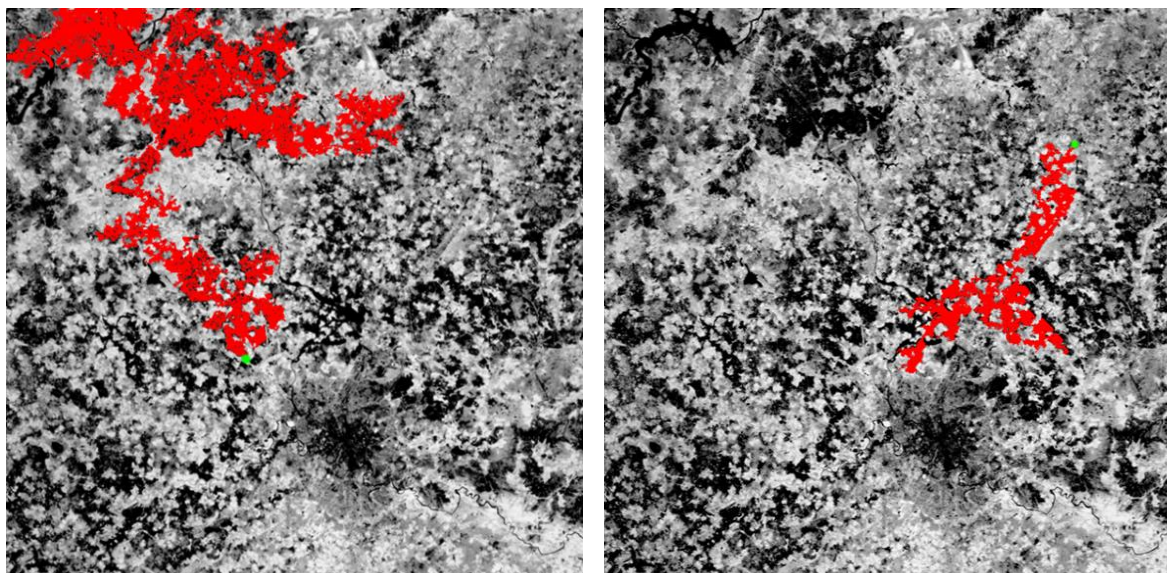


Рис. 124. Модель распространения пожара. Эпицентр возгорания (зеленая точка), зона распространения пожара (окрашена красным)

При низовых пожарах слабой интенсивности изображения дымовых шлейфов напоминают перистую облачность, однако они легко отличаются от нее характерной конусовидной формой шлейфа, вытянутой по направлению ветра. Яркость шлейфа, максимальная в тыловой части, постепенно убывает к фронту и флангам.

Шлейф крупного низового пожара высокой интенсивности на космических снимках напоминает слоистую облачность, однородную по структуре и яркости. Отличие – наличие в тыловой части пожара характерных языков или выступов.

Дешифровочным признаком верхового пожара на космическом снимке является наличие светлого пятна, соответствующего положению кучевого облака.

Пожары большой площади имеют изображения дымовых шлейфов больших размеров при условии, что в приземном слое атмосферы имеет место ветер. Дымы небольших лесных пожаров могут быть обнаружены только на космических снимках более высокого разрешения и более крупных масштабов.

Определение зон задымления от лесных пожаров. В результате лесных пожаров атмосфера может иметь различную степень задымленности.

Сильная задымленность создает определенные трудности в оперативной работе авиационных подразделений. Поэтому при планировании работ по тушению лесных пожаров необходимо знать о степени задымленности территории.

Степень задымленности территории оценивается по 5-балльной шкале с указанием плотности дыма по трем градациям: слабая, средняя и сильная.

Анализ снимков, полученных в разных зонах электромагнитного спектра, позволяет отличать дымовые шлейфы пожаров от перистых и кучевых облаков. Дымовые шлейфы, хорошо распознаваемые в видимой зоне,

почти исчезают в инфракрасной зоне, в то время как атмосферные облака одинаково хорошо просматриваются на изображениях, полученных в той и другой зонах.

Выявление грозовой и ресурсной облачности. Целью выявления синоптической обстановки является прогнозирование процессов возникновения массовых вспышек лесных пожаров от молний на основе космической съемки и данных от радиотехнических средств регистрации молниевых разрядов. Индикатором развития гроз является кучево-дождевая облачность, которая имеет большую вертикальную мощность и значительные поперечные размеры (до несколько км). Наиболее часто массовые пожары возникают после прохождения сухих гроз, развивающихся на верхних и вторичных атмосферных фронтах, и при внутримассовых грозах, которые наблюдаются в антициклоне, в размытом барическом поле.

С помощью космической съемки определяют степень покрытия облаками лесной территории, проводят классификацию облачных систем, связанных с атмосферными фронтами и циклонами, анализируют форму облачных элементов, а также структурные характеристики облачных полей.

Для распознавания грозовой и ресурсной облачности используют телевизионные радиометрические и сканерные космические изображения. Количество облачности характеризуется степенью покрытия облаками того или иного участка земной поверхности и определяется отношением (в %) площади, занятой облачными элементами внутри контура, ко всей площади, ограниченной контуром.

На космических снимках, полученных в разное время дня, можно видеть районы с развитой грозовой и ресурсной облачностью на больших территориях и, сопоставляя их, определять направление ее смещения. Это позволит достаточно оперативно и более экономично планировать работу по выявлению лесных пожаров и искусственному вызыванию осадков в зоне их возникновения, что в свою очередь дает возможность тушить их с меньшими затратами сил и средств.

Дешифрирование снежного покрова. Целью определения границ снежного покрова является установление сроков наступления (окончания) пожароопасного сезона.

Таяние снежного покрова в лесу имеет свои характерные особенности, зависящие не только от условий погоды, но и от экспозиции склонов, состава лесонасаждений, полноты, строения полога, возраста, сомкнутости крон и некоторых других факторов.

Картина залегания снежного покрова хорошо прослеживается на космических снимках. При этом тон изображения заснеженных объектов может меняться от белого до темно-серого в зависимости от мощности и состояния снежного покрова (сухой, талый), рельефа местности, наличия и видового состава растительности, условий съемки.

Наибольшую трудность при дешифрировании снежного покрова представляет облачность, поскольку отражательные свойства этих объектов

примерно одинаковы. Однако вид изображения облачной картины, в отличие от снежного покрова, на снимках быстро меняется.

Контрольные вопросы

1. Дайте понятие аналитического дешифрования космических снимков.
2. Что такое таксационная единица дешифрования космических снимков?
3. На чем основана методология дешифрования?
4. Какие дешифровочные признаки можно выделить? На чем основана методология дешифрования по космическим снимкам пожарной обстановки?
5. Какие элементы оформления дешифрования наносятся на карту?

10. АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ОБРАБОТКА АЭРОКОСМИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

10.1. Цифровое изображение

Поскольку автоматизированная обработка изображений производится на компьютерной технике с использованием специализированного программного обеспечения, необходимо представление аэрокосмической информации в виде цифровых изображений.

Цифровое изображение – массив данных, полученный путем аналого-цифрового преобразования оригинала. Будучи закодированным с помощью особого алгоритма и записанным на носитель, этот массив данных становится файлом.

Цифровые изображения подразделяются на растровые, векторные и смешанного типа.

Растровые изображения представляют мозаику из очень мелких элементов (пикселей), каждый пиксель описывается в таблице. На рис. 125 в качестве примера приведен фрагмент цифрового изображения в растровом виде.



Рис. 125. Растровое
изображение

К растровым изображениям относятся двухмерные массивы данных (матрицы пикселей), каждый элемент которых представляет участок оригинала с усредненным цветовым показателем.

Растровые изображения получают двумя способами.

Первый – сканирование оригинала – производится с помощью особого устройства – сканера, в котором каждый оптический элемент считывает яркостные и цветовые характеристики оригинала. Эти характеристики преобразуются в двоичный код цвета и посылаются в : хмерного массива данных (матрицы пикселей).

Второй способ получения растрового изображения – проецирование оригинала на специальные приборы через систему линз (объектив). Этот способ растрового аналого-цифрового преобразования характерен для цифровых фотоаппаратов и видеокамер.

Основные характеристики растрового изображения – размер и глубина цвета.

Размер изображения в пикселях – это количество строк и столбцов матрицы, использующихся для хранения изображения.

Разрешение цифрового изображения можно произвольно менять, изменяя физический размер картинки при печати, при этом размер матрицы пикселей будет оставаться неизменным.

Глубина цвета — это характеристика, определяющая качество воспроизведения цвета, количество оттенков, которые могут отображать элементы матрицы пикселей.

Каждый элемент массива данных (матрицы) представляет собой число в двоичной системе счисления. Его размерность определяется в битах. Глубина цвета — это количество бит на пиксель изображения.

Недостаток растровых цифровых изображений — невозможность их масштабирования без потери качества.

Второй вид цифровых изображений — **векторные изображения**. Наименьшими элементами векторного изображения являются вектор и кривая Безье.

Вектор в компьютерной графике — это отрезок, соединяющий две точки с заданными координатами.

Векторные изображения получают двумя способами: путем ручного трассирования оригинала и путем автоматического трассирования (рис. 126).

При ручном трассировании изображение создается с нуля — при помощи графического редактора обводятся имеющиеся контуры.

Автоматическое трассирование оригинала производится посредством программного обеспечения, которое с помощью интеллектуальных алгоритмов распознает контуры оригинала, представленного растровым изображением, и на основе полученной информации воссоздает линии, заливки.

На рис. 127 представлено автоматическое трассирование на примере автоматизированного дешифрирования.

Первый этап — подготовка к классификации: выделение эталонных участков по космическому снимку со спутника SPOT (съемочная система HRV, сентябрь 1996 г.)

Рассматривая аэро- или космические снимки, мы невольно выделяем на них объекты, которые различаются по цвету, форме, рисунку изображения. Таким образом, мы подсознательно выполняем визуальное дешифрирование снимков, используя те

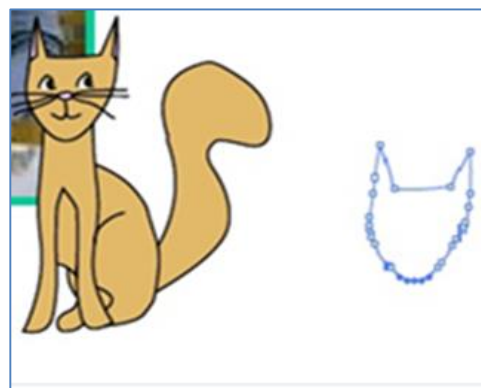


Рис. 126. Векторное изображение

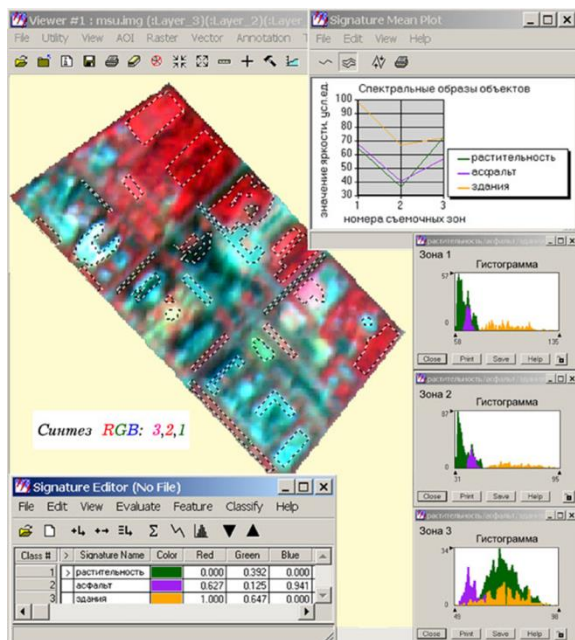


Рис. 127. Автоматизированное дешифрирование по космоснимку со спутника SPOT

или иные дешифровочные признаки, часто не отдавая себе отчета в том, какой из них является решающим.

При автоматизированном дешифрировании необходимо не только выбрать наиболее значимые дешифровочные признаки объектов, но и описать их математически. В настоящее время в качестве такого признака чаще всего используется спектральный образ объекта.

В зависимости от набора значений спектральной яркости каждого пикселя снимка, специальные компьютерные программы определяют его принадлежность к тому или иному классу объектов, т. е. выполняют классификацию объектов.

На рис. 128 представлены результаты «контролируемой» классификации, которая выполнена для территории университетского городка по трем зонам космического снимка со спутника SPOT: 1 – зелено-желтой, 2 – оранжево-красной и 3 – ближней инфракрасной.

При контролируемой классификации заранее задаются типы классов объектов, которые нужно выделить. Для каждого класса по исходному снимку выделяются эталонные участки. Их границы показаны на рисунке слева пунктирными линиями. Здесь же приведены спектральные образы объектов и графики распределения яркостей эталонных участков (гистограммы) в каждой из зон. Они показывают, насколько правильно выбраны эталоны.

После такой подготовительной работы компьютерная программа проводит классификацию: сравнивает спектральный образ каждого пикселя со спектральными образами эталонов и относит его к одному из заданных классов. В результате создается новое цифровое изображение, каждый пиксель которого с определенной степенью вероятности соответствует тому или иному классу объектов. Такое изображение после оценки результатов классификации и дополнительного редактирования может служить основой для подготовки полноценной тематической карты.

Типы и количество классов объектов, выделяемых при классификации, зависят от поставленной задачи. Например, для оценки озелененности университетского городка достаточно выделить два класса: 1 – участки, занятые растительностью, 2 – все остальные объекты. При этом эталонами для

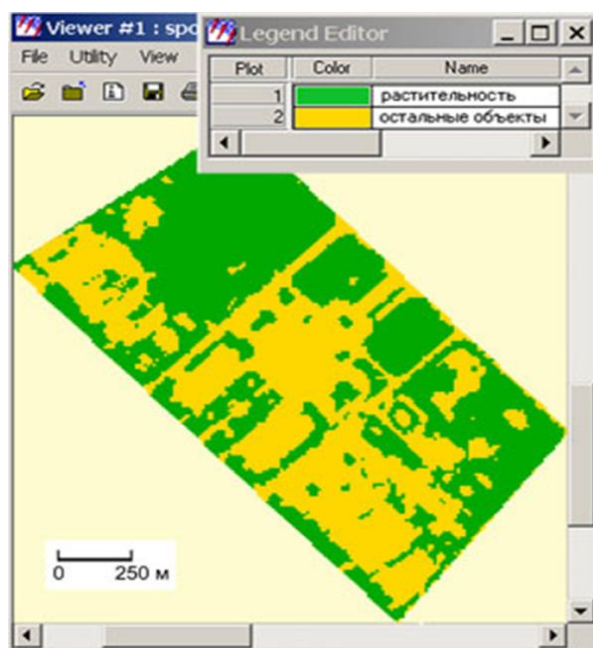


Рис. 128. Результаты выделения класса «растительность» по трем зонам космоснимка со спутника SPOT

первого класса послужат участки с газонами и парками. Класс «все остальные объекты», включающий пиксели с большим разбросом значений спектральной яркости, объединит несколько классов объектов, таких как асфальтированные поверхности, здания и некоторые другие.

Основное достоинство векторного изображения – это возможность масштабирования без потери качества. Еще одним плюсом векторных изображений является сравнительно небольшой размер файлов, их содержащих. Это делает удобной передачу векторных изображений по электронным каналам связи.

Недостаток векторных изображений – они почти всегда воспроизводят оригинал в упрощенном виде. Некоторые детали оригинала бывает невозможно воспроизвести в векторном изображении.

Сравнительная характеристика растровой и векторной графики *Таблица 3*

Характеристики	Растровая графика	Векторная графика
Элементарный объект	пиксель (точка)	контур и внутренняя область
Изображение	совокупность точек (матрица)	совокупность объектов
Фотографическое качество	да	нет
Распечатка на принтере	легко	иногда не печатаются или выглядят не так
Объем памяти	очень большой	относительно небольшой
Масштабирование и вращение	нежелательно	да
Группировка и разгруппировка	нет	да
Форматы	BMP, GIF, JPG, PCX, TIF	WMF, EPS, DXF, CGM

В табл. 3 представлены сравнительные характеристики растровой и векторной форм.

Цифровые **изображения смешанного типа** представляют собой массивы данных, содержащие информацию как в виде матрицы пикселей, так и в виде описания векторов.

В основе вертикальной структуры векторно-растровых изображений лежит понятие слоя.

Слой – это область данных, содержащая информацию об отдельном элементе вертикальной структуры изображения.

Векторно-растровые изображения получают из исходных векторных и растровых элементов путем сведения с помощью графических редакторов.

Изображения смешанного типа сочетают в себе достоинства и недостатки тех типов изображений, которые присутствуют в них в виде слоев.

Основным достоинством изображений смешанного типа является возможность свободного редактирования каждого слоя отдельно, а основным недостатком – большой объем массива данных и конечного файла.

Цифровые изображения могут иметь различные форматы в зависимости от целей работы – высокое качество изображения, хорошее качество, но не очень большой объем. Рассмотрим различные виды форматов:

- *.bmp – официальный графический формат платформы Microsoft. Используется внутри некоторых программ, так как легко считывается (иконки, обои и др.), поддерживает только цветовую модель RGB. Занимает очень много места;

- *.psd – внутренний формат в Photoshop. Поддерживает все цветовые модели, любую глубину цвета, слои и контуры. В нем хранят многослойные макеты;

- *.gif – режим индексированных цветов (не более 256), имеет альфа-канал (прозрачность), возможна анимация из нескольких кадров. При уменьшении количества цветов очень мало весит;

- *.jpg, *.jpeg – сложный алгоритм сжатия, малая потеря качества при сжатии, поддерживает основные цветовые модели и любую глубину цвета. Предназначен для хранения полноцветных фотографий. Для полиграфии не рекомендуется;

- *.tif – на него можно положиться во всех ситуациях, кроме публикации в Интернет.

Существует два основных типа цифровых изображений – количественные и тематические. В количественных изображениях числовые значения пикселей обозначают некоторые относительные величины реальных физических параметров отображаемых объектов. Например, яркость, высоту над уровнем моря, температуру, вегетационный индекс и т. п. В тематических изображениях числовые значения пикселей могут обозначать некоторые цифровые коды, например коды категорий земель, древесных пород, или номерные значения, например номера классов, выделенных при автоматизированной классификации.

На рис. 129 представлены топографическая карта и ее тематические слои.

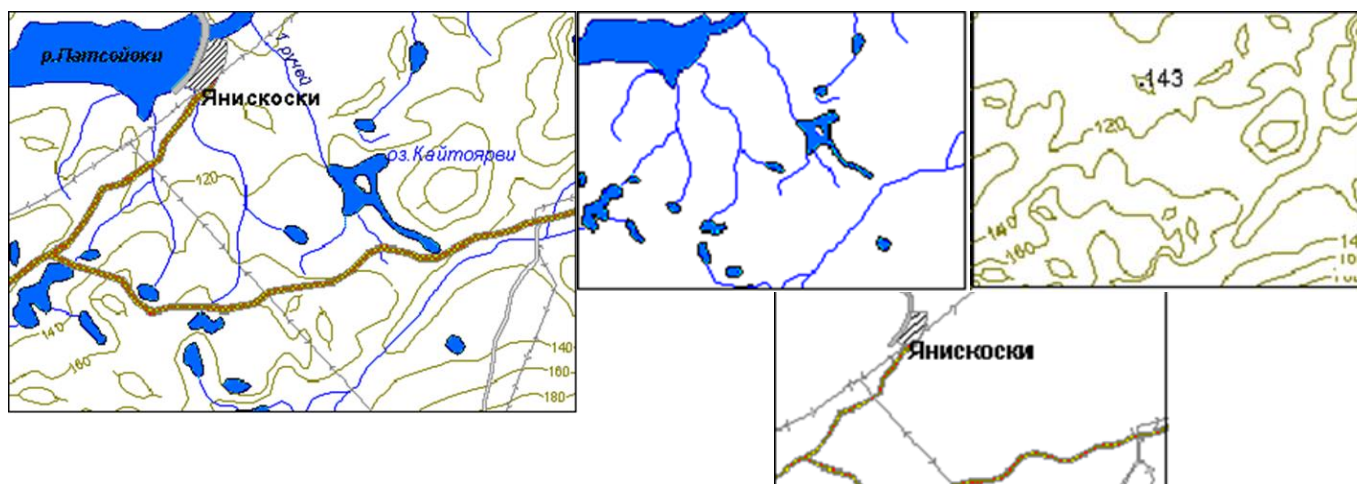


Рис. 129. Общий вид топографической карты и ее слои

В практике геоинформационного картографирования принято разделять содержание карт на тематические слои. В тематический слой объединяются объекты одной природы (например, горизонтали, речная сеть, озера, дороги, лесные ареалы и т. п.).

«Хорошим тоном» при разработке ГИС считается не совмещать в одном слое объекты разных графических типов – линейные (реки), площадные (озера) и точечные (родники), а формировать для каждого из них отдельный слой. В ряде ГИС, например в ArcView, это является обязательным требованием.

Таким способом достигается возможность получать карты различного содержания, комбинируя разные слои. Некоторые слои, такие как границы, гидрологическая сеть, как правило, присутствуют всегда; другие (рельеф, растительность, дорожная сеть) показываются лишь в некоторых случаях.

10.2. Предварительная обработка изображений

Данные дистанционного зондирования из космоса или с воздушных носителей проходят несколько этапов обработки. После первичной обработки, осуществляемой в темпе поступления информации на наземные пункты приема и обработки информации, заключающейся в «распаковке» радиосигналов, разделении данных по каналам, выделении служебной информации и формировании видеокадров, производится предварительная обработка полученных изображений.

Предварительная обработка проводится с целью приведения цифровых космических изображений к виду, максимально удовлетворяющему конкретным целям и задачам дальнейшей их обработки. Получаемые в результате предварительной обработки вторичные изображения должны позволять потребителю информации выполнять с некоторой гарантированной точностью необходимые геометрические и радиометрические измерения.

Как правило, значительная часть предварительной обработки производится в организациях, осуществляющих съемку. При этом ими

выполняются только те виды коррекций, которые являются универсальными и не зависят от тематики дальнейшего использования изображений. Такая предварительная обработка называется междотраслевой.

Предварительная обработка, имеющая целью подчеркивание тематической информации, выполняется поставщиком информации в соответствии с требованиями потребителя и с использованием специально подобранных цепочек преобразований и алгоритмов или непосредственно потребителем.

Основными составляющими предварительной обработки изображений являются:

- радиометрическая калибровка снимков;
- радиометрическая коррекция влияния атмосферы;
- геометрическая коррекция спутниковых изображений;
- сжатие данных;
- улучшение изображений.

Радиометрическая калибровка снимков. Снимки, первоначально получаемые со спутников, записаны в виде так называемых сырых значений яркости DN (Digital Number). Данные в таком формате нельзя адекватно сопоставить с данными других съемок. Задача радиометрической калибровки заключается в приведении этих значений в физические единицы.

Формула для калибровки многозональных снимков в оптическом диапазоне:

$$B^*_\lambda = K_\lambda DN + C_\lambda,$$

где B^*_λ – энергетическая яркость для спектральной зоны λ ;

DN – сырые значения яркости;

K_λ – калибровочный коэффициент;

C_λ – калибровочная константа, соответствующая минимальной величине регистрируемой яркости.

Радиометрическая коррекция призвана устранить влияние на значения пикселей изображений приборных и атмосферных помех.

Существует несколько типов приборных помех, связанных с геометрией сканирования приборов дистанционного зондирования и влияющих на качество изображения:

– «стриппинг» – наличие вертикальных или горизонтальных полос, возникающих в результате ухудшения чувствительности детектора по отношению к другим детекторам датчика сканирующего прибора;

– «шумы», как в бортовой, так и в наземной аппаратуре приема и обработки данных, приводят к образованию импульсных случайных всплесков сигналов, произвольно расположенных по всему полю изображения;

– «сбойные строки», возникающие в результате потери функции передачи модуляции сигнала, поступающего на вход детектора во время

сканирования (подобно эффекту ослепления сетчатки глаза при работе вспышки фотоаппарата).

Влияние атмосферы не всегда четко проявляется на спутниковых изображениях, так как является составной частью сигнала, поступающего на вход приемного датчика. Однако для более тонкого последующего тематического анализа изображений, например получения количественных характеристик объектов или выявления изменений территории, необходимо устранять погрешности в значениях пикселей, вызванных атмосферными эффектами.

Устранение указанных приборных и атмосферных помех на изображениях производится по специально разработанным алгоритмам в процессе межотраслевой обработки.

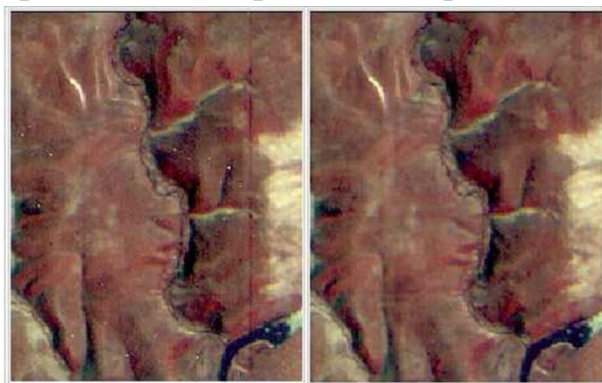


Рис. 130. Удаление сбойных пикселей и вертикальных полос (МСУ-Э, статистический метод)

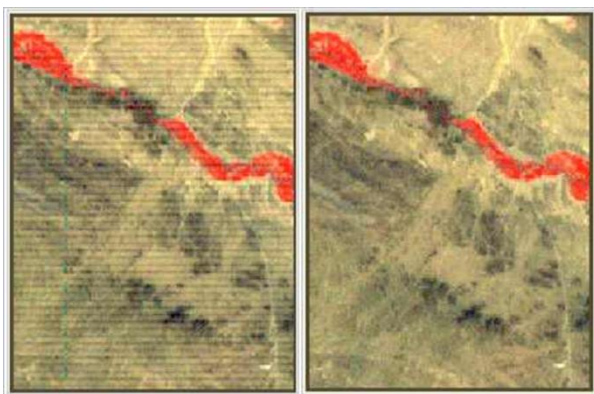


Рис. 131. Удаление горизонтальных полос (МСУ-СК, статистический метод)

На рис. 130 представлено удаление сбойных пикселей и вертикальных полос

На рис. 131 представлено удаление горизонтальных полос.

Радиометрическая коррекция данных ДЗЗ выполняется в основном двумя методами:

- с использованием известных параметров и настроек съемочного прибора (корректировочных таблиц);
- статистически.

В первом случае необходимые корректировочные параметры определяются для съемочного прибора на основе длительных наземных и полетных испытаний. Коррекция статистическим методом выполняется путем выявления дефекта и его характеристик непосредственно из самого изображения, подлежащего коррекции.

Как следует из определения, качество коррекции в первом случае выше, чем при статистическом расчете, так как такой тип коррекции учитывает особенности системы, которая такие данные производит.

Атмосферная коррекция. *Поглощение и рассеивание.* При прохождении через атмосферу электромагнитные волны поглощаются и рассеиваются, причинами являются: озон, водяной пар, углекислый газ, кислород, метан, пыль, дым.

Облачность. Облачность является помехой при съемке в оптическом диапазоне.

Поглощение, рассеивание и облачность вызывают искажение значений яркости пикселей на снимках.

Способы атмосферной коррекции:

1. Облака и туманы хорошо видно на фоне воды, так как в красном и ИК-участках спектра поверхность воды по своим оптическим характеристикам близка к абсолютно черному телу. Поэтому содержание в атмосфере водяного пара и аэрозолей (дыма) можно оценить по снимкам, включающим участки морей и океанов.

2. Существуют математические методы построения моделей состояния атмосферы с учетом типов рассеяния в атмосфере, времени года, метеорологических данных. Для уточнения таких моделей используют наземное измерение отражательной способности объектов во время полета спутника.

Следующий этап предварительной обработки изображений – это **геометрическая коррекция**. Геометрическая коррекция включает в себя устранение на изображении геометрических искажений (орторектификация) и географическую привязку.

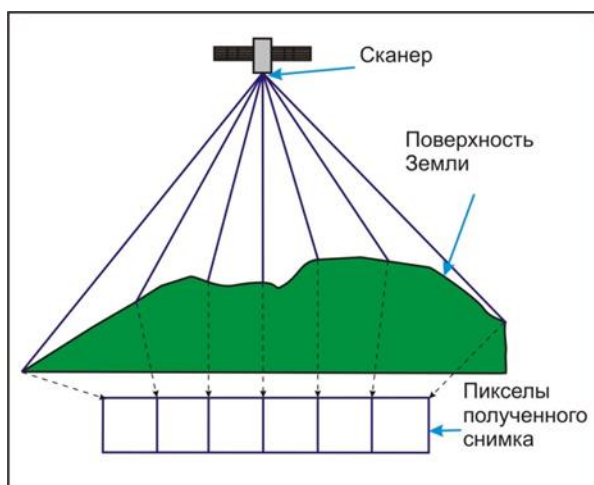


Рис. 132. Искажение изображения, вызванное кривизной рельефа

Существует несколько причин геометрических искажений, однако эти причины действуют совместно. Кроме того, следует отметить, что для разных типов космических снимков комбинация этих причин различна. 1. Кривизна поверхности Земли. Геометрические искажения снимков, вызванные кривизной поверхности Земли, получаются в результате того, что точки сканируемой местности не лежат в одной плоскости и наблюдение ведется не в надире, а под углом. Поэтому при удалении от центральной линии сканирования (где съемка

ведется в надире) искажение формы и размера объектов увеличивается (рис. 132).

Искажение формы объектов. Прямая линия на местности будет кривой на снимке, квадрат прямоугольником и т. д. Этим типом искажения можно пренебречь, если угол обзора сканера невелик (MSS-Landsat, угол обзора примерно $5,8^\circ$).

Искажение масштаба. Для снимков, сделанных оптико-механическим сканером (MODIS, AVHRR, ETM и MSS-Landsat, Aster (TIR)), масштаб при удалении от центральной линии снимка становится мельче. То есть если взять

два пикселя снимка – один из центральной области снимка, а второй из боковой – то пиксель из боковой области будет содержать большую площадь Земли, хотя размер их одинаков.

2. Неровности рельефа. Их вызывают те же искажения, что и кривизна поверхности Земли, но устранить их трудно по причине того, что формы рельефа сложнее, чем форма Земли, которая близка к сфере.

Поскольку космические снимки делают с большой высоты, то влияние форм рельефа незначительно, поэтому данный тип искажений учитывают лишь для горных областей.

3. Вращение Земли. Поскольку сканирование Земли из космоса происходит не мгновенно, как фотосъемка, то вращение Земли (за 1 мин Земля поворачивается на $0,25^\circ$) вызывает изменения условий съемки в процессе сканирования одной сцены.

4. Движение космического аппарата в процессе формирования изображения. На качество и свойства снимков влияет форма и высота орбиты спутника. Например, круговая орбита обеспечивает одинаковую высоту съемки земной поверхности, а следовательно, для одной и той же аппаратуры – одинаковый охват и разрешение снимков.

Геометрическая коррекция призвана устранить искажения полученного цифрового изображения, вызванные влиянием вращения и кривизны Земли, особенностями сканерной развертки, наличием перспективных искажений.

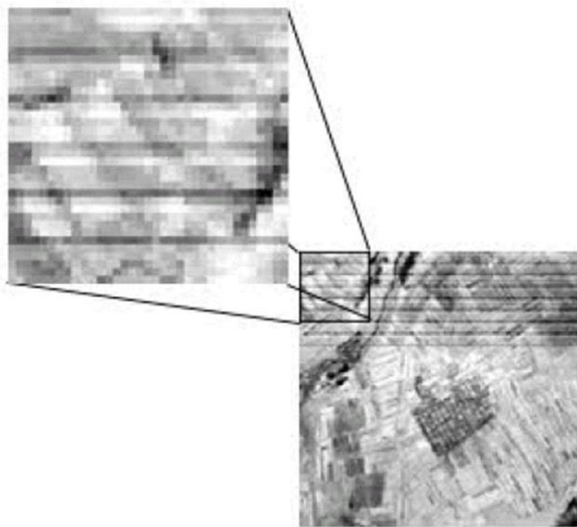
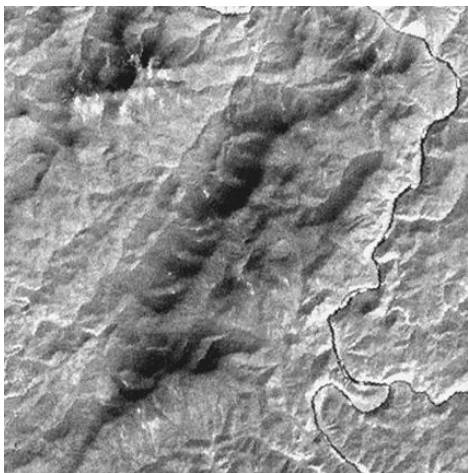


Рис. 133. Восстановление пропущенных пикселей и контрастирование

Следующий этап предварительной обработки изображений – **сжатие изображений**. Производится с целью уменьшения объема, занимаемого цифровыми изображениями, для их хранения и передачи. Изображения занимают намного больше места в памяти, чем любые другие данные. Так, изображение Landsat только в одном канале занимает около 70 Мб, не говоря уже об изображениях более высокого разрешения. Поэтому хранение и обработка таких объемных файлов вызовет определенные трудности. При создании алгоритмов

сжатия – компрессии графики – используются особенности структуры изображения.

Существующие методы сжатия изображений можно разделить на две условные категории – архивацию (сжатие) и компрессию (конвертирование). Разница между этими способами в том, что второй не подразумевает полного восстановления исходного сохраненного изображения в полном качестве.



Программы архивации анализируют наличие в сжимаемых данных некоторых одинаковых последовательностей и исключает их, записывая вместо повторяющегося фрагмента ссылку на предыдущий такой же (для последующего восстановления). Наибольшее распространение имеют алгоритмы архивации RLE, CCITT, LZW, ZIP.

При компрессии (конвертировании) данных обычно информация немного «портится» по сравнению с оригинальной, но этими искажениями можно управлять, а при их небольшом значении ими вполне можно пренебречь. Файлы при этом занимают значительно меньше дискового пространства, чем файлы с использованием архивации.

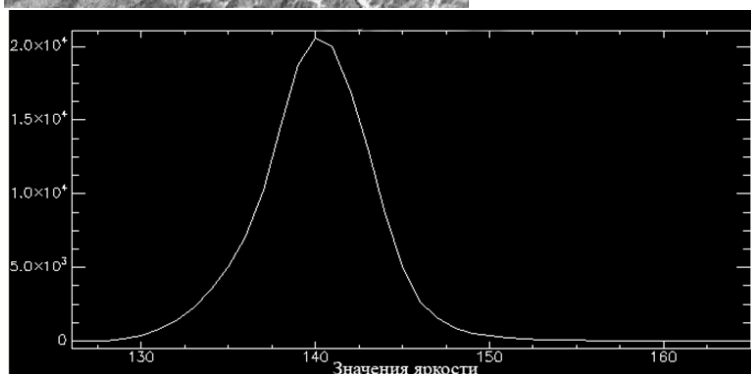


Рис. 134. Исходный снимок: диапазон значений яркости от 126 до 165, среднее = 140

Улучшение изображений производится с целью усиления визуальной различимости анализируемых элементов изображения. При улучшении изображений используют преимущественно радиометрические методы. Наиболее распространенные из них – это различные методы восстановления пропущенных пикселей, контрастирования (рис. 133), эквализация, пастеризация, алгебраические операции.

«Пропущенные пиксели» могут возникнуть во время съемки или передачи данных, также случается замена значений

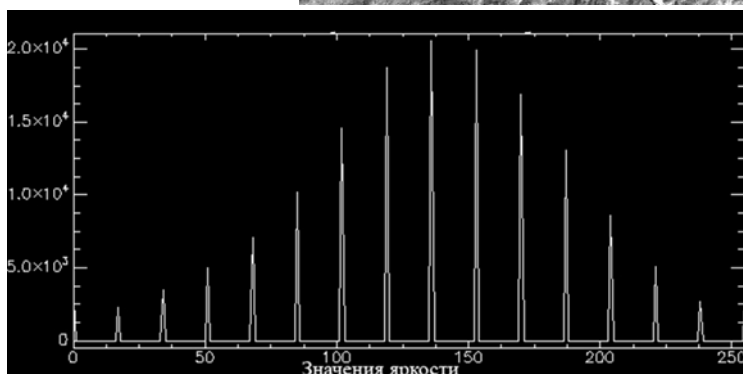
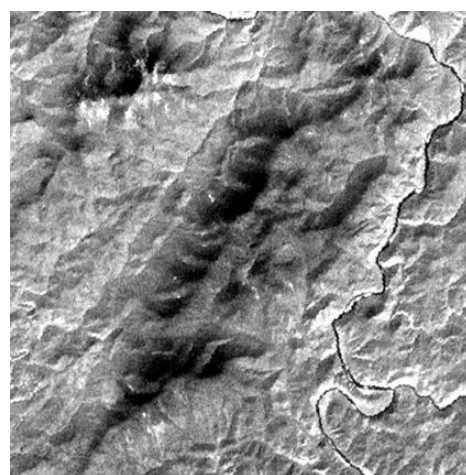


Рис. 135. Снимок после линейного растягивания гистограммы: диапазон значений яркости от 0 до 255, среднее = 136.7

яркости целой строки значениями соседней строки. Такие явления могут стать помехой при тематической обработке снимка. Пропущенные пиксели можно восстановить путем интерполяции с определенной погрешностью.

Контраст изображения – это разность между максимальным и минимальным значениями яркости.

Слабый контраст – наиболее распространенный дефект изображений. Существует несколько методов повышения контраста путем цифровой обработки. Операция повышения контрастности снимка может быть использована при визуальном дешифрировании снимков (например, чтобы подчеркнуть границы объектов).

Различают линейное, нелинейное, кусочно-линейное контрастирование. Линейное и нелинейное контрастирование получили от видов функции, применяемой в этой процедуре.

Линейное растягивание гистограммы. Всем значениям яркости присваиваются новые значения с целью охватить весь возможный интервал изменения яркости (0, 255). На рис. 134 и 135 представлены исходный и линейный снимок.

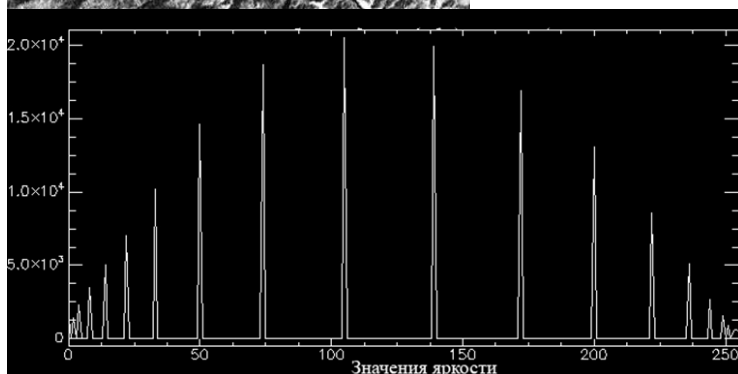
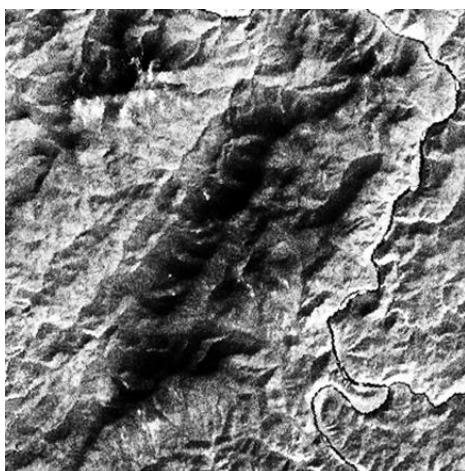


Рис. 136. Снимок после выравнивания гистограммы: диапазон значений яркости от 0 до 255, среднее = 115,9

Эквализация – процедура нелинейной коррекции изображений, при которой происходит перераспределение значений пикселей внутри гистограммы с целью ее приблизительного выравнивания в количественном отношении всех пикселей. На снимках в процессе выравнивания происходит изменение значений яркости пикселей таким образом, чтобы для каждого уровня яркости было одинаковое или близкое количество пикселей.

К улучшению снимков также относится фильтрация. Фильтрация – это преобразование, которое позволяет усилить воспроизведение тех или иных объектов, подавить нежелательное вуалирование, устранить другие случайные помехи (шум) (рис. 136).

Один из самых простых способов фильтрации

преобразование в скользящем окне. При таком преобразовании пересчитываются значения яркости всех пикселей изображения. Пересчет происходит для каждого пикселя таким образом: когда данный пиксель

является центральным в окне, которое «движется» по снимку, ему дается новое значение, которое является функцией от значений окружающих его в окне пикселей. Размер окна может быть, например, 3×3 или 5×5 пикселей. Каждый раз окно смещается на 1 пиксель и движется до тех пор, пока не пройдет весь снимок. Для всех пикселей окна исследователь устанавливает весовые коэффициенты исходя из целей дешифрирования.

10.3. Интерактивный метод дешифрирования

Данный метод основан на рациональном сочетании знаний и опыта дешифровщика и возможностей компьютерных технологий. Простейшим примером этого метода является дешифрирование по изображению на экране монитора.



Рис. 137. Дешифрирование снимка при помощи визуальной таблицы цветовых значений

Объектом анализа при интерактивном дешифрировании являются цифровые изображения различного происхождения. Это могут быть переведенные в цифровую форму аэро- и космоснимки, многоканальные сканерные изображения, радарные изображения и др. (рис. 137).

В отличие от дешифрирования по фотоснимкам при интерактивном методе дешифрирования можно корректировать визуализируемое на экране изображение и преобразовать его в наиболее информативный и удобный для дешифрирования вид. Также имеется возможность оперативно увеличивать или уменьшать изображение до масштаба, позволяющего извлечь максимум информации.

При интерактивном методе получаемые контуры сразу формируются в векторном или растровом виде.

Практически все современные методы автоматизированной классификации изображений являются интерактивными, поскольку требуют либо предварительного участия опытного дешифровщика в процессе подготовки и настройки классификатора, либо участия после классификации для оценки результатов.

10.4. Методы автоматизированной классификации спутниковых изображений

10.4.1. Общий подход к классификации цифровых изображений

Под классификацией понимается процесс отнесения объектов растрового цифрового изображения к одному из заранее заданных тематических классов. Основанием для этого служит некоторая совокупность критериев близости значений свойственных им признаков. Применительно к изображениям процесс классификации часто называют сегментацией.

Тематическими классами применительно к территории лесного фонда могут быть категории земель, насаждения с преобладанием различных древесных пород или групп пород, групп возраста, полнот, запаса и т. д. Соответственно, результатом классификации изображения могут быть карты категорий земель с отображением покрытых лесом земель, вырубок, болот; карты лесонасаждений, характеризующие распределение покрытых лесом земель по преобладающим породам или их группам, карты распределения насаждений по классам состояния и др.

Существующие методы классификации делятся на контролируемые и неконтролируемые. Автоматизированная контролируемая (управляемая) классификация основывается на использовании для разделения пространства признаков на классы характеристик распознаваемых классов, получаемых с помощью специально подобранных эталонов – так называемой обучающей выборки. Контролируемая классификация требует предварительного формирования набора эталонов, соответствующих образам или распознаваемым типам объектов земной поверхности (тематическим классам). Эталоны могут быть идентифицированы с помощью аэрофотоснимков, данных наземных обследований или существующих карт.

Неконтролируемая (неуправляемая) классификация относится к разряду автоматических и менее зависящих от управления со стороны пользователя процедур. Обучения здесь не производится. Пользователь лишь определяет некоторые параметры (количество выделяемых классов-кластеров), используемые затем системой для выявления статистически различимых групп объектов (пикселей, участков, выделов) на основе анализа самих данных. Результатом такой классификации является набор автоматически сформированных классов, называемых обычно кластерами, которые образуются объектами со сходными значениями признаков распознавания. Этот подход используется, когда знания об объекте отсутствуют или недостаточны для проведения качественного обучения.

Как управляемая, так и неуправляемая классификации изображений основаны на использовании наборов спектральных, текстурных, геометрических и других характеристик объектов, называемых сигнатурами. Каждому заданному при обучении классу или полученному автоматически кластеру соответствует своя сигнатура, которая используется для установления принадлежности к нему классифицируемых объектов

изображения. Сигнатуры при этом могут быть параметрическими и непараметрическими.

Параметрические – основаны на статистических параметрах объектов, относящихся к обучающей выборке (средняя яркость, дисперсия).

Непараметрические – это описания классов в пространстве признаков, как правило, в виде n -мерных гистограмм значений параметров объектов (пикселей, выделов), принадлежащих каждому классу (n равно количеству параметров).

После определения сигнатур все минимальные объекты изображения (пиксели, выделы) могут быть отнесены на их основе к определенному классу.

Задача классификации состоит на первом этапе в оптимальном разбиении пространства признаков на области решения таким образом, чтобы каждая из них относилась к одному из различных классов с минимальным перепутыванием, а затем в создании классификатора, позволяющего относить любой произвольный пиксель изображения к классу, в область решения которого он попадает.

10.4.2. Методы управляемой классификации изображений

Управляемая классификация обычно предпочтительна в случаях, когда необходимо выделить относительно небольшое число классов и когда пользователь имеет возможность задать на изображении обучающую выборку. Обучающая выборка представляет собой совокупность участков, подкрепленных, как правило, информацией из других проверенных источников (например, материалов наземного обследования) или уверенно опознаваемых однородных территорий, соответствующих каждому из выбранных классов.

После создания и оценки соответствующего набора сигнатур производится собственно классификация изображения, каждый пиксель которого анализируется независимо. Вектор признаков каждого пикселя сравнивается с сигнатурами в соответствии с решающими правилами.

В теории распознавания применяют следующие методы:

- вегетационные индексы (рис. 138);
- метод главных компонент (рис. 139);
- метод параллелепипеда;
- минимальных расстояний;
- метод расстояния Махаланобиса;
- метод максимума правдоподобия;
- метод двоичного кодирования.

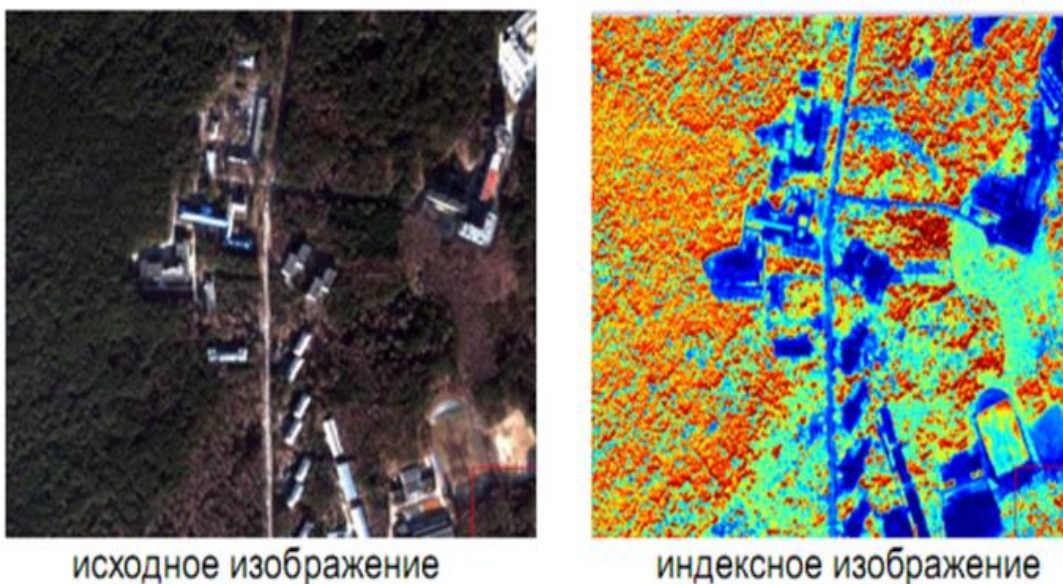


Рис. 138. На изображениях, полученных в соответствии с вегетационными индексами, хорошо видна растительность. В ряде случаев даже можно подразделить деревья по породам

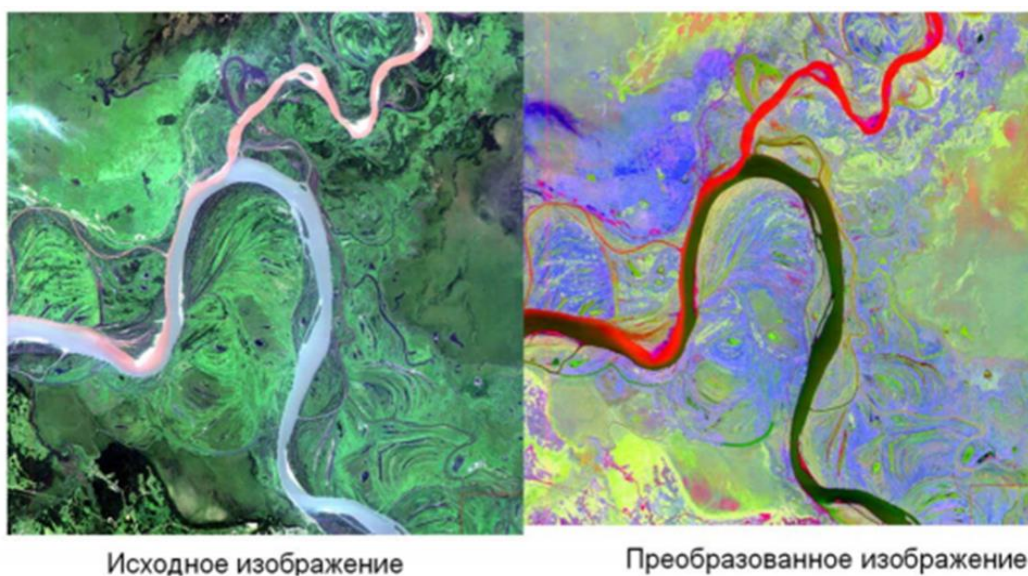
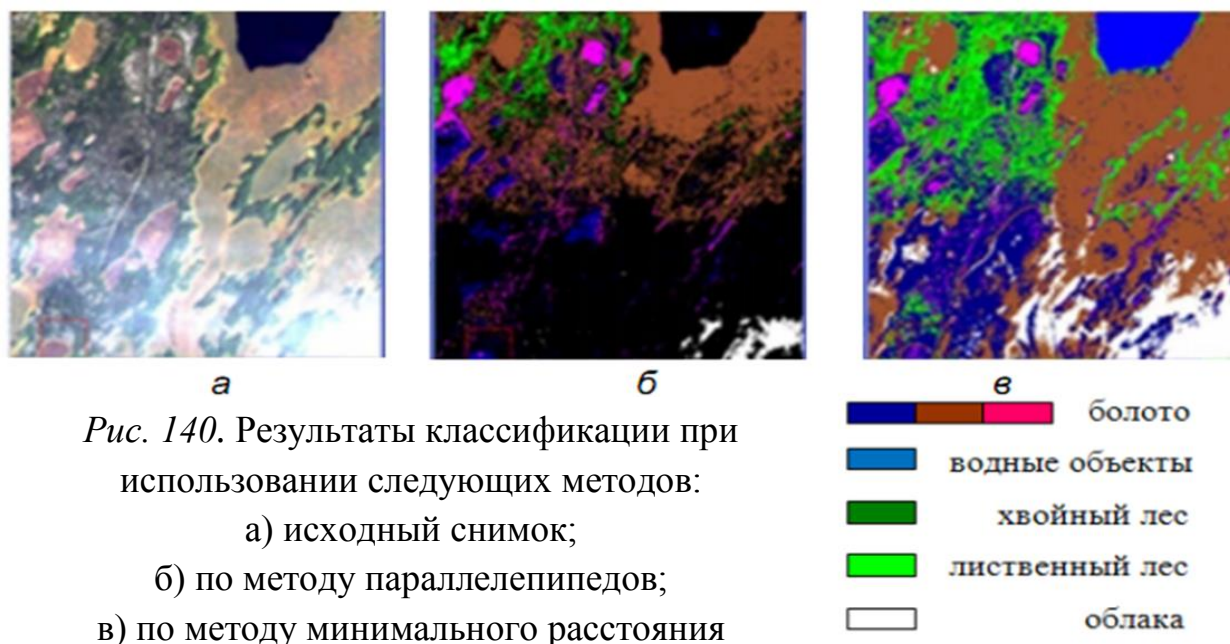


Рис. 139. Преобразование по методу главных компонент улучшает процесс визуального дешифрования растительности и позволяет разделять лесные массивы на классы по типу растительности

Использование других алгоритмов представлено на рис. 140 и 141.

Метод параллелепипеда основан на сравнении значений пикселей изображения с заданными нижними и верхними пределами. После того как



значения нижнего и верхнего пределов признаков каждой сигнатуры определены, пиксель считается принадлежащим заданному классу в случае, если его значение попадает в интервал между ними.

В случаях, когда пиксель попадает в область перекрытия двух и более полигонов, пользователь сам определяет, к какому классу они будут отнесены, или может отказаться от их классификации. В последнем случае пиксели попадут в разряд неклассифицированных.

Метод минимального расстояния основан на вычислении евклидовых расстояний в пространстве признаков между вектором значений произвольного пикселя и векторами средних значений для каждой сигнатуры. Пиксель считается принадлежащим классу, расстояние от которого до среднего значения сигнатуры оказывается минимальным. Близким к данному методу является подход, учитывающий изменчивость значений пикселей внутри сигнатур отдельных классов и основанный на вычислении в пространстве признаков расстояний.

Близким по сути к методу минимального расстояния является **метод расстояния Махаланобиса**.

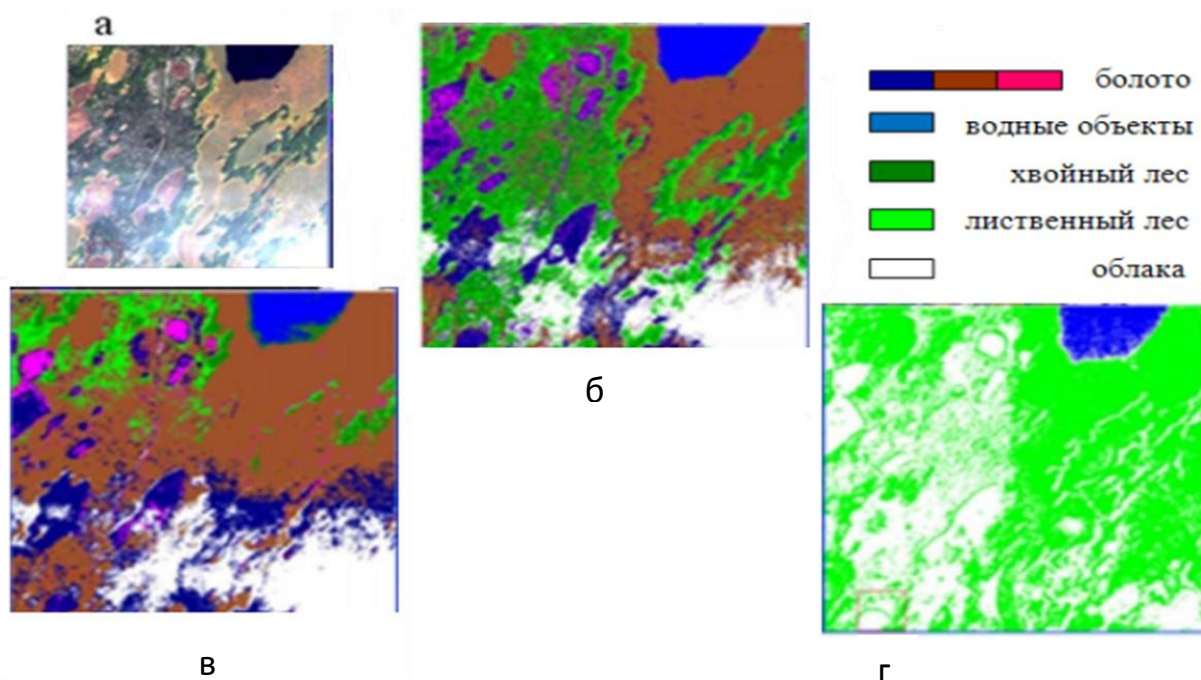


Рис. 141. Результаты классификации при использовании следующих методов: а) исходный снимок; б) по методу расстояния Махаланобиса; в) по методу максимального правдоподобия; г) по методу двоичного кодирования

Метод максимального правдоподобия (классификация по Байесу) основан на вычислении вероятности принадлежности пикселя классу в предположении нормального распределения значений признаков с учетом априорной вероятности встречаемости каждого класса, задаваемой весовыми факторами.

Методы неконтролируемой классификации изображений

Методы неконтролируемой классификации, часто называемые кластерным анализом, или кластеризацией, основаны на естественной группировке классифицируемых объектов изображения на базе анализа пространства признаков, полученного по всем объектам изображения. Они не требуют предварительного обучения классификатора, однако после классификации на пользователя возлагается задача интерпретации полученных классов (кластеров). Существуют три разновидности методов кластерного анализа. К первой из них относятся методы, основанные на отыскании моды распределения. Идея этих методов состоит в том, что кластеры соответствуют максимумам плотности распределения данных. Поэтому необходимо оценивать плотность распределения и отыскивать все максимумы (моды), каждый из которых соответствует некоторому кластеру. Затем каждый объект (пиксель) может быть отнесен к одному из кластеров на основе некоторого критерия, устанавливающего границы между кластерами в

пространстве признаков. Данный метод не требует задания числа кластеров для выполнения анализа.

Если число кластеров известно заранее, можно воспользоваться второй разновидностью кластерного анализа – методом, в котором в качестве критерия используется отношение внутрикластерной и межкластерной дисперсий. В основе такого подхода лежит идея о том, что пиксели (объекты) принадлежат кластеру с наиболее близким средним значением.

Наиболее широко известен алгоритм ISODATA, относящийся к данной разновидности методов кластерного анализа. Этот алгоритм относится к категории самоорганизующихся, поскольку требует минимальных априорных знаний пользователя для задания исходных параметров. Указанный алгоритм использует критерий близости точек в пространстве признаков.

Третья разновидность – иерархические схемы кластеризации. При их использовании обычно каждый минимальный объект кластеризации (чаще пиксель) рассматривается как отдельный кластер. Затем пары ближайших (наиболее похожих) кластеров объединяются; этот шаг повторяется вплоть до получения единственного кластера. В результате применения этого метода строится некоторая разновидность дерева, называемая дендрограммой, и отображающая процесс последовательного объединения кластеров с учетом соответствующей меры кластеризации. Окончательный вариант кластеризации выбирается по дендрограмме пользователем.

Получаемые при неконтролируемой классификации классы-кластеры являются машинными, т. е. выделенными на основе математического анализа признаков близости объектов по некоторым заложенным в алгоритмах кластеризаций критериям. Поэтому во всех случаях завершающим этапом кластеризации является процесс идентификации кластеров, т. е. процесс установления их принадлежности определенным тематическим классам или группам классов.

10.5. Оценка разделимости классов и точности результатов классификации изображений

В процессе анализа результатов классификации проводят предварительную оценку возможности разделения выбранных тематических классов. Имеются различные критерии для оценки разделимости классов. Наиболее часто используемые:

Дивергенция – дифференциальный оператор, отображающий векторное поле на скалярное (т. е. операция дифференцирования, в результате применения которой к векторному полю получается скалярное поле), определяющий (для каждой точки), «насколько расходится входящее и исходящее из малой окрестности данной точки поле» (точнее – насколько расходятся входящий и исходящий поток).

Трансформированная дивергенция.

Расстояние Джеффриса – Матусита.

Процедура классификации сопровождается оценкой получаемых результатов на основе прямых или косвенных критериев точности.

Косвенная оценка – оценивается вероятность правильной классификации каждого пикселя. Чем ближе пиксель расположен в пространстве признаков к классу, к которому он был отнесен по результатам классификации, тем выше вероятность того, что классификация выполнена правильно.

Прямая оценка точности классификации выполняется на основе сравнения полученных результатов с данными, принимаемыми в качестве достоверных, и получаемыми, как правило, по материалам наземного обследования.

10.6. Методология автоматизированной обработки спутниковых изображений при картографировании и мониторинге лесов

Распознавание категорий земель и классов лесных насаждений

В основе распознавания и картографирования, по данным ДЗ категорий земель лесного фонда и классов лесных насаждений, различающихся породной и возрастной структурой, полнотой, условиями местопроизрастания и другими характеристиками, лежат спектрально-яркостные различия. Наиболее выражены эти различия в красной и ближней ИК-областях спектра.

Обработка изображений может производиться путем контролируемой или неконтролируемой классификации (кластеризации). При дешифрировании лесов предпочтительнее использовать методы контролируемой классификации. При их применении первоначально определяется перечень тематических классов.

Для обучения классификатора и дальнейшей оценки точности классификации формируются набор обучающих и контрольных участков – по несколько участков для каждого тематического класса в каждую выборку. Для каждого класса по обучающим участкам производится расчет статистических показателей сигнатур: минимальное, максимальное, среднее значения и дисперсия в каждой спектральной зоне. В результате для каждого класса создаются наборы статистических показателей сигнатур.

Далее проводится анализ сигнатур. Для этого могут использоваться сами значения показателей сигнатур, сведенные в таблицу, линейные графики сигнатур или матрицы.

Анализ позволяет выявить тематические классы, имеющие довольно близкие, перекрывающиеся сигнатуры.

Дополнительное использование спутниковых данных в других спектральных диапазонах оптического излучения, например средней и дальней ИК-областях спектра, а также в радиодиапазоне может повысить вероятность распознавания категорий земель и типов лесных насаждений.

10.6.2. Выявление изменений в лесах по спутниковым изображениям

Выявление различных изменений в лесах основано на сопоставлении разновременной информации. При этом изображения могут выступать в качестве источника информации о состоянии лесного покрова в некоторые фиксированные отсчеты времени или применяться в сочетании с другими пространственно-координированными данными о лесах, например, такими как карты или базы данных ГИС. Методы анализа изображений при этом имеют существенные отличительные особенности.

На рис. 142 представлена схема, отражающая основные положения, заложенные в методологию выявления изменений в лесах и обновления данных о лесном фонде с использованием спутниковых изображений и ГИС.

Банк данных ГИС представляет организованную совокупность цифровых карт и атрибутивных данных и формируется по материалам последнего лесоустройства и топографическим картам. В состав банка данных ГИС может также включаться цифровая модель рельефа.

Методологией выявления изменений в лесах по спутниковым изображениям предусмотрено последовательное выполнение ряда этапов:

- предварительная обработка изображений;
- выявление изменений;
- постобработка изображений участков изменений для их подготовки к включению в цифровую карту лесных насаждений;
- актуализация цифровых карт и информации о лесном фонде в составе банка данных ГИС.

Методология выявления изменений в лесах по спутниковым изображениям предполагает выполнение комплекса взаимосвязанных последовательных процедур (этапов). В обобщенном виде она включает следующие последовательные действия:

- формирование поля сигнальных признаков (это преобразованные спутниковые изображения) – требует участия экспертов;
- селекция областей интереса на изображении или поле сигнальных признаков – выполняется с использованием банка данных ГИС и предназначена для ограничения на изображении участков с заданными свойствами, например выделение некоторых категорий земель;
- выявление пикселей – кандидатов в участники изменений лесного покрова по аномалиям яркостей изображения или поля сигнальных признаков;

– классификация и интерпретация аномальных пикселей для выявления участков изменений в лесах на основе экспертного анализа с использованием банка данных ГИС.



Рис. 142. Схема основных положений актуализации данных о лесном фонде с использованием спутниковых изображений и ГИС

Контрольные вопросы

1. Как осуществляется обработка аэрокосмических изображений?
2. В каком формате следует сохранять отсканированное изображение?
3. Сколько контрольных точек необходимо для регистрации изображения?
4. Какие методы классификации спутниковых изображений существуют?
5. Как можно выявить изменения в лесах по спутниковым изображениям?
6. Что называется банком данных ГИС? Для чего он необходим?

11. КАРТОГРАФИРОВАНИЕ

11.1. Общие понятия о лесной картографии

Материалы аэрокосмических съемок используются при составлении различных картографических материалов, характеризующих лесной фонд. К ним могут быть отнесены простые фотопланы, ортофотопланы, фотосхемы, лесоустроительные планшеты, планы лесонасаждений, карты лесов лесохозяйственных предприятий, мелкомасштабные тематические карты лесов. Обычно картографические работы, основанные на использовании аэрокосмических снимков, начинаются с их фотограмметрической обработки.

Технология цифровой фотограмметрической обработки одиночного снимка включает ряд этапов:

- подготовительные работы – это получение исходных материалов;
- ввод изображения – это преобразование фотоснимков в цифровую форму на сканере, для цифрового снимка этот процесс не выполняется;
- векторизация или корректировка векторизованного изображения.

Векторизация может проводиться в ручном или автоматизированном режимах. В процессе векторизации по материалам привязки на сканированное изображение переносятся опорные точки. При этом автоматически считываются их координаты;

– трансформирование векторизованного изображения – это одна из основных задач фотограмметрической обработки снимков. Под трансформированием понимается преобразование аэро- или космических снимков, полученных в центральной проекции, в ортогональную или какую-либо иную картографическую проекцию. Трансформирование может быть графическим, оптико-механическим, аналитическим и другим;

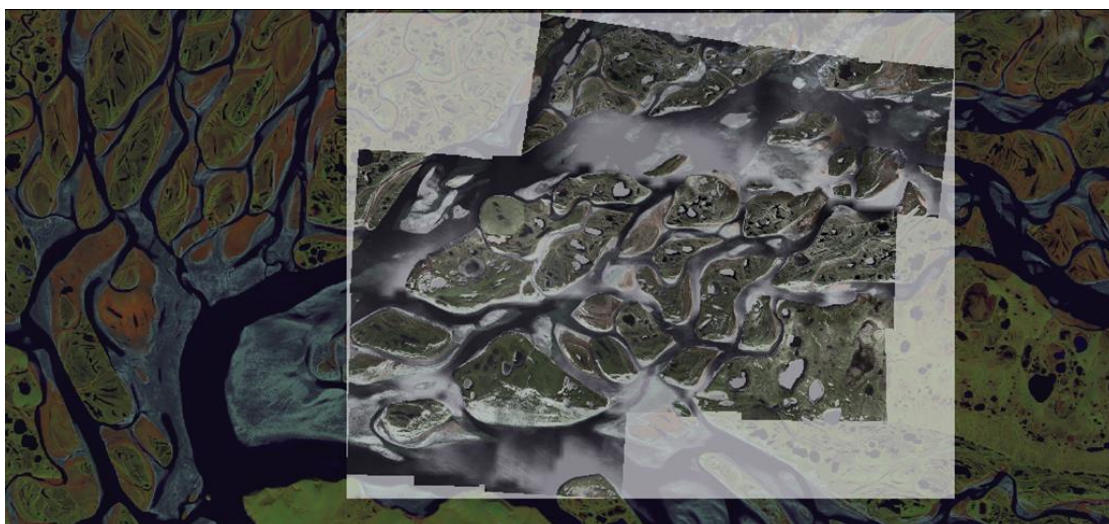


Рис. 143. Космоснимок ресурсного спутника Landsat и фотоплан

- полученные трансформированные снимки сшиваются – объединяются в общее электронное изображение. То есть следующий этап – объединение (сшивка) трансформированных снимков или их частей (фрагментов);
- создание контурного плана.

К картографическим материалам, созданным на основе аэро- и космических изображений, относят:

1. Фотоплан – это высокоточное фотографическое изображение местности в заданном масштабе, изготовленное на основе монтажа (механического или компьютерного) из трансформированных приведенных в горизонтальную проекцию и одному масштабу снимков. На фотопланы обычно наносят горизонтали, координатную сетку и условные знаки некоторых элементов ситуации (рис. 143).

Фотоизображение, по которому составлялся фотоплан, удаляют. В редких случаях оставляют, поскольку оно несет максимум информации об изображенных на нем объектах, при этом фотоплан с фотоизображением называют фотокартой. Такие фотокарты создают на объекты рекреационного значения – парки, лесопарки, объекты садово-парковой культуры.

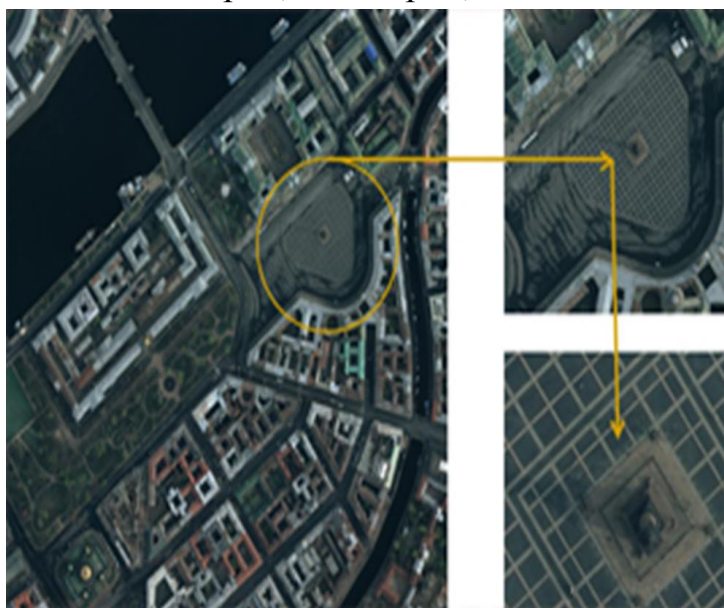


Рис. 144. Цифровой ортофотоплан
(аэрофотокамера DMC)

2. Ортофотоплан – фотографическое изображение местности в ортогональной проекции. Первоначально их изготавливали на горные территории. В настоящее время их получают при лесоустройстве на различные районы местности с любыми превышениями и формами рельефа (рис. 144).

3. Фотосхема – фотографическое изображение местности, составленное из рабочих площадей контактных (в масштабе съемки) или увеличенных до необходимого масштаба аэрокосмических фотоснимков. Их используют для изучения санитарно-лесопатологического состояния лесов, оценки состояния лесовозобновления и в иных целях.

Фотосхемы делятся на:

- простые – составляют путем монтажа центральных частей (рабочих площадей) не трансформированных снимков;

- уточненные – составляют из центральных частей трансформированных снимков. По сути – это упрощенный фотоплан, поскольку все фотоснимки, из которых он составлен, приведены к одному масштабу.

4. Цифровые карты.

Цифровая модель местности содержит информацию о рельефе и о ситуации. Она представляет собой массив чисел, каждым элементом которого

являются три координаты (X, Y, Z) точки местности и зашифрованная цифровым кодом какая-либо тематическая информация об этой точке местности. Разделив эту информацию, получают цифровую модель рельефа и цифровую модель ситуации.



Рис. 145. Цифровая модель рельефа

Под цифровой моделью рельефа (ЦМР) понимают совокупность пространственных координат (X, Y, Z) точек земной поверхности. Цифровая модель ситуации содержит информацию о плановых координатах (X, Y) точек, которые лежат на границах различных объектов. Это могут быть границы участков лесного фонда, категорий земель, лесотаксационных выделов (рис. 145).

Цифровые модели местности в виде цифровых (электронных) карт, фотопланов, контурных фотопланов, топографических фотопланов, ортофотопланов, фотокарт и топографических планов являются базой для создания различной картографической продукции, используемой землеустроительными, лесоустроительными и другими организациями.

Цифровая электронная карта объединяет цифровую модель рельефа и цифровые модели ситуации. Каждая отдельная цифровая модель ситуации является слоем ЦК, которые накладываются на ЦМР. Цифровые карты значительно информативнее традиционных графических карт благодаря послойному их хранению (рис. 146).



Рис. 146. Совмещение слоев карты и ортофотоплана

Цифровые карты не имеют масштаба, в них используют географические координаты. При визуализации цифровая карта может быть представлена в любом масштабе, но не крупнее того, точность которого соответствует точности исходных данных для создания ЦК.

5. Еще одним картографическим материалом является **цифровая модель рельефа** – это плавная поверхность, проходящая через точки с известными высотами, описываемая некоторой функцией,

определяющей зависимость отметки точки местности от ее плановых координат.

Используемые для построения ЦМР отметки пикетов получают по данным полевых геодезических измерений, по топографическим картам, путем стереофотограмметрической обработки снимков.

Различают регулярные и нерегулярные ЦМР в зависимости от расположения пикетов.

Более широко распространены регулярные ЦМР, в которых пикетные точки располагаются в узлах сетки квадратов, прямоугольников, равносторонних треугольников (рис. 147).

Регулярная ЦМР наиболее простая. Она легко строится, особенно если в данном районе проводились геодезические работы.

Недостатки регулярной ЦМР:

- ключевые точки рельефа (вершины, впадины) не всегда совпадают с узлами сетки;

- требуют больших трудозатрат при разбивке узловых точек на местности и определении высотных положений в каждой из них;

- в случае резко меняющегося рельефа, если размеры ячеек очень большие, то значительная часть информации может не отразиться в ЦМР (овраги). При уменьшении размеров ячеек на довольно однородной части рельефа будет переизбыток точек, т. е. будет занят значительный объем памяти и потребуются лишние затраты времени и труда на ввод высотных отметок в узлах сетки.

Нерегулярные ЦМР – точки размещаются в произвольном порядке, но с заданной частотой и плотностью. Чем сложнее рельеф, тем гуще должна быть сетка. Такая ЦМР позволяет ввести все ключевые точки рельефа.

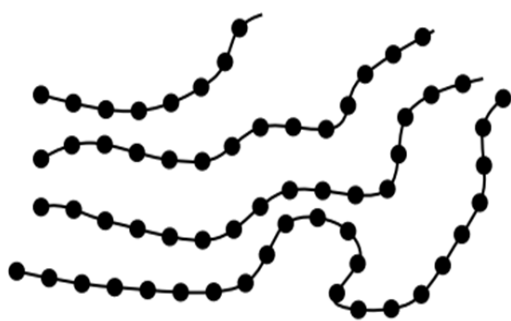


Рис. 148. Для каждой из этих точек необходимо ввести номер, координаты и высотную отметку

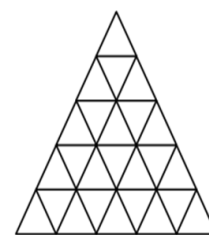
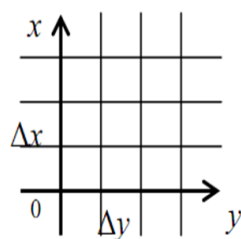


Рис. 147. Схема расположения пикетных точек регулярных ЦМР

Недостаток: для каждой точки необходимо ввести ее номер, координаты (x, y) и высотную отметку h (рис. 148).

Разновидностью нерегулярной сетки является сетка, образующаяся при сканировании картографических материалов.

Узловые точки располагаются на горизонталях. Расстояние между точками произвольное в пределах 8–30 м в зависимости от рельефа.

Заключение: По ЦМР можно получить данные об отметке любой точки

местности, что необходимо при цифровой фотограмметрической обработке одиночных снимков.

11.2. Фотосхемы

Рассмотрим более детально фотосхемы – один из видов картографических материалов изображения.

Фотосхемой называют фотографическое изображение местности, составленное из рабочих площадей снимков. Материалом для монтажа фотосхем служат контактные и, реже, увеличенные снимки.

Преимущества фотосхем:

1. Для их изготовления не требуется геодезической подготовки снимков и на монтажные работы уходит мало времени.
2. Фотосхемы можно использовать как приближенный картографический материал на стадии предварительного изучения территорий и эскизного межевания.
3. Фотоизображение содержит большой объем самой свежей информации о состоянии угодий, объектов инфраструктуры, водоемов и др.
4. Фотосхемы – более удобный материал, чем отдельные снимки, для тех видов дешифрирования, в которых требуется выявление взаимосвязей элементов ландшафта, закономерностей строения рельефа на больших территориях, например при почвенном дешифрировании или мелиоративных изысканиях.
5. Фотосхемы – незаменимый материал при выполнении дешифровочных работ с борта самолета или вертолета (аэровизуальное дешифрирование).

Способы изготовления фотосхем

Изготавливают преимущественно одномаршрутные фотосхемы. Монтаж их может быть осуществлен или по соответственным точкам, или по начальным направлениям.

1. Способ монтажа фотосхем по соответственным точкам. При монтаже по соответственным точкам могут быть применены два варианта – индивидуальная и совместная обрезка снимков.

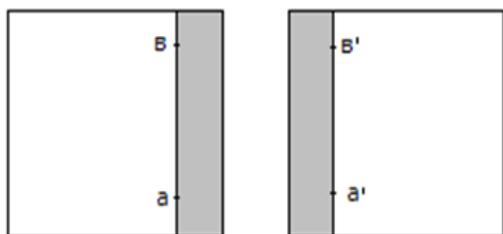


Рис. 149. Схема индивидуальной обрезки

При *индивидуальной* обрезке вблизи средней линии продольного перекрытия стереопары снимков выбирают и накалывают две надежно распознаваемые точки, которые располагаются на возможно большем расстоянии друг от друга. Затем по прямой линии их обрезают. Последовательно обрезают все снимки маршрута (рис. 149).

Для *совместной* обрезки смежные снимки накладывают один на другой, добиваясь наилучшего совмещения элементов изображения вдоль средней линии перекрытия. Закрепленные грузиками два смежных снимка стереопары разрезают совместно по кривой

или ломаной линии. Отрезанные средние части снимков наклеивают безводным клеем на плотную подложку.

Достоинство рассмотренного способа – высокая производительность и простота технологии. Однако влияние рельефа местности и угла наклона снимка на смещение точек, используемых при монтаже, может существенно искривить направление фотосхемы даже при идеальной прямолинейности съемочного маршрута.

2. Способ монтажа по начальным направлениям сложнее по технологии и менее производителен, но он позволяет сохранить то направление маршрута, которое было при съемке, например прямолинейное.

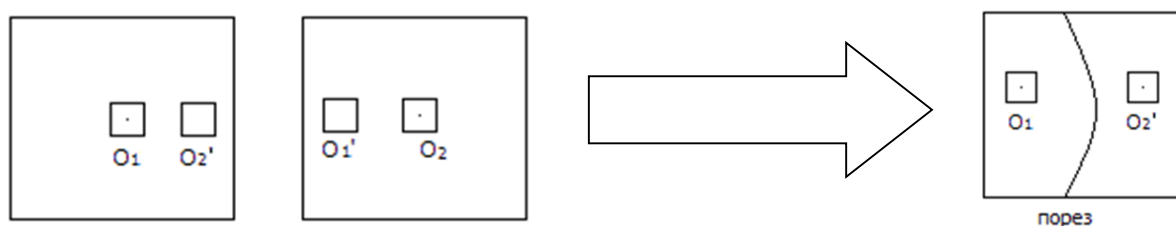


Рис. 150. Схема монтажа по начальным направлениям

Технология монтажа этого способа следующая. На всех снимках накалывают *рабочие центры* – четкие точки изображения – на левом снимке точка O_1 , а на правом точка O_2 , затем эти точки находятся на смежных снимках. Опознают и накалывают выбранные рабочие центры на смежных снимках.

После этого правый снимок накладывают на левый так, чтобы точки O_1' и O_1 совпали. Снимки прикрепляются грузиками и обрезают.

Основные части соединяются по линии так, чтобы изображение контуров совпало со снимками. Для получения качественных фотосхем они перекрепляются (рис. 150).

11.3 Мелкомасштабные тематические карты лесов

Назначение карт и их топографическая основа. Мелкомасштабные карты лесов могут использоваться при обосновании, планировании и решении различных хозяйственных и научных задач: инвентаризации природных ресурсов, охраны природы, обоснования выделения водоохранных, защитных лесов, планирования лесоустроительных работ.

При составлении тематических мелкомасштабных карт лесов наибольший эффект достигается при использовании в качестве основы материалов космических съемок. При этом применяют трехступенчатый метод получения информации:

I ступень – космическая, по ее материалам составляют топографическую основу карт и выполняют сплошное тематическое дешифрирование картографируемой территории;

II ступень – самолетная, используется для выборочных аэровизуальных обследований или аэрофотосъемки, по которым уточняют результаты

дешифрирования космических снимков и получают недостающие данные, которые по космическим снимкам не были получены;

III ступень – наземная, предназначена для изучения закономерностей структуры лесного фонда и дешифровочных возможностей космических снимков, контроля точности дешифрирования и картографирования, а также сбора фондовых лесоинвентаризационных и иных материалов, характеризующих лесной фонд.

Для лесных мелкомасштабных карт в качестве топографической основы применяют фотопланы, ортофотокарты, топокарты, масштаб которых близок к масштабу составляемых карт.

Топографическая основа карты должна содержать общегеографические элементы: гидрографическую сеть, основные населенные пункты, пути сообщения, границы, рельеф суши. Составленная и откорректированная в цифровом виде рабочая основа хранится отдельным слоем в ГИС.

Специальное содержание карт. При создании карты основным этапом является определение содержания (легенды) карты, исходя из ее назначения, масштаба, детальности начальной информации.

Легенда карты лесов может отображать в пределах каждого выдела следующие основные данные, которые могут быть отдельными слоями ГИС:

- преобладающую лесообразующую породу (кедр, сосна, лиственница) или группу пород – показывается цветом;

- сопутствующие преобладающие породы. Доминирующая по площади преобладающая порода в выделах на карте обозначается цветом, а сопутствующая преобладающая – условным знаком, принятым легендой;

- в покрытых лесом выделах с наличием значительных площадей мозаично размещенных гарей, вырубок, дополнительно к цвету преобладающей породы могут проставляться условные знаки гари, рубки и других категорий земель;

- группы возраста (молодняки, средневозрастные, приспевающие, спелые, перестойные насаждения);

- группы запасов древесины на 1 га (для приспевающих, спелых и перестойных насаждений). Группы запасов древесины на карте могут обозначать штриховкой;

- группы полнот насаждений (указывают только на картах М 1:200000): низкополнотные (0,3–0,5), среднеполнотные (0,6–0,7) и высокополнотные (0,8 и выше);

- не покрытые лесом земли: редины, гари, погибшие насаждения, рубки;

- нелесные земли: сенокосы, пашни, болота, тундры, воды;

- площади, не выражающиеся в масштабе карты, но необходимые для характеристики картографируемой территории, – показываются условными значками или цветом;

- границы лесохозяйственных предприятий, участки лесного фонда переданных в аренду категорий лесов, заповедников;

– дороги лесохозяйственные, общего пользования.

Специальное содержание карты групп леса включает всю основную информацию, имеющуюся на карте лесов, за исключением сопутствующих пород, групп возраста, запасов и полноты. Хранение послойно информации в цифровом виде в ГИС позволяет оперативно использовать ее в различном сочетании при составлении карт различного тематического содержания.

Контрольные вопросы

1. Что называют картографией? Где она используется?
2. Что называют цифровой фотограмметрической обработкой снимка? Какие основные этапы она включает?
3. Какие виды картографических материалов используется в ГИС-технологиях?
4. Каково назначение карт и их топографической основы?

12. МОРФОЛОГИЯ ПОЛОГА ДРЕВОСТОЕВ

12.1. Структура полога насаждений

12.1.1. Классификация и отличительные признаки на аэроснимках основных показателей форм крон деревьев

Дешифровщик при стереоскопическом рассматривании аэроснимков видит не все насаждение, а верхнюю его часть – полог. Полог леса – совокупность крон сомкнувшихся деревьев, размещающихся в одном или нескольких ярусах. В простых древостоях лесной полог образуется одним ярусом деревьев, в котором кроны размещаются примерно на одном уровне с отклонением на 10–15 % от средней высоты древостоя. Лесной полог в смешанных и сложных древостоях формируется из нескольких ярусов.

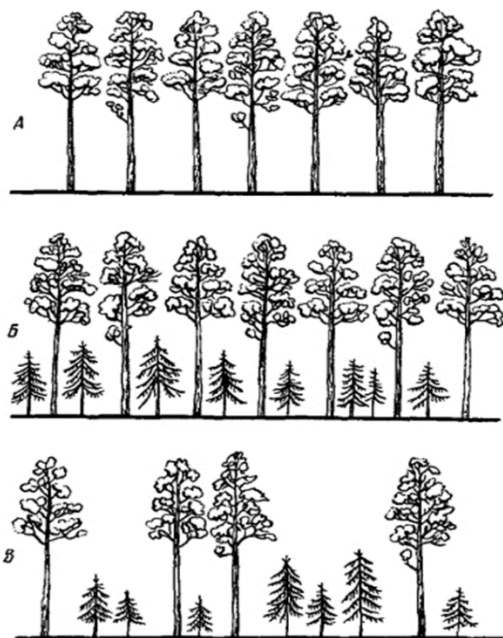


Рис. 151. Схема сомкнутости

древесного полога:

А – горизонтальная;

Б – вертикальная;

В – ступенчатая

(по Г. Р. Эйтингену)

В одноярусном простом по составу насаждении древесный полог, особенно в верхней части, которая изображается на аэроснимках, складывается из сходных между собой крон, смыкающихся на одной высоте. Глубина полога таких насаждений наименьшая, разница в высоте деревьев и длине крон невелика, смыкаются они примерно на одной высоте, создавая **горизонтальную сомкнутость полога**. При невысокой полноте в таких насаждениях на аэроснимках хорошо просматривается земная поверхность (при отсутствии густого подроста и подлеска). В двухъярусных насаждениях, где вершины крон деревьев второго яруса смыкаются с нижними частями крон деревьев первого яруса, ясно выражена **вертикальная сомкнутость полога**. В многоярусных насаждениях, состоящих из нескольких пород, у которых различные высота, форма и длина крон, имеет место **вертикально-ступенчатая сомкнутость**.

Глубина полога в таких насаждениях наибольшая, а просматриваемость в стереоскоп незначительная.

На рис. 151 представлены различные виды сомкнутости древесного полога.

Установление состава древесных пород и других таксационных показателей насаждений (средних высоты и диаметра на высоте груди, полноты, возраста и др.) по аэроснимкам крупных и средних масштабов

основано на различиях в изображениях форм и цвета (тона) крон, их размерах, структуре полога. При этом детально сравнивают кроны на сходство и различия по внешним признакам и их размерам.

К числу основных показателей форм крон относятся: h – высота дерева; диаметр кроны D_k , длина кроны l_k , высота до наибольшей ширины кроны h_{Dk} , высота до начала (окончания) кроны h_{Ok} (рис. 152).

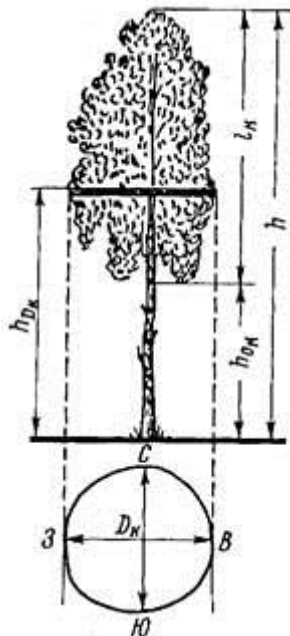


Рис. 152. Показатели формы и размеров кроны

Округлая	
Неправильноокруглая	
Эллипсовидная	
Однoboкoвытянутая	
Узорчатая	

Рис. 153.

Классификация крон деревьев в горизонтальном разрезе

Высота до наибольшей ширины делит крону на две части – верхнюю и нижнюю, которые редко бывают симметричными. При одинаковых высоте, диаметре и длине, но при различной высоте до наибольшей ширины изменяется форма крон деревьев и соответственно их внешний вид. Чем выше наибольшая ширина кроны у дерева, тем она закругленнее и тупее. В сомкнутых насаждениях такие кроны на аэроснимках по размерам больше, чем конусовидные кроны с низкоопущенным наибольшим диаметром.

Г.Г. Самойлович разработал схему классификации форм крон деревьев по внешнему виду, разделив их в горизонтальном разрезе (проекции крон) на пять, а в вертикальном – на восемь основных типов (рис. 153 и 154).

Узкоконусовидная	
Конусовидная	
Цилиндрическая	
Параболоидная	
Шаровидная	
Плосковершинная	
Неправильная	
Сложная	

Рис. 154.

Классификация крон деревьев в вертикальном разрезе

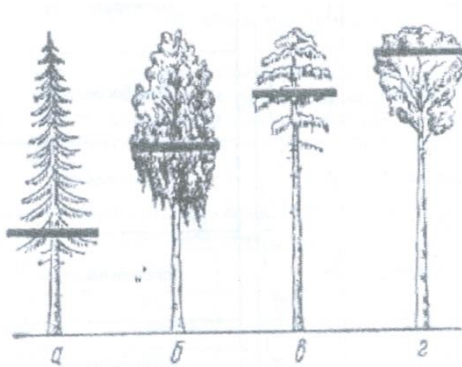


Рис. 155. Форма крон (чертой показана высота до наибольшей ширины кроны): а – ели; б – березы; в – сосны; г – осины

формы крон и особенности их строения.

На аэрофотоснимках у деревьев, расположенных в центре, изображаются освещенные части крон при виде сверху, почти в ортогональной проекции. У деревьев, расположенных на некотором расстоянии от центра, кроны изображаются не только при виде сверху, но и при виде сбоку и тем больше наклонными, чем дальше они расположены от центра аэрофотоснимка (рис. 156).

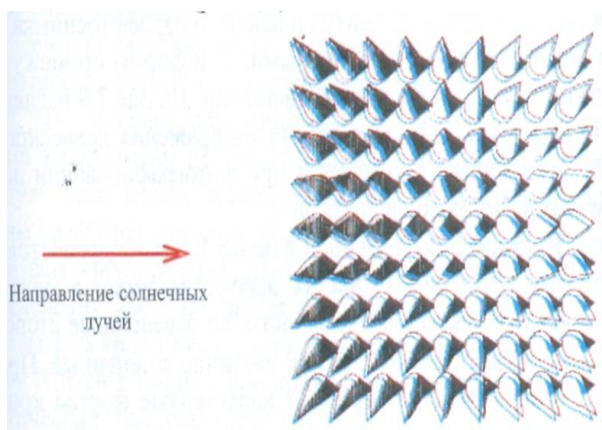


Рис. 157. Схема изображение древостоев при различном освещении

Наиболее распространенными формами крон деревьев в спелых насаждениях лесной зоны являются, например, у ели – конусовидные, у сосны и лиственницы – параболоидные и эллипсовидные, у осины – плосковершинные (рис. 155).

Обычно, чем крупнее масштаб изображения, тем яснее заметны на нем

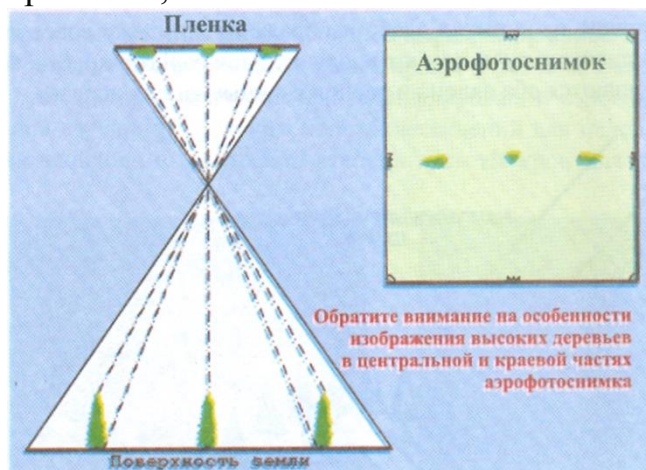


Рис. 156. Схема изображения крон деревьев на различном расстоянии от центра аэрофотоснимка

Изображение древостоев на аэрофотоснимках состоит из освещенных, затененных или частично освещенных крон деревьев. При этом наличие или отсутствие теней на изображениях крон деревьев, их форма и размеры находятся в зависимости от места расположения кроны дерева на снимке и высоты стояния солнца и направления солнечных лучей в момент экспозиции (рис. 157).

На освещенность крон деревьев влияет также характер рельефа, в котором произрастают лесные массивы. При перпендикулярном направлении лучей к хребту одна сторона

насаждения окажется освещенной, а другая – затененной. Деревья, изображенные на освещенных склонах, ясно различимы, а деревья, расположенные на затененных склонах, на снимках слабо изображены или даже вовсе не видны. Если солнечные лучи падают вдоль склонов горного хребта, то одинаково освещаются оба склона и расположенные на них деревья (рис. 158).

Поскольку по мере удаления от центра планового аэрофотоснимка к краям деревья изображаются более наклонными, то и формы промежутков между кронами также не остаются одинаковыми.

Таким образом, изображения форм крон в одних и тех же древостоях будут неодинаковыми в различных частях аэрофотоснимка: в одной части изобразятся только освещенные или частично освещенные стороны крон, а в другой – только затененные или частично затененные. При этом затененные стороны хорошо передают характерные формы крон деревьев.

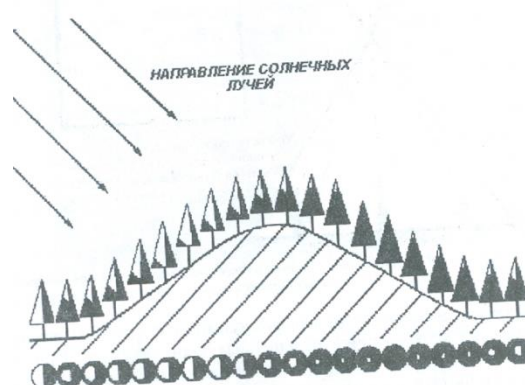


Рис. 158. Изображение на аэроснимке деревьев на освещенном и затененном склонах

Степень контрастности изображения кроны и соответствующей тени на аэроснимке зависит от ее густоты. В практике дешифрирования кроны по густоте делят на три группы: густые – при осмотре в натуре сбоку в кроне не более 25 % просветов (промежутков) между ветвями; средней густоты – количество просветов не более 50 %; редкие – просветы составляют более 50 %. Чем гуще крона, тем контрастнее выделяется ее изображение на аэроснимке, сильнее выражен на кроне конус собственной тени, лучше выделяется форма кроны и резче ее очертания, что имеет существенное значение при дешифрировании снимков. Поэтому при изучении структуры полога насаждений для целей дешифрирования необходимо учитывать степень густоты крон для каждой породы.

Горизонтальная проекция полога насаждений

Строение полога, особенно его горизонтальной проекции, имеет важное значение, так как пространственная модель насаждения, изображенная на плановом аэроснимке, состоит из проекций крон деревьев, определенным образом размещенных по площади участка. Все деревья, образующие горизонтальную проекцию полога насаждения, можно условно разделить на три категории с учетом степени их участия: со свободно расположенной в пологе кроной, с частично закрытой и с закрытой (рис. 159).

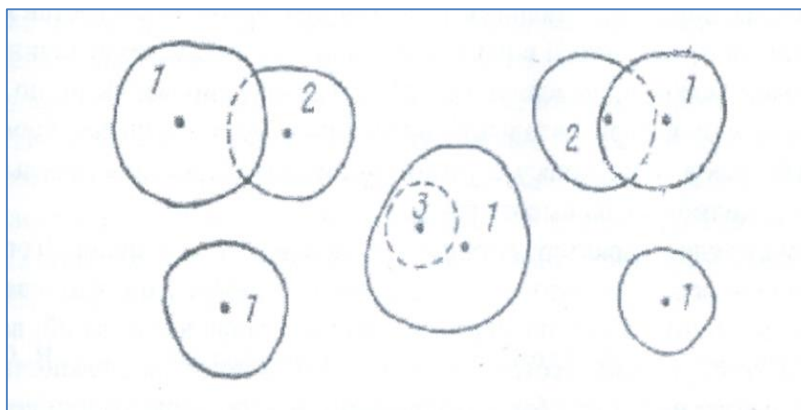


Рис. 159. Классификация категории деревьев по участию в проекции полога: 1 – свободные; 2 – частично закрытые; 3 – закрытые

Кроны деревьев 1 категории изображаются на аэроснимках при условии, если они освещены в момент аэрофотосъемки и освещенная часть кроны больше разрешающей способности аэроснимков.

У деревьев 2 категории изображается лишь непокрытая часть кроны, если она освещена в момент аэрофотосъемки. Раздельно по аэроснимкам учесть деревья с частично закрытой кроной можно только тогда, когда закрытая часть меньше половины, а оставшаяся – больше разрешающей способности снимков. В остальных случаях их кроны сливаются с кронами тех деревьев, которые их перекрывают.

Деревья с полностью закрытой кроной на аэроснимках не изображаются. Это преимущественно деревья низших, реже – средних ступеней толщины, а также из второго яруса.

Перечет деревьев по участию крон в пологе позволяет установить, какое их число и каких ступеней входит в полог насаждения и образует его состав. При анализе полога насаждения следует учитывать, что горизонтальная его проекция меньше суммы площадей проекций крон всех деревьев на величину взаимно перекрывающихся частей их крон. При этом разница между ними с возрастом уменьшается и в спелых насаждениях достигает минимальной величины (за исключением сложных многоярусных насаждений).

Распределение крон деревьев в горизонтальной проекции полога по ступеням толщины, как и для всей совокупности деревьев, выражается нормальной кривой. Кроны деревьев, находящихся под кронами других деревьев, распределяются по нисходящей кривой.

Анализ материалов различных исследований показывает, что наибольшая длина крон у ели, затем у березы, сосны и наименьшая у осины; соответственно нижняя граница полога наиболее низко расположена в еловых древостоях, а наиболее высоко – в осинниках. Наибольшая ширина крон выше расположена у осины, затем по степени уменьшения у сосны, березы и ели.

12.2. Взаимосвязь сомкнутости полога с полнотой насаждения

В горизонтальной проекции полога любого, даже самого густого насаждения, как правило, есть окна между кронами, которые могут быть различной величины и конфигурации.

Если на каком-либо участке кроны соседних деревьев соприкасаются друг с другом и в пологе отсутствуют промежутки между ними, то степень сомкнутости полога 1, при 10 % просветов – 0,9, при 20 % – 0,8, при 40 % – 0,6 и т. д.

Величина просветов в пологе и разница в показателях полноты и сомкнутости полога зависят от ряда факторов: состава, возраста, условий местопроизрастания насаждений. Так, увеличение в составе сосновых и еловых насаждений доли осины повышает сомкнутость полога. Повышается сомкнутость полога в благоприятных условиях местопроизрастания. Эти особенности учитываются при определении полноты насаждений по материалам аэрокосмических съемок.

12.3. Методы изучения таксационно-дешифровочных показателей насаждений

При наземных работах все таксационные характеристики насаждения определяют на основе его натурального осмотра и проведения измерительно-перечислительной или глазомерной его таксации. На аэроснимках получают изображение не всего насаждения, а лишь его полога. В то же время основные таксационные показатели (истинный состав, средняя высота и диаметр деревьев, полнота и др.) могут быть определены по аэроснимкам крупных и средних масштабов на основе существующих закономерных связей между ними. Таксационно-дешифровочные показатели – это дешифровочный состав, диаметр кроны, высота до наибольшей ширины кроны, длина кроны, сомкнутость полога. К числу дополнительных, имеющих важное значение показателей (признаков), можно отнести морфологические особенности и форму крон деревьев различных пород и разного возраста, цвет или тон их изображения, тени собственные и падающие, структуру полога насаждений. Но чтобы перейти от таксационно-дешифровочных показателей к таксационным, необходимо знать взаимосвязи между ними.

Для этого используют специальные координатные и таксационно-дешифровочные пробные площади, данные выборочной измерительно-перечислительной таксации в наиболее характерных (типичных) выделах, крупномасштабные фотопробы, а также массовые данные наземной таксации по выделам.

До закладки координатных и таксационно-дешифровочных пробных площадей и выборочной измерительно-перечислительной таксации объект изучают по материалам прошлого лесоустройства и литературным данным. При этом уделяют внимание преобладанию древесных пород, разнообразию их по составу, возрасту, классам бонитета, полноте, типам леса.

Координатные пробные площади. Закладываются в древостоях разного возраста одного естественного ряда в однородных по таксационной характеристике выделах. На пробной площади должно быть не менее 200–250 деревьев основного элемента леса, она должна быть заметна на аэроснимках и расположена ближе к центру, среди хорошо опознаваемых естественных или искусственных ориентиров. Площадь разбивают на площадки размером 5×5 или 10×10 м. Измеряют диаметры деревьев на высоте 1,3 м и диаметры крон. Деревья и проекции их крон наносят на план в масштабе 1:100 или 1:200.

Таксационно-дешифровочные пробные площади. Занимают промежуточное положение между координатными и таксационными тренировочными пробными площадями. На них более детально изучаются показатели, характеризующие полог насаждения и особенности изображения его на аэрофотоснимках. Выбирают 15–25 учетных деревьев, выбранных методом пропорционального представительства, измеряют высоту до наибольшей ширины крон и до окончания крон.

Выборочно-статистическим методом определяют сомкнутость полога и дешифровочный состав, заполняют карточку анализа признаков дешифрирования. По данным карточек составляют таблицы признаков дешифрирования разных групп насаждений.

Результаты измерений используют для построения графиков взаимосвязей между таксационными и дешифровочными показателями, плана горизонтальной проекции полога насаждения, его профильной диаграммы.

Типичные выделы. При подготовительных работах в процессе тренировки и выполнения наземной таксации по ходовым линиям подбирают выделы с насаждениями, наиболее типичными (по таксационной характеристике) для данного объекта. Таксационную характеристику насаждений в типичных выделах устанавливают по данным выборочной измерительно-перечислительной таксации закладкой круговых пробных площадок постоянного радиуса (9,8–17,8 м). Число круговых площадок должно обеспечивать общий объем выборки на выделе не менее 200 деревьев основного элемента леса; в среднем закладывают 10–17 площадок в зависимости от их радиуса и площади выдела. На каждой круговой площадке измеряют таксационно-дешифровочные показатели и определяют точечным способом сомкнутость полога.

В типичных выделах анализируют факторы, влияющие на характер фотоизображения насаждений, и сравнивают характеристики, полученные по данным камерального дешифрирования, с данными наземной перечислительной таксации.

Крупномасштабные фотопробы. Применяют для целей дешифрирования, в том числе и для изучения показателей полога и установления их взаимосвязей с таксационными характеристиками насаждений. Фотопробы получают фотографированием характерных участков леса с вертолетов или легкомоторных самолетов. Съемку производят в

масштабах 1:500–1:2000 (разрешение 5–20 см). При стереоскопическом рассмотрении измеряют таксационные параметры.

По материалам всех таксационно-дешифровочных пробных площадей и типичных выделов устанавливают корреляционные зависимости между таксационными и дешифровочными показателями. Полученные данные сводят в таблицы. Точность дешифровочных таблиц проверяют в натуре на выделах с выборочной измерительно-перечислительной таксацией.

12.4. Способы определения сомкнутости полога насаждений

В натуре сомкнутость полога можно определять различными способами. Основные из них – сплошной натурный обмер проекций крон, по точечным отметкам, линейный – по относительной протяженности проекций крон и просветов между ними.

При сплошном обмере проекции крон замеряют непосредственно в лесу и зарисовывают на плане из миллиметровой бумаги, затем на компьютере или с помощью планиметра вычисляют площади. Сплошной обмер проекций крон дает более точный результат, чем другие методы. Этот способ из-за большой трудоемкости применяют при исследовательских работах.

Для определения сомкнутости полога по относительной протяженности проекций крон и промежутков между ними в однородных таксационных участках закладывают две-три взаимно перпендикулярных прямых линии. Крономером и мерной лентой измеряют протяженность проекций крон, закрывающих эти линии, и промежутков между кронами. Сумма длин линий, занятая проекциями крон и выраженная в процентах от общей длины линий, дает сомкнутость полога, которую затем можно выразить в долях единицы.

Широкое применение нашел способ определения сомкнутости полога методом точечных отметок. В пределах пробной площади или таксационного выдела статистическим путем размещают сеть точек и закрепляют их кольями. На пробных площадках колья ставят по углам сетки квадратов со сторонами 5×5 или 10×10 м или вдоль ходовых перпендикулярных линий через равные промежутки (5 или 10 м). Количество точек устанавливают в зависимости от требуемой точности определения сомкнутости с учетом ее варьирования. Как правило, их количество не должно быть менее 200. Подсчитывается количество точек, закрытых кронами и находящихся в промежутках между ними.

Все перечисленные способы могут быть применены и в камеральных условиях при определении сомкнутости полога по аэроснимкам крупных масштабов автоматизированными или инструментальными методами.

Контрольные вопросы

1. Как и для чего производится дешифрование аэроснимков?
2. На чем основана классификация форм крон деревьев?
3. Как произвести горизонтальную проекцию полога насаждений?
4. Какие существуют методы изучения таксационно-дешифровочных показателей насаждений?

13. ПРИМЕНЕНИЕ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПРИ УСТРОЙСТВЕ РЕКРЕАЦИОННЫХ ЛЕСОВ, В ЛЕСОПАТОЛОГИИ И ПРИ ЛЕСОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОБСЛЕДОВАНИЯХ

13.1. Применение аэроснимков при устройстве рекреационных лесов

Рекреационные леса по их народно-хозяйственному значению, местоположению и выполняемым функциям подразделяются на несколько категорий: пригородные леса, входящие в зеленый защитный пояс городов; городские лесопарки; историко-мемориальные объекты и памятник садово-паркового искусства.



Рис. 160. Пригородный лес.
Тамбовская область

Пригородные леса, входящие в зеленый защитный пояс городов. В них выделяют лесные массивы, предназначенные для отдыха населения, – лесопарковые части зеленых зон. Пригородный лес постепенно благоустраивается и трансформируется в лесопарк. Загородные лесопарки также входят в систему зеленых зон городов и являются местами массового периодического отдыха городского населения (рис. 160).

Городские лесопарки. Это

переходная категория от загородных лесопарков к городским паркам. Их появление связано с расширением городов и застройкой прилегающих к городу территорий (рис. 161). Хозяйственные мероприятия в городских лесопарках направляются на сохранение природной среды. При умелом ведении хозяйства лесопарк может длительное время выполнять свои функции. На определенном этапе, когда рекреационная нагрузка превышает нормативно допустимую, свободный режим пользования сказывается отрицательно на состоянии природной среды. Лесопарк приближается к городскому парку.

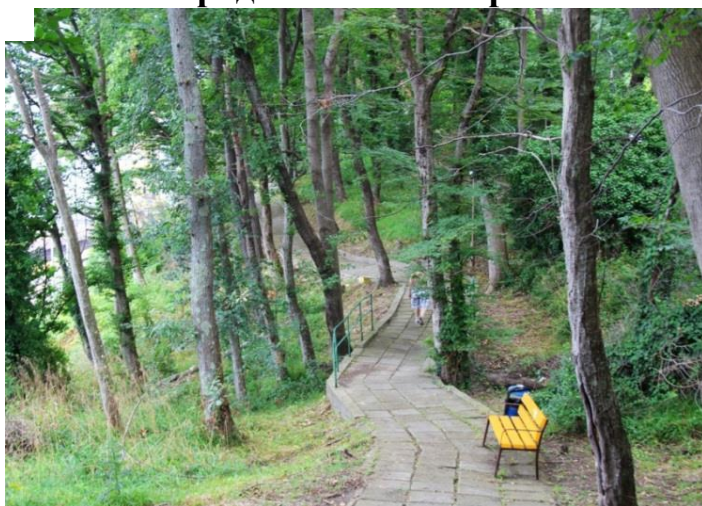


Рис. 161. Городской лесопарк

Историко-мемориальные объекты и памятник садово-паркового искусства. В отдельные категории рекреационных лесов выделяют национальные парки, лесные массивы вокруг курортов, домов отдыха, санаториев, детских лагерей. Эти леса предназначены для создания благоприятных условий для отдыха и выполняют, кроме того, защитные и санитарно-гигиенические функции (рис. 162).

Устройства рекреационных лесов связаны с проведением плановых аэрофотосъемок, при этом используют топографические аэрофотоаппараты с фокусом 200–500 мм.

Для таксации и определения санитарного состояния насаждений съемки обычно проводят летом на спектрзональную аэрофотопленку. Для обновления картографического материала съемку проводят весной до распускания листьев или осенью после листопада.

Перечень таксационных показателей:

- состав древесных пород;
- возраст;
- средние высота и диаметр деревьев;
- полнота;
- бонитет, тип леса, запас, описание подроста, подлеска, напочвенного покрова.

Ландшафтная характеристика включает следующие показатели:

- сомкнутость полога, можно определить автоматизировано на экране компьютера, в результате получают закрытые, полукрытые и открытые ландшафты;

- длина и ширина крон;
- проходимость и просматриваемость участка;
- характер размещения деревьев;
- жизнеустойчивость древостоев;
- эстетическая и санитарно-гигиеническая оценка.

Ландшафтную таксацию проводят при натурном осмотре при наличии аэрофотоснимка М 1:5000 – 1:10000.

Основная цель ведения хозяйства в лесах рекреационного назначения – формирование жизнеустойчивых высокопродуктивных насаждений, обладающих хорошими эстетическими и декоративными качествами.

В большинстве случаев на объекты рекреационного устройства имеется планово-картографическая документация прошлых лет. В этом случае в задачу устройства входит только внесение текущих изменений в плановые материалы.



Рис. 162. Плодовый сад и декоративный огород замка Виландри, Франция

Перспективными при устройстве рекреационных лесов, в том числе парков, следует считать и космические снимки сверхвысокого пространственного разрешения.

Использование аэро- и космических снимков при устройстве объектов рекреационного значения существенно повышает уровень выполняемых работ, расширяет круг решаемых задач.

13.2. Оценка лесопатологического состояния

Цель **лесопатологического обследования** – выявить очаги вредителей и болезней леса и участков насаждений с нарушенной устойчивостью. Оно проводится дистанционными, наземными и комбинированными методами. В настоящее время наиболее широко распространены текущее оперативное и экспедиционное лесопатологические обследования.

Текущее лесопатологическое обследование – это ежегодное плановое мероприятие, осуществляемое в пределах конкретного лесного предприятия с целью проверки сигналов об усыхании и ослаблении насаждений, появлении и распространении вредителей и болезней, освидетельствования мест рубок главного пользования и санитарного состояния вырубок, а также участков леса, подвергшихся воздействию стихийных бедствий, промышленных выбросов, с интенсивным хозяйственным использованием (выпас скота, подсочка и др.) или повышенной рекреационной нагрузкой.

На рис. 163 представлено проведение мониторинга разных видов деревьев: слева – береза, справа – дуб.



Рис. 163. Категории состояния березы и дуба: 1 – здоровое дерево; 2 – ослабленное; 3 – сильно ослабленное; 4 – усыхающее; 5 – свежий сухостой; 6 – старый сухостой

Лесопатологический мониторинг осуществляется на основании норм лесного законодательства России в целях обеспечения всех участников лесных отношений информацией о защите лесов, причинах их ослабления и гибели. В рамках лесопатологического мониторинга выполняется оценка опасных для леса явлений и процессов природного и антропогенного происхождения. В частности, ведется мониторинг состояния популяций опасных видов лесных насекомых и развития болезней леса, а также влияния хозяйственной деятельности на состояние лесов. В труднодоступных районах и районах со сложной лесопатологической обстановкой работы выполняются экспедиционными партиями.

Лесопатологический мониторинг ведется разными методами, основными из которых являются:

- регулярные наземные наблюдения за состоянием объектов лесопатологического мониторинга;
- дистанционные наблюдения за санитарным и лесопатологическим состоянием лесов;
- лесопатологическая таксация;
- учеты численности вредителей и развития болезней леса, определение состояния популяций вредителей;
- экспедиционные обследования.

На рис. 164 представлена схема с нанесенными на план насаждений мониторинговых пунктов и маршрутных ходов – слева, а справа – обозначение на местности начала постоянного

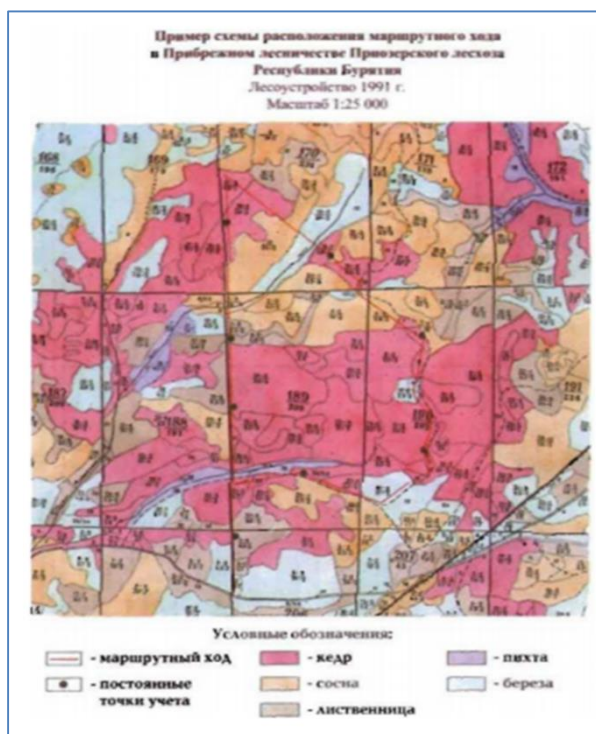


Рис. 164. План лесонасаждений и знак начала постоянного маршрутного хода

маршрутного хода.

Оформляется постоянная точка учета на местности, номер которой совпадает с номером на плане, при этом имеется координатная привязка. Справа показано модельное дерево, которое изучается на пораженность вредителями и болезнями (рис. 165).



Рис. 165. Обозначение постоянной точки учета и изучаемое на пораженность модельное дерево

На рис. 166 представлены снимки при авиатаксации, которые показывают желтыми и коричневыми пятнами на зеленом массиве очаги пораженности деревьев.

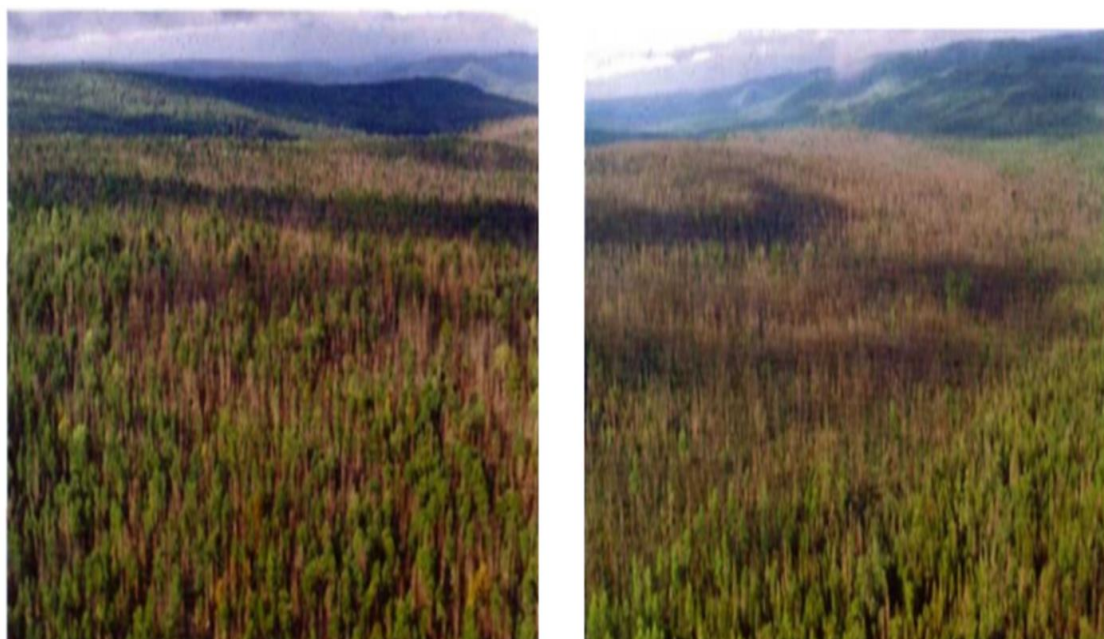


Рис. 166. Снимки при авиатаксации

При наземной таксации учет пораженности деревьев оценивается визуально (слева) и методом околота (справа). На рис. 167 представлены наземная оценка пораженности деревьев болезнями.



Рис. 167. Сильное объедание сибирским шелкопрядом, выявленное при наземной таксации, и учет пораженности методом околота

На рис. 168 показана гибель деревьев под действием природных стихий – ветровалы, буреломы, снеговалы.

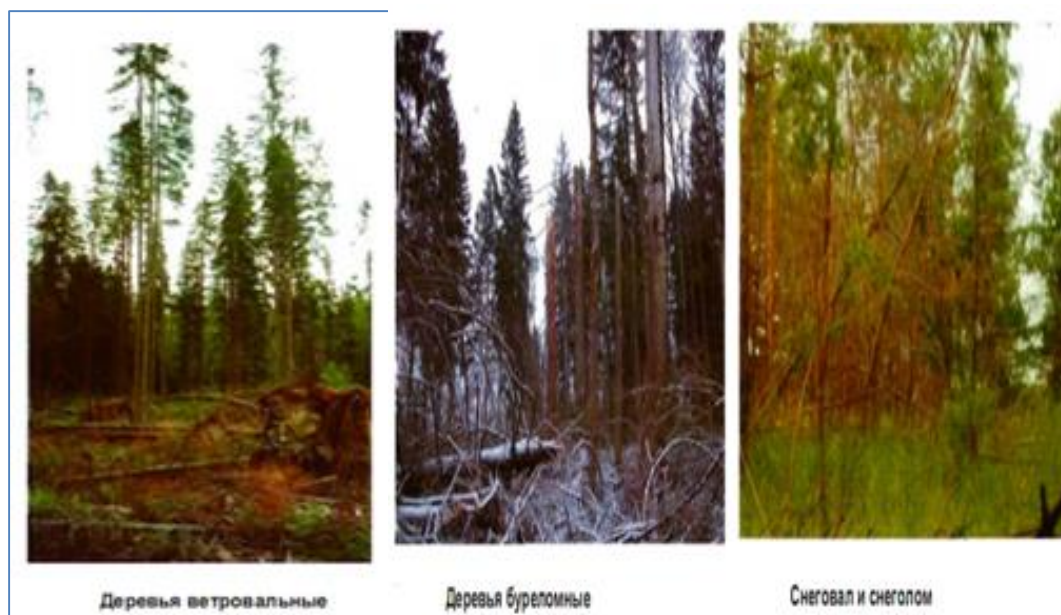


Рис. 168. Погибшие под действием природных стихий деревья

Регулярные наземные наблюдения за состоянием объектов лесопатологического мониторинга осуществляются на постоянных пробных площадях и постоянных маршрутных ходах, размещенных или равномерно по территории лесов, или с учетом выделенных однородных групп (страт) лесных насаждений, сходных по древесным породам, участию главной породы в составе, возрастам, бонитетам (рис. 169).



Рис. 169. Сеть пунктов мониторинга, совмещенная с дистанционной информацией

Дистанционные наблюдения за санитарным состоянием лесов предусматривают космическую и авиационную съемку, авиалесопатологическую таксацию лесов (в том числе с применением беспилотных летательных аппаратов). Дистанционные наблюдения за санитарным состоянием лесов могут представлять собой регулярные

выборочные наблюдения либо специальные обследования в случае возникновения массовых поражений лесов (рис. 170). Основной целью **лесопатологической таксации** является сбор информации о санитарном состоянии лесных участков (степень усыхания, захламления, загрязнения) или

их лесопатологическом состоянии (степень повреждения вредными организмами). Полученная информация характеризует участки леса определенной площади и местоположения и служит для проектирования необходимых лесозащитных мероприятий.

Учеты численности осуществляются при обнаружении признаков массового размножения вредных организмов путем анализа модельных деревьев, ветвей или анализа данных, полученных в результате учета вредителей в лесной подстилке или в почве.

Результаты государственного лесопатологического мониторинга хранятся в базе данных лесопатологической информации (БД ЛПИ).

По запросам к базам данных лесопатологической информации могут быть получены различные документы и отчеты:

- первичные документы, включая карточку лесопатологической таксации, карточку учета вредителей и болезней леса;
- отчеты по формам оперативной информации (ОЛПИ);



*Рис. 170. Фрагмент
спектрозонального
аэрофотоснимка СН-6 масштаба
съемки 1:10000 с изображением
усохших деревьев ели (пятна
синего цвета) в очагах массового
размножения стволового вредителя
жука-типографа*

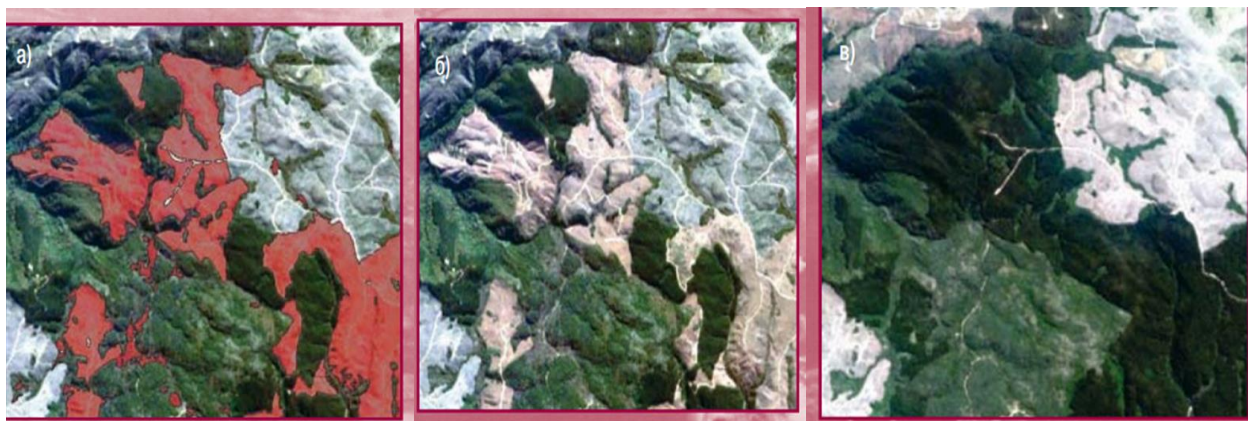
- отчеты по разовым, специальным запросам.

Получателями лесопатологической информации являются Федеральное агентство лесного хозяйства и органы управления лесами в субъектах России, лесопользователи и другие участники лесных отношений.

В соответствии с нормами лесного законодательства, материалы лесопатологического мониторинга могут использоваться для назначения мероприятий по локализации и ликвидации очагов вредителей леса, повышения оперативности санитарно-оздоровительных мероприятий.

Состояние лесов можно оценивать по материалам разных видов аэрокосмических съемок. Практически на всех снимках четко просматриваются свежие гари, но в зависимости от масштаба и разрешающей способности снимков размеры участков, которые могут быть опознаны при дешифрировании, колеблются в очень больших пределах.

Так, по космическим снимкам с разрешением 200 м можно обнаружить крупные гари, погибшие насаждения. При дешифрировании космоснимков площади поврежденных насаждений устанавливают по тону (цвету).



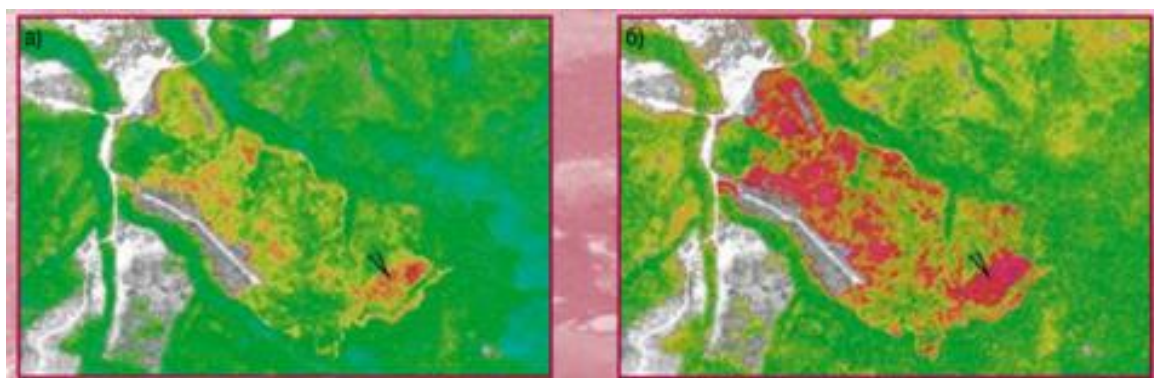
а)

б)

Рис. 171. Снимки RapidEye: а) 27 февраля 2010 г.;
б) 9 мая 2011 г.; в) изменения лесного покрова

На рис. 171 представлен мониторинг вырубки, который основывается на сравнении снимков со спутников за две различные даты. С помощью этих снимков считываются негативные изменения лесного покрова.

На рис. 172 представлены различия степеней повреждения растительности. Наиболее полную характеристику состояния лесов дают аэрофотоснимки разных масштабов – от сверхкрупно- до мелкомасштабных. На аэрофотоснимках М 1:10000–1:15000 четко выделяют три-четыре категории повреждений (погибшие, сильно-, средне- и слабоповрежденные насаждения). По крупномасштабным снимкам оценивают степень повреждения насаждения в целом, а также отдельных деревьев и даже частей их крон.



а)

б)

Рис. 172. Снимки RapidEye 14 августа 2010 г.: а) NDV_{лес} (лес). Видны тонкие различия степеней повреждения растительности;
б) NRGDVI (лес). Можно разграничить сильно пораженную растительность и жизнеспособную

По материалам аэрокосмических съемок выявляют только факт и степень повреждения; причину, вызвавшую его, вид вредителя и болезни можно установить только при наземном обследовании.

На рис. 173 и 174 представлены фрагменты спектрзональных снимков с различными степенями повреждения растительности.

13.3. Авиадесантные лесопатологические обследования

В лесах, где вредные насекомые и болезни значительно распространены, санитарное состояние обследуют специализированные лесопатологические подразделения.

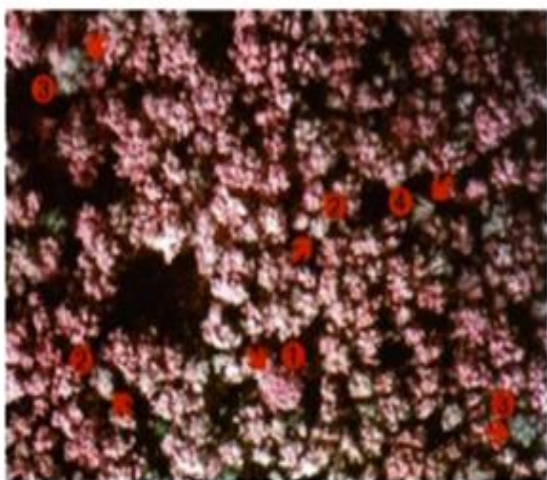


Рис. 174. Фрагмент спектрзонального аэрофотоснимка СН-15 с изображением очагов корневой губки в сосновых культурах:
1 – возникающих; 2 – действующих; 3 – затухающих

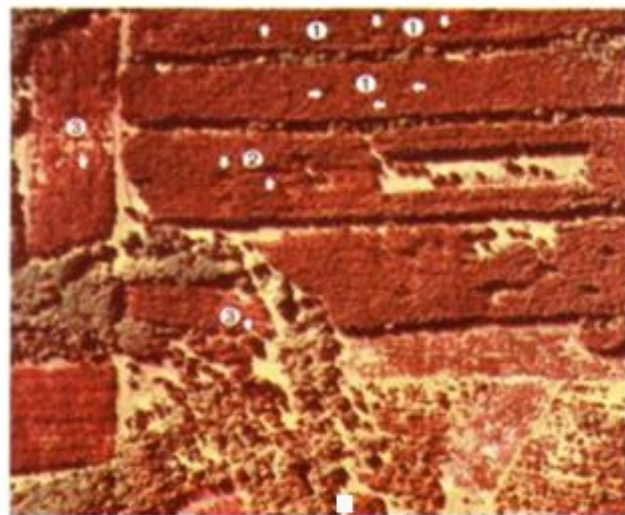


Рис. 173. Фрагмент сверхкрупномасштабного спектрзонального аэрофотоснимка СН-6М с изображением здоровых (1), ослабленных (2), сильно ослабленных (3) и усыхающих (4) деревьев березы

Авиадесантные обследования состоят из следующих этапов:

- подготовительных работ – уточняют границы объектов и конкретизируют задачи обследования; изучают материалы лесоустройства, данные лесопатологического надзора;
- авиалесопатологической разведки и таксации – выполняют специально подготовленные специалисты при обязательном участии летчика-наблюдателя. Во время полета лесопатолог ведет журнал авиаразведки или таксации, а летчик-наблюдатель наносит лесопатологическую ситуацию на рабочую топокарту. Авиалесопатологическую разведку проводят в начале полевого сезона для ознакомления с ситуацией. Авиалесопатологическую таксацию

проводят в июне-июле с высоты 400–500 м, при этом на подготовленную топографическую карту наносят все участки леса, где обнаружены болезни, вредители, гари, ветровал, и составляют рабочую карту-схему с оперативным планом выборочных обследований;

– наземных десантно-маршрутных обследований – проводят группы из 3–4 человек во главе с инженером-лесопатологом. На 1 млн га число пунктов обследования составляет не менее 25, маршрутного хорда – 1000 км. Десантные группы лесопатологов на пункты высадки завозят вертолеты. В процессе наземного обследования дают детальную характеристику санитарного состояния насаждений. В журнале ведут абрис с нанесением лесопатологических выделов, пробных площадей; делают записи о состоянии насаждений с указанием степени повреждений.

После завершения полевых работ обобщают материалы о лесопатологическом состоянии обследованных насаждений, составляют карту расположения очагов основных вредителей и состояния насаждений. Лесопатологи подготавливают обзоры, а начальник партии подготавливает доклад о состоянии обследованных древостоев.

13.4. Оценка порядка лесопользования

Рубки главного пользования в лесах в России ежегодно проводятся на площади около 1 млн га. За порядком лесопользования следят при помощи различных методов с использованием данных ДЗ.

Освидетельствование вырубок. В основу технологии освидетельствования мест сплошнолесосечных рубок положено аналитико-измерительное или автоматизированное дешифрирование крупномасштабных аэрофотоснимков. По аэрофотоснимкам устанавливают истинные контуры рубок и сравнивают их с данными отвода лесосек, а также определяют площади и запасы недорубов или перерубов, объемы невывезенной древесины. Аэрофотосъемку проводят весной после схода снежного покрова.

Контроль порядка лесопользования по космическим снимкам. Метод разработан в 80-х гг. прошлого столетия для выявления и картографирования мест проведения сплошнолесосечных рубок и оценки соответствия их параметров принятым нормативам.

Нормативами определяются размеры и количество лесосек в квартале (число зарубов), сроки и способы их примыкания друг к другу, направление рубки.

Метод контроля за порядком лесопользования по космическим снимкам предусматривает:

- выявление возникших за анализируемый период (от 1 года и более) рубок;
- площадь, длину, ширину, направление рубок;
- определение границ новых выделов, возникших в результате рубки;
- оценку соответствия контуров рубок контурам отвода лесосек, выделение недорубов, перерубов, мест несанкционированной рубки.

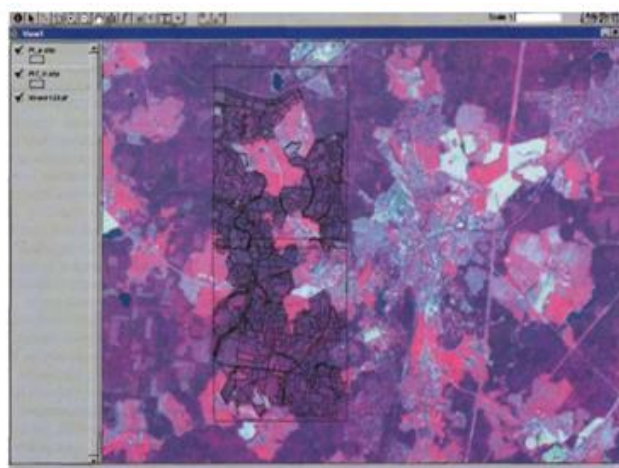


Рис. 175. Совмещение цифровых планшетов лесоустройства с космическим снимком программными средствами Arc/View

Решение задачи основывается на совместной обработке средствами ГИС космической разновременной информации высокого разрешения и материалов наземной инвентаризации прошлого лесоустройства.

Космические снимки позволяют получить основной объем информации о порядке лесопользования: места размещения сплошных рубок, их площади, параметры вырубок, недорубок и другую информацию. На рис. 175 и 176 представлены совмещения цифровых планшетов с космическими снимками.

При необходимости для уточнения каких-либо показателей – детальной оценки мест рубок, качества очистки лесосек – производится крупномасштабная аэрофото- или телевизионная съемка либо натурные обследования.



Рис. 176. Совмещение различных координатно привязанных источников информации: топографических карт, планшетов лесоустройства, аэрофотоснимков

13.5. Оценка состояния лесовозобновления

Оценку успешности восстановления леса на вырубках, гарях и других не покрытых лесом землях по аэрофотоснимкам осуществляют при проведении лесоустроительных работ и при специальных обследованиях.

Цветные спектрозональные аэрофотоснимки с разрешением на местности 1 м позволяют при полевом и камеральном дешифрировании охарактеризовать состояние обследуемой площади: выделить группы типов леса, выявить наличие подроста, семенников, оценить степень захламленности.

Основными дешифровочными признаками являются цвет, форма, размещение, структура и текстура изображения. По снимкам можно также

оценить степень густоты лесовозобновления в разных местах вырубки или гари.

Для оценки состояния лесовозобновления необходимо комплексное использование материалов космических и аэрокосмических съемок. Космические съемки при этом должны выполняться в летний период с разрешением на местности 1–2 м и обеспечивать точность классификации вырубок и гарей с вероятностью не менее 0,8.

13.6. Оценка состояния полегающих лесных насаждений

Полегающие лесные насаждения – полосы на землях сельскохозяйственных предприятий – создавались в соответствии с нормативными положениями. Линейная, сильно вытянутая форма лесных полос – наиболее важный дешифровочный признак. Метод предусматривает выявление и картографирование в масштабах 1:25000–1:100000 защитных насаждений и оценку их следующих параметров и характеристик:

- длины, ширины, конструкции полегающих лесных полос;
- расположения полегающих лесных полос относительно форм рельефа;
- расстояния между основными полегающими полосами;
- наличия разрывов в полосах и их размеры;
- преобладающих древесных пород.

Предусматривается использование спектральных или зональных космических снимков с разрешением на местности не хуже 7–10 м. Для целей инвентаризации и картографирования защитных лесных насаждений используют также снимки более низкого пространственного разрешения 20–40 м.

13.7. Выявление и учет текущих изменений в лесном фонде

Для выявления изменений в лесном фонде используется дешифрирование материалов космических съемок.

В ходе обследования регистрируются пространственные изменения, вызванные рубками, пожарами, строительством дорог и других сооружений.

Решение этой задачи включает:

- выявление изменений, определение их вида, картографирование и определение величины количественных и качественных изменений в лесном фонде;
- корректирование статистических данных инвентаризации лесов и учета лесного фонда;
- разработку рекомендаций по сокращению величины нанесенного лесному хозяйству ущерба.

Предусматривается совместное использование космической информации и материалов наземной инвентаризации или использование разновременной космической информации, полученной до и после возникновения изменений в составе лесного фонда, либо сочетания дешифрирования космических снимков и аэровизуальных наблюдений.

Регистрации подлежат все текущие изменения. Для гарей определяются следующие показатели:

- местонахождение, контуры и выгоревшая площадь;
- вид пожара (верховой, низовой, подземный);
- соотношение покрытых и не покрытых лесом земель внутри гарей, бывшее до пожара.

Для лесов, пострадавших от ураганных ветров, определяются:

- вид ветровала (сплошной, частичный);
- площадь ветровальных (буреломных) участков;
- процент вывала леса.

Регулярное выявление и учет текущих изменений в охраняемой зоне лесов обеспечивает:

- актуализацию данных государственного учета лесов на основе обновления баз данных и лесных карт;
- совершенствование системы охраны;
- накопление интегральной информации о последствиях крупных лесных пожаров в неохраняемой зоне лесов.

Контрольные вопросы

1. В чем основная суть применения аэроснимков при устройстве рекреационных лесов.
2. Для чего необходимо проводить лесопатологический мониторинг? Опишите его суть и особенности.
3. Как происходит учет и оценка состояния лесов?
4. Опишите порядок учета и текущих изменений в лесном фонде.

14. АВИАЦИОННАЯ ОХРАНА ЛЕСОВ ОТ ПОЖАРОВ

Общая площадь лесов Российской Федерации составляет около 1,2 млрд га. Леса располагаются на землях лесного фонда, землях обороны и безопасности, землях особо охраняемых природных территорий, землях поселений.

Организация использования, охраны, защиты и воспроизводства лесов в зависимости от их принадлежности осуществляется соответствующими органами государственной власти и органами местного самоуправления.

Управлять охраной лесов от пожаров на различных уровнях необходимо с позиции системного подхода.

Для наглядности структурная схема оперативно-диспетчерского управления охраной лесов от пожаров представлена на рис. 177.

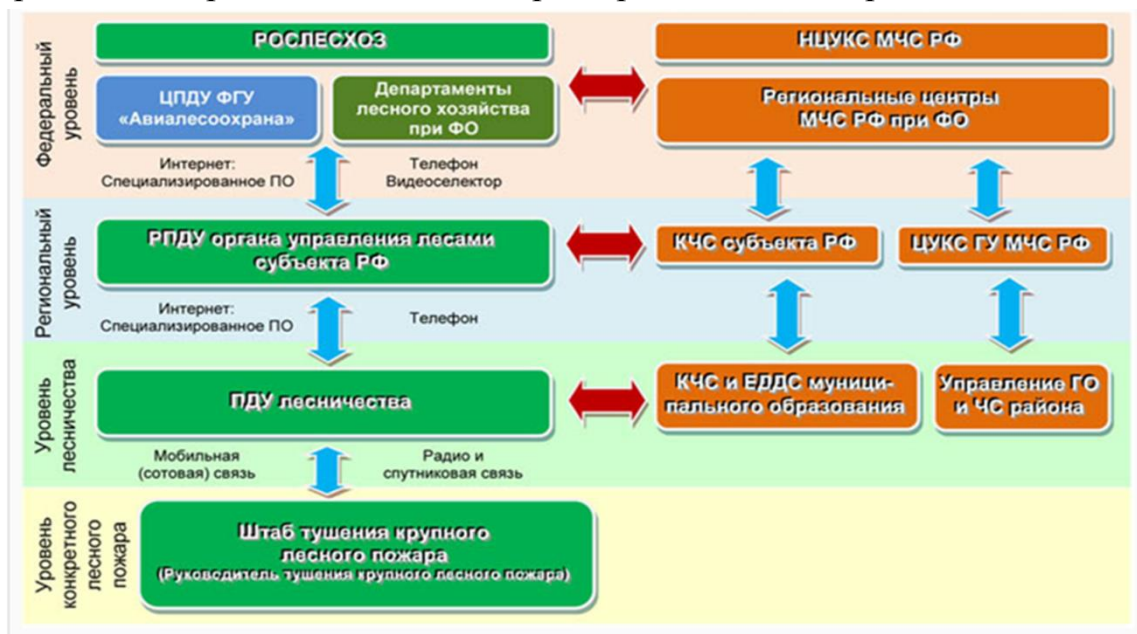


Рис. 177. Алгоритм функционирования системы диспетчеризации в лесном хозяйстве

С верхнего уровня на нижний уровень осуществляется управление процессами и контроль посредством различных видов связи (видеоселектор, телефон, радио- и спутниковая связь). С нижнего уровня на верхний осуществляется передача информации и отчеты о принимаемых мерах (Интернет).

Лесные пожары являются основной причиной повреждения и гибели лесов на значительных площадях. Причем около 80 % лесных пожаров возникает по вине человека.

Охрана лесов от пожаров включает в себя выполнение мер пожарной безопасности в лесах (предупреждение лесных пожаров, мониторинг пожарной опасности в лесах и лесных пожаров, разработка и утверждение

планов тушения лесных пожаров, иные меры пожарной безопасности в лесах) и тушение пожаров в лесах.

Наибольший ущерб лесам наносят крупные лесные пожары, затраты на тушение которых могут достигать 80–90 % всех финансовых средств и ресурсов. Поэтому эффективность охраны лесов заключается в создании системы, решающей задачи раннего обнаружения лесных пожаров и их подавления на малых площадях.

Приоритет при охране лесов от пожаров отдается специализированным лесным службам.

Организация системы управления охраной лесов от пожаров

Лесной пожар – это стихийное неуправляемое распространение огня в лесах.

Различают три основных вида лесных пожаров – низовой, верховой, подземный.



Низовой пожар характеризуется распространением огня по напочвенному покрову – лесному отпаду, травянистой растительности, мхам, подросту, коре в нижней части древесных стволов (рис. 178).

По скорости распространения огня и характеру горения низовые пожары имеют две формы – беглую и устойчивую.

Беглый низовой пожар обычно

Рис. 179. Низовой пожар

развивается в весенний период, когда горением охватывается самый верхний слой напочвенного покрова и прошлогодняя травянистая растительность.

Устойчивый низовой пожар развивается обычно в середине лета и характеризуется полным сгоранием напочвенного покрова и лесной подстилки. На участках, пройденных таким пожаром, полностью сгорают подрост, подлесок, лесная подстилка, частично обгорают корни и кора деревьев, в результате чего часть деревьев прекращает рост и гибнет. На торфяных почвах устойчивые низовые пожары могут перейти в подземные (торфяные), а в молодняках и многоярусных насаждениях с наличием хвойного подроста – в верховые.



Рис. 179. Верховой пожар

Верховой пожар – контур пожара сильно вытянут, видны горящие кроны деревьев, огонь хорошо заметен с высоты 600 м, цвет дыма темный.

Возникновение и развитие верховых пожаров обычно происходит от низового пожара в древостоях с низкоопущенными кронами, в разновозрастных хвойных, в многоярусных и с обильным подростом насаждениях, а также в горных лесах (рис. 179).

Наиболее подвержены верховым пожарам хвойные молодняки на сухих повышенных местах, заросли кедрового стланика и дуба кустарниковой формы. Возникновению верховых пожаров в значительной степени способствуют засухи и сильные ветры.



Рис. 180. Торфяной пожар

Торфяной или подземный – границы недавно возникшего пожара плохо заметны, дым поднимается со всей площади пожара, огонь не виден. Подземный (почвенный) пожар развивается в результате заглубления огня низового пожара в нижние слои подстилки и торфяной слой почвы. При почвенном

пожаре сгорают корни, и деревья падают, как правило, вершинами к центру пожара, имеющему в большинстве случаев круглую или овальную форму пожарища (рис. 180).

По силе распространения выделяют различные виды пожаров. В табл. 4 приведены их характеристики.

Виды пожаров по силе их распространения

Таблица 4

Сила пожара Вид пожара	Слабый		Средний		Сильный	
	скорость м/мин	высота (глубина), м	скорость м/мин	высота (глубина), м	скорость м/мин	высота (глубина), м
Низовой	до 1	до 0,5	1–3	до 5	>3	>1,5
Верховой	до 3	–	от 3 до 100	–	>100	–
Подземный почвенный	–	(до 0,25)	–	(от 0,25 до 0,5)	–	(>0,5)

Скорость распространения огня при беглом низовом пожаре значительная (180–300 м/ч) и находится в прямой зависимости от скорости ветра в приземном слое.

Скорость распространения огня при устойчивом низовом пожаре варьирует от нескольких до 180 м/ч.

Скорость распространения огня почвенного пожара незначительна – от нескольких десятков сантиметров до нескольких метров в сутки.

Помимо классификации лесные пожары делятся на классы:

Класс лесного пожара	Площадь, охваченная огнем, га
Загорание	0,1–0,2
Малый пожар	0,2–2,0
Небольшой пожар	2,1–20
Средний пожар	21–200
Крупный пожар	201–2000
Катастрофический пожар	>2000

Существуют 5 классов пожарной опасности лесных участков: I – высокая степень пожарной опасности (на карте закрашивается красным цветом), II – выше среднего (оранжевым), III – средняя (желтым), IV – ниже среднего (зеленым), V – низкая (голубым).

Охрана лесов от пожаров в России осуществляется наземными и авиационными способами.

При тушении пожаров используются различные способы и средства: взрывной, водный – ранцевыми огнетушителями и мотопомпами, отжиг, с применением бульдозеров, тракторов, автоцистерн, искусственным вызыванием осадков. В последнее время используют самолеты-танкеры (Ан-2П) и самолеты-амфибии (Бе-12П).



Рис. 181. Сброс воды с гидросамолета на очаг возгорания

На рис. 181 представлен один из способов тушения лесных пожаров. Существуют различные стадии тушения, развития пожара и операции по тушению пожаров.

В системе авиаохраны лесов от пожаров важное место занимает противопожарная профилактика – это воспитательная и разъяснительная работа среди населения.

Авиалесоохранные работы планируются и проводятся с учетом степени пожарной опасности в лесу, которая характеризуется классами пожарной опасности по условиям погоды, информация о погоде поступает из Гидрометцентра России.

Внедряются ГИС мониторинга лесных пожаров, базирующиеся на комплексе данных – наземных, авиационных, космических. В составе ГИС-мониторинга выделяются 4 функциональные подсистемы:

1. Прогнозирование лесопожарной обстановки (определение границ снежного покрова, сроков наступления и окончания пожароопасного сезона; построение и хранение обзорных изображений с метеорологических спутников Земли и др.).
2. Обнаружение, слежение за динамикой пожаров и их тушение (выделение зон чрезвычайной горимости лесов и массовых вспышек лесных пожаров; формирование статистической отчетности о лесных пожарах и ходе их тушения).

3. Оценка масштабов воздействия последствий лесных пожаров (оценка размеров и структуры пройденной огнем площади лесного фонда. Поддержка управленческих решений (планирование и оперативное управление работой лесопожарных служб).

В состав ГИС входят данные о лесном фонде и лесных пожарах, погодных условиях, ресурсах лесопожарных служб, нормативно-справочные данные.

Авиационное патрулирование лесов проводится с наступлением пожарной опасности в лесу по условиям погоды по утвержденным маршрутам. Целью его является своевременное обнаружение лесных пожаров и выявление нарушений правил пожарной безопасности в лесах.

Патрульные маршруты прокладывают через наиболее опасные в пожарном отношении участки с таким расчетом, чтобы обеспечивалась полная просматриваемость обслуживаемой территории при средних условиях видимости. Расстояния между линиями маршрутов должны быть не более 60 км, а от границ обслуживаемой территории – не более 30 км.

Во время полета на самолете летчик-наблюдатель ведет постоянное наблюдение за охраняемой территорией, осматривая дымовые точки. В случае обнаружения пожара определяет его точное местоположение, параметры и принимает меры по организации его тушения: высаживается группа пожарных-десантников или сообщается о нем в лесхоз (лесничество). В последние годы координаты лесных пожаров определяют по спутниковой системе геопозиционирования. Далее определяется вид пожара.

При осмотре пожара летчик-наблюдатель определяет потребность технических средств и рабочих по нормативам, а также тактику и технику тушения пожара в данных условиях. Летчик-наблюдатель должен сразу сообщить о пожаре по радиосвязи в авиаотделение или лесхоз.

В настоящее время организовано международное сотрудничество со многими странами. Была оказана помощь в тушении пожаров в Греции, Афганистане, Турции, Испании, Франции, ЮАР и балканских странах. Осуществляется международное сотрудничество с США, Канадой, Германией, КНР, ЮАР, Монголией и Финляндией. Для стран СНГ ведется ежегодная подготовка летчиков.

Контрольные вопросы

1. Опишите структуру управления охраной лесов от пожаров, ее суть и принципы.
2. Какие виды пожаров вы можете назвать? Опишите последствия пожаров. Какие предпринимаются меры контроля и борьбы с ними?
3. На чем основаны контроль и мониторинг лесов, профилактические мероприятия возникновения пожаров?

15. ПРИМЕНЕНИЕ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ ПРИ ИНВЕНТАРИЗАЦИИ ЛЕСОВ

15.1. Применение аэрофотоснимков при таксации лесов наземными методами

Таксационная тренировка. В процессе тренировки отработывают глазомер по определению таксационных показателей; изучают дешифровочные признаки насаждений; приобретают навыки определения по снимкам состава насаждений, высоты, возраста, типа леса.

После тренировки на пробных площадях каждый таксатор самостоятельно готовит фотоабрис и выполняет до выхода в лес контурное и глазомерное аналитическое таксационное дешифрирование выделов.

Затем в поле таксируется им каждый выдел глазомерно-измерительным методом. Руководитель тренировки сравнивает данные дешифрирования и глазомерной таксации с данными выборочно-перечислительной таксации и при наличии ошибок анализирует их причины.

В процессе натурной тренировки осваивают также технику опознания и нанесения на аэрофотоснимки квартальных просек, границ; контурных опорных точек, таксационных выделов по их фотоизображению и ориентирам. По результатам тренировки дают заключение о допуске таксаторов к производственной таксации.

Полевые лесоинвентаризационные работы. При съёмочно-геодезических работах помощник таксатора составляет на каждый квартал фотоабрис. При отсутствии помощника эту работу выполняет таксатор. Восстанавливают и промеряют границы, просеки. На лицевой стороне окончательно оформленного фотоабриса наносят просеки, границы, контуры таксационных выделов, номера кварталов. Дороги, реки, видимые только под стереоскопом, наносят цветной тушью.

На обратной стороне фотоабриса должны быть проколы ориентиров и контурных точек с их привязками, просеки, масштаб аэрофотоснимка.

Наземную таксацию насаждений выполняют глазомерно.

Окончательную таксационную характеристику выдела устанавливают после изучения его особенностей по аэрофотоснимкам непосредственно в лесу.

15.2. Инвентаризация лесов на основе сочетания наземной таксации с камеральным дешифрированием аэрофотоснимков

Метод предусматривает частичную замену наземной таксации камеральным дешифрированием цветных спектрально-аналитических аэрофотоснимков. Его применяют при первичном и повторном лесоустройстве в районах с относительно простыми по составу и структуре насаждениями.

Изучение объекта и составление таблиц встречаемости насаждений. В начале подготовительных работ изучают географические и

лесорастительные условия, особенности насаждений. Территорию делят на однородные части по лесорастительным условиям.

Далее составляют таблицы встречаемости насаждений. Затем проводят выборку выделов из таксационных описаний. Таблицы встречаемости составляют для объекта в целом или для его однородных частей (ландшафтов) и вычисляют коэффициенты изменчивости таксационных показателей.

Таблицы позволяют равномерно распределить закладываемые пробные площади и типичные выделы в наиболее представленных группах насаждений.

Таксационно-дешифровочные тренировки подразделяют на коллективную полевую, индивидуальную полевую, камеральную контрольную и индивидуальную камеральную.

Коллективную полевую тренировку проводят со всеми исполнителями в начале полевого периода на 20–30 пробных площадях и таксационном ходе с 20–30 типичными выделами.

На первом этапе каждый исполнитель таксирует насаждение и заполняет карточку анализа признаков дешифрирования. Руководитель тренировки вместе с исполнителем анализирует и обсуждает результаты. Одновременно с этим проводится тренировка по работе с инструментами и приборами, способами закладки пробных площадей.

Затем пробные площади анализируют в поликамеральных условиях при стереоскопическом просмотре снимков. При этом в карточку анализа признаков вносят дополнительные данные, видимые на снимках.

На втором этапе коллективной тренировки предварительно дешифрируют насаждения оставшихся пробных площадей и типичных выделов, затем проводят их натурный осмотр и глазомерную таксацию.

Завершающий этап индивидуальной таксационно-дешифровочной тренировки – поликамеральное дешифрирование участка площадью 10–15 тыс. га с последующим самоконтролем результатов дешифрирования в натуре по квартальным просекам.

Натурные лесоинвентаризационные работы. При выполнении съемочно-геодезических работ помощник таксатора отмечает на обратной стороне снимков хорошо заметные ориентиры и границы таксационных выделов с указанием преобладающей породы и ее возраста.

Таксатор-дешифровщик намечает таксационные маршруты с таким расчетом, чтобы при минимальной их протяженности таксацией были охвачены все выделы, намеченные к натурной таксации.

Наземными методами выборочно изучают естественное возобновление и подрост под пологом леса и на не покрытых лесом землях, обследуют лесные культуры, санитарное состояние и товарность лесного фонда, а также наличие сырьевой базы побочных пользований. Значительные объемы перечислительной таксации выполняют для обеспечения контроля за точностью дешифрирования.

Дешифрирование аэрофотоснимков. Камеральное лесотаксационное дешифрирование снимков сочетает элементы фотограмметрических измерений с глазомерно-стереоскопическим определением ряда характеристик и параметров дешифрируемых насаждений.

Таксационное дешифрирование начинают с установления границ таксационных выделов при анализе снимков под стереоскопом. По комплексу показателей площади разграничивают на однородные участки.

Определение таксационных характеристик дешифрируемых насаждений начинают с установления формулы состава. Составляющие насаждение древесные породы распознают глазомерно или сравнением изображения на снимках со стереограммой.

Среднюю высоту древостоя определяют по разности продольных параллаксов, которую измеряют с помощью стереоприборов, измерения повторяют дважды.

Средний диаметр древостоев элементов леса на высоте 1,3 м устанавливают по графикам, номограммам, таблицам и уравнениям.

Полноту насаждения устанавливают глазомерно на основе стереоскопического анализа изображения полога насаждения на снимках.

Неоднородные таксационные выделы при дешифрировании разбивают на подвыделы и для каждого дают отдельно полную таксационно-дешифрировочную характеристику.

15.3. Особенности повторной инвентаризации лесов таежной экстенсивной зоны

В лесах, пройденных лесоустройством, регулярно, через 10–15 лет, проводят повторное лесоустройство для обновления планово-картографических, учетных, проектных материалов. Ее проводят в сочетании с полевым и камеральным дешифрированием цветных спектрональных снимков.

Если изменения в лесном фонде невелики, технология существенно рационализируется.

В процессе дешифрирования снимков с использованием планов лесонасаждений, планшетов, таксационных описаний на снимки наносят молодняки, несомкнувшиеся лесные культуры, редины, гари, вырубки.

Затем дешифрируют вырубки, гари и другие категории площадей, появившиеся в течение ревизионного периода в результате лесохозяйственной деятельности и стихийных бедствий, а также наносят на снимки лесные культуры ревизионного периода, участки, пройденные рубками ухода и санитарными рубками. Границы устанавливают при натурной таксации.

Для выявления изменений, не учтенных лесохозяйственным предприятием, по снимкам производят стереоскопический поквартальный анализ всех выделов.

15.4. Инвентаризация резервных лесов на основе дешифрирования космических снимков

Фотостатистический метод. Для инвентаризации резервных, преимущественно низкопродуктивных лесов, расположенных на севере и северо-востоке страны, обследованных в 1948–1955 гг. аэровизуальными методами и не изученных лесоустройством, площадь которых составила в середине 70-х гг. прошлого столетия 500 млн га, с 1978 г. применяются упрощенные методы, основанные на дешифрировании космических снимков. Они не предусматривают проведения натурных работ по организации территории. В период с 1978 по 2002 г. применялись космические цветные спектрозональные снимки, сейчас используют с фотоснимками многоспектральные сканерные изображения, получаемые с ИСЗ Landsat-7 и автоматизированные методы их дешифрирования в среде ГИС.

В начальный период 70–80 гг. применялся фотостатистический метод, основанный на дешифрировании космических снимков и выборочных крупномасштабных аэрофотоснимков. Метод состоял из 4 ступеней выборки:

1. Контурное и таксационное дешифрирование КФС – определялись категории земель – преобладающие породы – группы возраста – группы типов лесов – группы классов бонитета – группы полноты. Выделы объединялись в страты и планировалась выборочная аэрофотосъемка.

2. Контурное и аналитическое дешифрирование таксационных выделов на всей рабочей площади выборочных аэрофотоснимков. Укрупненные выделы подразделяют на более дробные таксационные выделы с определением глазомерно-стереоскопическим способом состава, класса возраста, высоты, типа леса, класса бонитета, полноты.

3. Измерительное дешифрирование фотопроб (выделов), случайно или систематически отобранных по стратам. Измеряют высоты, диаметры крон элементов леса, определяют состав, класс, возраст, полноту и запас насаждений.

4. Натурная перечислительная таксация части (5–10 %) выборочных фотопроб для оценки точности дешифрирования как аэрофотоснимков, так и КФС, и определения величины систематической ошибки.

Общие принципы повторной технологии инвентаризации резервных лесов. Задачей повторной инвентаризации лесов данных регионов должно быть выявление и учет основных изменений в лесном фонде, связанных с трансформацией категорий земель:

- переходом покрытых лесом земель в непокрытые (гари, редины, вырубки) и нелесные земли (трассы коммуникаций, дороги);
- переходом не покрытых лесом земель в покрытые лесом земли (возобновление на площадях бывших гарей, редины, вырубок);
- актуализация основных таксационных характеристик насаждений и исключение допущенных прошлой лесоинвентаризацией части ошибок в контурном и таксационном дешифрировании, которые могли быть.

На изученную территорию имеются следующие материалы: планы лесонасаждений в М 1:100000 – схематические карты лесхозов или их частей в М 1:300000; таксационные описания; данные обследования типичных выделов; комплекс проектных материалов; архивные цветные спектрзональные космические снимки с границами таксационных выделов; архивные аэрофотоснимки залетов разных лет; топографические и различные тематические карты.

По многоспектральным КС, имеющим разрешение не хуже 10–20 м, необходимо:

- создать цифровую топографическую основу картографических материалов,
- провести автоматизированное разделение территории на страты: лесные и не покрытые лесом земли; основные лесные формации; низкоплотные, средне- и высокоплотные насаждения; молодняки и насаждения более старых возрастов; нанести на топографическую основу и КС генерализованные формы рельефа.

Обобщенная схема повторной инвентаризации резервных лесов включает следующие виды работ:

- приобретение космических снимков;
- преобразование в цифровую форму картографических материалов прошлой инвентаризации;
- оцифровка топокарт, ландшафтных карт, форм рельефа;
- погружение в среду ГИС космических изображений, картографических и таксационных материалов;
- создание по данным прошлой инвентаризации обучающей и контрольной выборок и погружение их в среду ГИС;
- автоматическая контролируемая классификация многоспектральных сканерных изображений на территорию лесоинвентаризации;
- автоматизированный сравнительный анализ результатов классификации на экране компьютера с данными контурного и таксационного дешифрирования;
- внесение поправок;
- выявление и учет изменений, вносимых в материалы прежней лесоинвентаризации;
- интерактивный анализ не покрытых лесом земель, зарегистрированных прошлой инвентаризацией и появившихся после нее;
- формирование окончательного варианта уточненного плана лесонасаждений, таксационных описаний, учета лесного фонда;
- разработка проекта организации и ведения лесного хозяйства в соответствии с лесоустроительной инструкцией.

Контрольные вопросы

1. На чем основаны принципы и суть применения аэрокосмических снимков при инвентаризации лесов?

2. Как производится инвентаризация лесов в ГИС?
3. Перечислите основные блоки повторной инвентаризации резервных лесов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

ГИС – это современные геоинформационные мобильные системы, которые обладают возможностью отображать свое местоположение на карте. В основе этого важного свойства лежит использование двух технологий: геоинформационной и глобального позиционирования.

Человеку в современном обществе без ГИС-технологий не обойтись. Без них сегодня практически невозможно в любой сфере деятельности, начиная от построения экономики в целом и заканчивая рациональным природопользованием и ведением современного сельскохозяйственного производства, особенно в условиях глобальной экологизации. Сегодня во всем мире идут одинаковые тенденции по сбору и управлению огромной базой пространственных данных, что до недавнего времени было весьма сложно, т. к. была слабо развита материально-техническая база, которая сильно ограничивала доступ получения пространственных данных о земной поверхности (аэрокосмоснимки). Но в последние несколько лет ситуация кардинально изменилась в лучшую сторону, и с появлением новых цифровых технологий, оборудования и материалов ГИС поднимается на более высокий уровень. А это является стимулом для внедрения системы во все более новые сферы жизнедеятельности человека и общества в целом, где основным и приоритетным направлением использования ГИС является уже не только обеспечение жизнедеятельности человека, но и рациональное управление производством. ГИС работает с пространственными объектами и данными, что позволяет осуществлять множество операций по выявлению закономерностей, проводить анализ, учет, прогноз и непосредственно графически отображать результаты обработки. Таким образом, геоинформационные системы являются системой, способствующей решению управленческих и экономических задач на основе средств и методов информатизации, т. е. способствующей процессу информатизации общества в интересах прогресса.

На наш взгляд, сегодня в мире всеобщего развития цифровизации идет существенная интеграция ГИС с различными прикладными программами, что способствует расширению представления об окружающем мире и закономерностям его развития. Широкое применение ГИС в агрономии, лесоводстве, земельном кадастре и в управлении территориальным развитием позволило существенно улучшить работу в этих сферах, а также дало новые возможности для мониторинга и прогнозирования, пропорционально снизив процент ошибок в работе с картографическими материалами.

Основной положительной стороной в агрономии стал непрерывный контроль состояния земель сельскохозяйственного назначения, мониторинг за вегетирующими растениями, а также максимально эффективное управления урожаями, оптимизация затрат на производство продукции.

Подводя итог, следует констатировать, что ГИС в настоящее время представляет собой современный тип интегрированной информационной системы, применяемой в разных направлениях. Данная система отвечает требованиям глобальной информатизации общества.

Можно с уверенностью сказать, что роль ГИС на сегодняшний день очень велика и что с развитием общества эти технологии будут все дальше развиваться и проникать в различные сферы нашей жизни.

ГЛОССАРИЙ

Автоматизированное картографирование (Automated Mapping) – процесс составления карт при помощи графических устройств (графический дисплей, плоттер), управляемых ЭВМ, и специализированного программного обеспечения.

Атрибутивные данные (Attribute Data) – качественные или количественные (неграфические) данные, представленные в виде свойств или характеристик, относящихся к определенному пространственному объекту базы данных ГИС.

Базовая пространственная единица (Basic Spatial Unit (BSU)). Синоним: **Единица картографирования** (Mapping Unit) – элементарный объект, обладающий набором одинаковых свойств в контексте выбранной классификации.

Векторная модель географических данных (Vector Geographic Data Model) – способ представления географических данных в базе данных ГИС в виде задания пар прямоугольных координат точек (X,Y), которые определяют начало и направление вектора (элементарную дугу). Последовательность дуг образует линейный пространственный объект данных ГИС. Каждый линейный объект определяется упорядоченным набором пар координат точек. В свою очередь, набор замкнутых линейных объектов образует полигон – площадной пространственный объект базы данных ГИС.

Географическая база данных (Geographic Database) – совокупность цифровых географических данных (картографических слоев или покрытий) и соотнесенных с ними атрибутивных данных, организованных с целью их эффективного хранения и использования в ГИС.

Географическая информационная система (ГИС) (Geographic Information System (GIS)) – совокупность технических, программных и информационных средств, обеспечивающих ввод, хранение, обработку, математико-картографическое моделирование и образное интегрированное представление географических и соотнесенных с ними атрибутивных данных для решения проблем территориального планирования и управления.

Географические данные (Geographic data). Синонимы: **Пространственные данные** (Spatial Data), **Геоданные** (Geodata) – набор данных, которые индивидуально или в определенной совокупности определяют географическое положение и форму реальных пространственных объектов.

Геоинформатика (Geoinformatics) – научно-технический комплекс, объединяющий одноименную отрасль научного знания, технологию и прикладную (производственную) деятельность, которые связаны со сбором, хранением, обработкой и отображением пространственных (географических) данных, а также с проектированием, созданием и эксплуатацией ГИС.

Геоинформационное картографирование (Geoinformation Mapping) – автоматизированное создание и применение карт на основе ГИС и баз картографических данных и знаний.

Геокод (Geocode) – кодовое значение (сочетание символов), присвоенное пространственному объекту, которое отражает информацию о географическом положении объекта и используется для доступа к данным ГИС, относящимся к этому объекту.

Геокодирование (Geocoding) – перевод географических координат, описывающих местоположение и форму реального пространственного объекта, в набор прямоугольных координат или элементов-ячеек равномерной сети.

Дуга (Arc) – элементарный геометрический объект географической базы данных ГИС, который определяет местоположение соответствующего линейного реального пространственного объекта или его части, а также границы полигона или ее фрагмента.

Картографическая база данных, База картографических данных (Map Database) – концептуально, логически и физически взаимосвязанный набор картографических слоев, в цифровой (векторной или растровой) форме характеризующих местоположение и форму реальных пространственных объектов (в виде точек, линий, полигонов, элементов регулярной или триангуляционной сети) и связанных с атрибутивными данными об этих объектах.

Картографический слой (Map Layer, Map Overlay) – интегрированный набор географических данных, представляющих определенный тип реальных пространственных объектов или их совокупность, объединенную по общему признаку или его конкретным значениям.

Линейно-узловая топология (Arc-Node Topology). Синоним: **Векторная топология** (Vector Topology) – пространственные отношения разного уровня между связанными или примыкающими друг к другу геометрическими элементами одного покрытия или слоя (точками, дугами, полигонами), позволяющие формально описывать геометрическую форму пространственных объектов в базе данных ГИС и осуществлять их анализ и перестройку только за счет топологической информации без обработки координатных данных.

Метаданные пространственных данных (Spatial Metadata) – данные, описывающие содержание, объем, положение в пространстве, качество и другие характеристики и свойства пространственных (географических) данных.

Модель геоданных (Geodata Model) – формализованная система представления географических данных в ГИС.

Модель картографирования (Mapping Model) – формализованная схема, описывающая процесс многократного комбинирования и сопряженного анализа картографических слоев в ГИС, в результате которого синтезируется новая карта.

Нерегулярная триангуляционная сеть (Triangulated Irregular Network (TIN)) – структура организации географических данных, описывающая трехмерную земную поверхность в виде связанных между собой общими вершинами и сторонами непересекающихся треугольников неправильной формы. Каждый треугольник сети определяется тремя координатами (X,Y,Z) его вершин.

Покрытие (Coverage) – цифровая модель карты, формирующая единицу хранения векторной базы картографических данных ГИС. Покрытие хранит географические объекты первичного уровня (точки, дуги, узлы, полигоны) и вторичного уровня (координаты углов, аннотации и проч.).

Полигон (Polygon) – элементарный геометрический объект географической базы данных ГИС, который определяет местоположение соответствующего площадного реального пространственного объекта.

Пространственный запрос (Spatial Query). Синоним: **Картографический запрос** (Map Query) – процесс выборки информации из базы данных ГИС, основанный на запросах, подразумевающих установление местоположения объектов или пространственных отношений между ними с помощью цифровой карты.

Растровая модель географических данных (Raster Geographic Data Model) – способ представления географических данных в базе данных ГИС в виде равномерной ячеистой структуры, формирующей прямоугольную матрицу, в которой каждый элемент принимает определенное значение, присущее реальному пространственному объекту.

Реальный пространственный объект (Spatial Entity Object). Синоним: **Географический объект** (Geographic Entity) – любой конкретный или абстрактный объект реального мира, который может быть определен однозначным содержанием и границами и описан в ГИС в виде набора геоданных.

Регулярная сеть (Regular Grid) – способ организации географических данных в базе данных ГИС в виде множества равных по размерам и территориально сопряженных элементов-ячеек, упорядоченных в виде строк и столбцов. Географическое местоположение каждого элемента (X,Y) определяется порядковыми номерами соответствующих строки и столбца.

Система автоматизированного картографирования (Computer aided mapping (CAM) system) – автоматизированная система, которая помогает оператору осуществлять стандартные процедуры картографирования – проектирование, составление, редактирование, оформление и печатание карт.

Точка (Point) – элементарный геометрический объект географической базы данных ГИС нулевой размерности, который определяет местоположение точечного реального пространственного объекта.

Трехмерная (пространственная) модель (3D Spatial Model) – наглядная и измеримая цифровая модель местности, построенная в системе координат X,Y,Z в соответствии с заданными условиями пространственной ориентации относительно наблюдателя.

Цифровая карта (Digital Map) – цифровое выражение векторного или растрового представления общегеографической или тематической карты, записанное в определенном формате, обеспечивающем ее хранение, редактирование и воспроизведение.

Цифровая модель местности (Digital Terrain Model (DTM)) – цифровая форма представления земной поверхности в виде сети (матрицы) высот или списка трехмерных координат X,Y,Z.

Цифровая модель рельефа (Digital Elevation Model (DEM)) – файл значений высотных отметок, приуроченных к узлам достаточно мелкой регулярной сети и организованных в виде прямоугольной матрицы, представляющей собой цифровое выражение высотных характеристик рельефа на топографической карте.

Электронная карта (Electronic Map) – векторная или растровая общегеографическая или тематическая карта, сформированная на машинном носителе (оптическом диске).

Электронный атлас (Electronic Atlas) – тематически и логически структурированная система электронных карт, созданная по единой программе и поддерживаемая с помощью специализированных программных средств как целостное картографическое произведение определенного назначения.

Библиографический список

1. *Богомолов Л.А.* Дешифрирование аэроснимков / Л.А. Богомолов. – М.: Недра, 1976. – 145 с.
2. *Боголюбова А.А.* Методика построения матрицы ошибок и оценка общей точности классификации аэрофото- и космоснимков / А.А. Боголюбова // Маркшейдерский вестник. – 2010. – № 4. – С. 22–25.
3. *Аэрокосмические съемки: метод. указания к курсовому проектированию* / Национальный минерально-сырьевой ун-т «Горный»; сост.: А.А. Боголюбова, Ю.Н. Корнилов. – СПб, 2016. – 60 с.
4. *Бровко Е.А.* Анализ современного состояния работ в области топографического мониторинга на основе ДЗЗ. Отечественный и зарубежный опыт / Е.А. Бровко, С.А. Ефимов, Л.М. Козлова; под ред. Е.А. Бровко. – Обзорная информация. – М.: ЦНИИГАиК, 2007. – 128 с.
5. *Зинченко О.Н.* Цифровые камеры для топографической аэросъемки. Обзор моделей (декабрь, 2013) [Электронный ресурс] / О.Н. Зинченко – Режим доступа: <http://www.racurs.ru/wiki/index.php> (дата обращения:).
6. *Каличкин В.К.* Агрономические геоинформационные системы: монография / В.К. Каличкин, А.И. Павлова. – Новосибирск: СФНЦА РАН, 2018. – 347 с.
7. *Кашкин В.Б.* Цифровая обработка аэрокосмических изображений. Версия 1.0 [Электронный ресурс]: электрон. учеб. пособие / В.Б. Кашкин, А.И. Сухинин. – Красноярск: ИПК СФУ, 2008.
8. *Костюк Ю.Н.* Учебно-методическое пособие по курсу «Аэрокосмические методы в геологии» / Ю.Н. Костюк. – Ростов н/Д, 2007. – 41 с.
9. *Кочуб Е.В.* Анализ методов обработки материалов дистанционного зондирования Земли / Е.В. Кочуб, А.А. Топаз // Вестн. Полоцкого гос. ун-та. – 2012. – Сер. Ф. – С. 132–140.
10. *Кравцова И.В.* Космические методы исследования почв: учебно-метод. пособие / Кравцова И.В. – М.: Аспект Пресс, 2005. – 199 с.
11. *Кронберг П.* Дистанционное изучение Земли: Основы и методы дистанционных исследований в геологии [Электронный ресурс] / П. Кронберг; пер. с нем. – Режим доступа: http://geoknigi.com/book_view.php?id=833 (дата обращения:).
12. *Передерин В.М.* Основы геодезии и топографии: учебное пособие / В.М. Передерин, Н.В. Чухарева, А.Н. Антропова. – Томск: Изд-во Томского политехн. ун-та, 2008. – 123 с.
13. *Смирнов Л.Е.* Аэрокосмические методы географических исследований: учебник для студентов вузов по специальностям «География» и «Картография» / Л. Е. Смирнов; Санкт-Петербургский гос. ун-т. – СПб.: Изд-во С.-Петербургского ун-та, 2005. – 348 с.

14. *Фонд* знаний Ломоносов. Дистанционное зондирование Земли [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.lomonosov-fund.ru/enc/ru/encyclopedia:01330:article> (дата обращения:).

15. *Automated* classification of agricultural lands using GIS and NES / V.K. Kalichkin, A.I. Pavlova, A.F. Petrov, V.A. Smolyakov // International Journal of Engineering and Technology (UAE). – 2018. – Vol. 7, N 4.38. – P. 1146–1149.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1. ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ	5
1. Что такое ГИС и где ее применяют?	6
2. По какому признаку различаются ГИС?	6
3. С какими типами данных может работать ГИС?	6
2. ТОПОГРАФИЧЕСКАЯ КАРТА	7
2.1. Топографическая карта, термины, масштабы условные обозначения	7
2.2. Географические элементы карт	8
2.3. Масштаб карты	13
2.4. Особенности содержания карт различных масштабов	15
2.5. Некоторые сведения о старых русских топографических картах	17
3. АЭРОКОСМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ, ЛАНДШАФТНОЙ АРХИТЕКТУРЕ И ЛЕСОВОДСТВЕ	18
3.1. Понятие об аэрокосмических методах	18
3.2. Классификация аэрокосмических методов	20
3.3. Виды аэрофотосъемки и их особенности	21
3.4. История аэрофотосъемки местности	26
3.5. Виды космической съемки	27
3.7. Что лучше выбрать для картографирования в крупных масштабах, аэросъемку или космический снимок?	35
4. АТМОСФЕРНО-ОПТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ СЪЕМОК	40
4.1. Состав и строение атмосферы	40
4.2. Оптические свойства атмосферы	41
4.3. Оптические характеристики природных образований	44
4.4. Спектральные отражательные свойства растительности и методы их изучения	47
4.5. Индекс NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)	49
4.6. Метеорологические условия съемки	50
4.7. Оптимальные сроки проведения аэрокосмических съемок	52
5. ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА АЭРОКОСМИЧЕСКИХ СЪЕМОК	55
5.1. Летательные аппараты, используемые для проведения аэрокосмических съемок	55
5.2. Технические средства дистанционных съемок	58
5.3. Устройство аэрофотоаппарата и фотографические материалы	64
5.4. Фотографические материалы	68
1. Какие аппараты преимущественно используются для проведения аэрокосмических съемок?	73

2. Каково техническое обеспечение летательных аппаратов, используемых в проведении аэрокосмических съемок?	73
3. Как устроен фотоаппарат? Каков характер его использования?	73
4. Сколько контрольных точек необходимо для регистрации изображения?	73
6. ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АЭРО- И КОСМОСНИМКОВ	74
6.1. Понятие аэрокосмического снимка	74
6.3. Элементы центральной проекции аэрофотоснимка.....	80
6.4. Масштабы снимка	82
6.5. Искажения изображений на аэрофотоснимках	83
6.6. Искажения изображений на космическом снимке.....	85
7. ИЗОБРАЗИТЕЛЬНЫЕ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА АЭРОКОСМИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ.....	87
7.1. Ландшафты и их структура, изобразительные и информационные свойства изображений	87
Ландшафтам свойствен закон необходимого разнообразия: нельзя найти две абсолютно одинаковые фации, даже если они расположены рядом друг с другом и в одном ландшафте.	
7.2. Изобразительные свойства аэрокосмических снимков	89
7.3. Информационные свойства снимков.....	92
7.4. Фотометрический анализ изображения	93
7.5. Преобразование информации.....	93
8. ДЕШИФРИРОВАНИЕ АЭРО- И КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ.....	94
8.1. Объекты и методы лесного дешифрирования	94
8.2. Исходные положения лесного дешифрирования	96
8.3. Последовательность дешифрирования аэрокосмических снимков.....	96
8.4. Стереоскопический эффект.....	98
8.5. Стереоскопические измерения по аэрофотоснимкам	104
9. АНАЛИТИЧЕСКОЕ ДЕШИФРИРОВАНИЕ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ.....	110
9.1. Особенности таксационного дешифрирования космических снимков.....	110
9.2. Дешифровочные признаки и методология дешифрирования по космическим снимкам пожарной обстановки	115
10. АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ОБРАБОТКА АЭРОКОСМИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ	120
10.1. Цифровое изображение	120
10.2. Предварительная обработка изображений.....	125
10.3. Интерактивный метод дешифрирования	132
10.4. Методы автоматизированной классификации спутниковых изображений.....	133
10.5. Оценка разделимости классов и точности результатов классификации изображений ...	138
10.6. Методология автоматизированной обработки спутниковых изображений при картографировании и мониторинге лесов	139

11. КАРТОГРАФИРОВАНИЕ	142
11.1. Общие понятия о лесной картографии.....	142
11.2. Фотосхемы	146
11.3 Мелкомасштабные тематические карты лесов.....	147
1. Что называют картографией? Где она используется?	149
2. Что называют цифровой фотограмметрической обработкой снимка? Какие основные этапы она включает?	149
3. Какие виды картографических материалов используется в ГИС-технологиях?	149
4. Каково назначение карт и их топографической основы?	149
12. МОРФОЛОГИЯ ПОЛОГА ДРЕВОСТОЕВ	150
12.1. Структура полога насаждений	150
12.2. Взаимосвязь сомкнутости полога с полнотой насаждения	155
12.3. Методы изучения таксационно-дешифровочных показателей насаждений	155
12.4. Способы определения сомкнутости полога насаждений	157
13. ПРИМЕНЕНИЕ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПРИ УСТРОЙСТВЕ РЕКРЕАЦИОННЫХ ЛЕСОВ, В ЛЕСОПАТОЛОГИИ И ПРИ ЛЕСОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОБСЛЕДОВАНИЯХ	158
13.1. Применение аэроснимков при устройстве рекреационных лесов.....	158
13.2. Оценка лесопатологического состояния.....	160
13.3. Авиадесантные лесопатологические обследования.....	167
13.4. Оценка порядка лесопользования.....	168
13.5. Оценка состояния лесовозобновления	169
13.6. Оценка состояния полегающих лесных насаждений	170
13.7. Выявление и учет текущих изменений в лесном фонде.....	170
14. АВИАЦИОННАЯ ОХРАНА ЛЕСОВ ОТ ПОЖАРОВ	172
15. ПРИМЕНЕНИЕ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ ПРИ ИНВЕНТАРИЗАЦИИ ЛЕСОВ	177
15.1. Применение аэрофотоснимков при таксации лесов наземными методами.....	177
15.2. Инвентаризация лесов на основе сочетания наземной таксации с камеральным дешифрированием аэрофотоснимков.....	177
15.3. Особенности повторной инвентаризации лесов таежной экстенсивной зоны.....	179
15.4. Инвентаризация резервных лесов на основе дешифрирования космических снимков...	180
Заключение.	184
ГЛОССАРИЙ	185
Библиографический список	189

Петров Андрей Федорович
Капустянчик Светлана Юрьевна
Митракова Анна Григорьевна
Шакиров Роман Галавитдинович

Использование ГИС-технологий в сельском хозяйстве

Учебное пособие

Редактор М.Г. Девищенко
Компьютерная верстка
Подписано в печать 2020 г. Формат 60×84 1/16
Объем 15,0 уч.-изд. л., усл. печ. л.
Тираж экз.
Изд. № 1. Заказ №

Отпечатано в ИЦ НГАУ «Золотой колос».
630039, Новосибирск, ул. Добролюбова, 160, каб. 106.
Тел. (383) 267-09-10. E-mail: 2134539@mail.ru