

УДК 528.8(076.5)(075.8)
ББК 26.11я73
Ш18

Рекомендовано ученым советом
географического факультета
23 сентября 2010 г., протокол № 1

Р е ц е н з е н т ы :

доцент кафедры физической географии БГПУ им. М. Танка
кандидат сельскохозяйственных наук *А. А. Лепешев*;
директор РУП «Космоаэрогеология»
кандидат биологических наук *А. Р. Понтус*

Шалькевич, Ф. Е.

Ш18 Методы дистанционных исследований : лаб. практикум
для студентов геогр. фак. / Ф. Е. Шалькевич, А. А. Топаз. –
Минск : БГУ, 2012. – 63 с.
ISBN 978-985-518-624-4.

Изложены теоретические основы дешифрирования материалов аэрокосмических съемок, методические указания и варианты заданий для выполнения лабораторных работ по курсу «Методы дистанционных исследований».

Предназначено для студентов географического факультета БГУ.

УДК 528.8(076.5)(075.8)
ББК 26.11я73

ISBN 978-985-518-624-4

© Шалькевич Ф. Е.,
Топаз А. А., 2012
© БГУ, 2012

ПРЕДИСЛОВИЕ

В настоящее время при составлении различных тематических карт широко используются данные дистанционного зондирования Земли. Аэрокосмические снимки дают не только информацию для уточнения картографического изображения, но и новые представления об объектах и явлениях, позволяя совершенствовать классификации и легенды.

Возможности получения нужной и качественной информации аэрокосмических снимков в существенной степени зависят от используемых материалов. Поэтому каждый географ должен уметь ориентироваться в разнообразии современных видов аэрокосмических съемок, подбирать снимки в зависимости от решаемых задач и иметь навыки работы с ними.

Лабораторный практикум позволяет углубить, расширить и закрепить теоретические знания студентов по наиболее важным разделам курса «Методы дистанционных исследований», выработать навыки самостоятельной работы с материалами аэрокосмических съемок. Основная его цель – научить студентов логически обоснованно и географически правильно «читать» аэрокосмические снимки, анализировать их содержание, уметь обращаться с приборами и инструментами.

В предлагаемом лабораторном практикуме «Методы дистанционных исследований» рассмотрены теоретические основы дешифрования аэрокосмических снимков, охарактеризованы изобразительные, информаци-

онные, геометрические и стереоскопические свойства снимков, описаны технология и методы дешифрирования материалов многозональной съемки, а также основные направления использования аэрокосмической информации в географических исследованиях. Каждая лабораторная работа состоит из кратко изложенных теоретических сведений и соответствующих заданий.

Практикум составлен в соответствии с учебной программой курса «Методы дистанционных исследований» и предназначен для студентов географического факультета БГУ.

Лабораторная работа 1

ДЕШИФРИРОВАНИЕ ТОПОГРАФИЧЕСКИХ И СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Под дешифрированием аэрокосмических снимков следует понимать получение информации об объектах местности и явлениях географической среды по их фотографическому изображению, основанное на знаниях закономерностей фотографического воспроизведения их оптических и геометрических свойств, а также на знаниях закономерных взаимосвязей пространственного размещения объектов.

Термин «дешифрирование» имеет русское происхождение. В зарубежной литературе применяется термин «интерпретация», что означает толкование, хотя он употребляется как синоним «дешифрирования».

Морфографическое дешифрирование – это получение необходимой информации об объектах при визуальном рассматривании аэрофотоснимков или при использовании увеличительных и стереоскопических приборов (лупы, стереоскопы).

Морфометрическое дешифрирование основано на получении количественных характеристик изучаемых объектов с помощью стереоизмерительных приборов. Основой для морфометрического анализа могут служить: формы контуров и их изрезанность, размеры и соотношение размеров отдельных элементов структуры, их площади и соотношение их между собой, определение формы контуров, протяженности и изрезанности границ, изучение ориентирования и встречаемости контуров. Для определения превышений между точками измеряются разности продольных параллаксов данных точек.

Инструментальное дешифрирование заключается в фотометрическом изучении аэронегативов или позитивов, т. е. необходимые сведения об объектах и их свойствах получают при изучении оптических плотностей аэрофотоизображения с использованием денситометров и микрофотометров. Например, изучение изменения плотности изображения в зависимости от содержания в почве влаги или органического вещества.

Автоматизированное дешифрирование основано на использовании для обработки аэрокосмического изображения современных компьютерных технологий.

ДЕШИФРОВОЧНЫЕ ПРИЗНАКИ

Каждому объекту, будь это природное образование или результат хозяйственной деятельности человека, присущ ряд характеристик, по которым объекты распознаются на аэрокосмических снимках. Такие характеристики принято называть *дешифровочными признаками*. Все дешифровочные признаки подразделяются на две основные группы – прямые и косвенные.

Прямые дешифровочные признаки

Свойства и характеристики объектов, непосредственно изображаемые на снимке, называются *прямыми дешифровочными признаками*. Эти признаки воспринимаются дешифровщиком визуально или с помощью технических средств и дают наиболее точный, лишенный неопределенности результат при дешифрировании. В зависимости от свойств объектов прямые признаки дешифрирования можно разделить:

- на геометрические (форма, размер, тень);
- яркостные (уровень яркости, цвет, фототон);
- структурные (рисунок, структура, текстура).

Геометрические признаки дешифрирования

Форма – наиболее надежный прямой признак при визуальном дешифрировании, так как позволяет получить основную часть информации об объекте. Объекты антропогенного происхождения имеют определенную, геометрически правильную форму. Для их характеристики различают прямоугольную, линейную и округ-

лую форму. *Прямоугольная* форма присуща строениям, массивам распаханых земель, торфоразработкам, вырубкам леса, другим объектам, имеющим прямолинейные границы. По *линейной* (вытянутой) форме на аэрофотоснимках без труда можно выделить дорожную и мелиоративную сеть, линии электропередач, трубопроводы. Поля, орошаемые циркулярными поливными системами, имеют *округлую* или *овальную* форму.

Природным объектам свойственна неправильная, часто сложная, криволинейная форма. Так, по форме на снимке хорошо дешифрируется гидрографическая и овражная сеть, границы полей и лесных массивов. Форма как дешифровочный признак широко используется при распознавании видового состава лесной и кустарниковой растительности. Кроме того, при стереоскопическом наблюдении пары перекрывающихся снимков воспринимается объемная форма, которая значительно облегчает дешифрирование рельефа местности.

Форма объекта на аэрофотоснимке зависит от масштаба изображения. С уменьшением масштаба снимков она упрощается за счет исчезновения деталей объектов.

Размеры объектов как в плане, так и по высоте позволяют распознавать и отличать друг от друга объекты, имеющие одинаковую форму. Используя размер в качестве прямого признака дешифрирования, на снимках различают поля зерновых и кормовых севооборотов, спелый лес и лесную поросль, здания различного функционального назначения и т. д. При изучении почв наибольшие размеры почвенных контуров характерны для зональных почвенных типов, тогда как меньший размер контура указывает на почвенные разновидности.

При дешифрировании мелкомасштабных снимков могут возникнуть трудности с распознаванием структурных объектов из-за сложности, а иногда и невозможности разделения их на элементы. Поэтому, дешифрируя объекты по размеру, целесообразно использовать крупномасштабные снимки, так как от масштаба снимка зависит величина минимального объекта или контура, изображаемого на снимке.

В процессе дешифрирования оценка размеров обычно проводится путем визуального сравнения размера объекта на снимке с размером известного объекта.

Тень является дешифровочным признаком, позволяющим определить пространственную форму объекта. На фотографических и сканерных снимках различают собственную и падающую тени. *Собственная тень* дает представление об объектах, имеющих объемную форму. Объектам природного происхождения соответствует плавная, размытая граница тени, типичная, например, для крон деревьев. Резкая граница тени характерна для зданий, столбов, пунктов триангуляции и т. д.

Падающая тень, отбрасываемая объектом на земную поверхность, расположенную со стороны, противоположной солнцу, отражает силуэт объекта и позволяет оценить его высоту. При дешифрировании высоких объектов, имеющих малые размеры на снимке (например, фабричные трубы, столбы и т. д.), падающая тень является одним из существенных признаков дешифрирования.

В качестве прямого признака дешифрирования падающая тень широко используется при изучении рельефа местности. Различное по тональности изображение освещенных и теневых склонов дает выпуклое, наглядное изображение его форм (рис. 1). По выраженности границы тени можно определить профили водораздельных поверхностей, гребней форм эолового рельефа и т. д. Важную роль играет падающая тень при дешифрировании растительности, так как для каждой породы свойственна своя специфическая форма кроны, что находит отражение в ее тени и позволяет определить ее видовой состав.

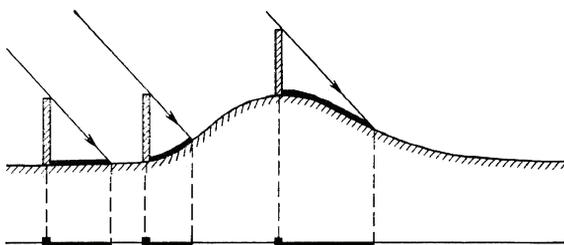


Рис. 1. Изображение на аэрофотоснимке тени, падающей на склоны различной крутизны

Однако иногда тень мешает процессу дешифрирования. Например, на теневой стороне горы трудно дешифрировать почвы, растительность. Кроме того, следует помнить, что форма падающей тени зависит от расположения объекта относительно Солнца и его высоты над горизонтом. При высоком положении Солнца изображения теней укорочены, при низком – вытянуты, т. е. форма объектов, отбрасывающих тень, будет иметь определенные искажения.

Яркостные признаки дешифрирования

Тон. Зрительное восприятие окружающих нас объектов осуществляется благодаря яркостным и цветовым контрастам. На черно-белом аэрофотоснимке изображение объектов передается через сочетание различных тонов, которое может изменяться в значительных пределах. Непостоянство данного признака определяется следующими факторами: освещенностью, цветом и структурой поверхности, физическим состоянием объекта, типом фотографического материала и условиями его обработки, зоной электромагнитного спектра, в котором проводилась съемка, и рядом других причин. Однако при одинаковых условиях фотографирования земной поверхности (в пределах одного залета) основное влияние на тон изображения оказывает яркость поверхности и ее отражательная способность.

Спектральная яркость объектов в большей мере зависит от их свойств. Все объекты местности отражают различное количество солнечных лучей (имеют неодинаковую яркость). Это приводит к большой дифференциации тонов изображения на снимке.

Отражательная способность земной поверхности зависит от ее структуры и влажности. По *структуре* объекты бывают:

- зеркальные или гладкие – вода, чистый лед, сухие каменистые поверхности. Их отличительной чертой является отражение света преимущественно в одном направлении;
- матовые – дороги, пашни без растительности. Эти поверхности отражают падающий на них свет равномерно во всех направлениях;
- шероховатые – примером является растительный покров. Здесь поверхность максимально отражает лучи к источнику света.

На тон изображения объектов на снимке влияет такой фактор (признак), как *влажность*. Тон изображения влажных объектов в два-три раза темнее тона изображения сухих объектов. Большое значение имеет влажность при изучении почвенного покрова. Влажная почва отличается высокой способностью поглощать свет и, следовательно, изображается темным тоном. По мере подсыхания она переходит в серые и даже белые тона. В отдельных случаях это помогает определять типы почв.

При визуальном дешифрировании аэрокосмических снимков используется шкала тонов (табл. 1), которая имеет от 7 до 10 градаций серого тона, тогда как человеческий глаз может различить до 25 ступеней серых тонов.

Таблица 1

Серая шкала тонов для визуального дешифрирования аэрофотоснимков

Фототон	Принцип выделения	Значение оптической плотности
Белый	Крайний визуально различимый	0,1 и менее
Почти белый	Плотность вуали	0,2–0,3
Светло-серый	Минимальная плотность большинства фотоизображений	0,4–0,6
Серый	Средняя плотность большинства фотоизображений	0,7–1,1
Темно-серый	Максимальная плотность большинства фотоизображений	1,2–1,6
Почти черный	Тон, превышающий максимальную плотность большинства фотоизображений	1,7–2,1
Черный	Крайний визуально различимый тон шкалы	2,2 и более

Цвет. Цветные снимки более информативны, чем черно-белые, так как обладают значительно большим количеством оттенков. Изучение цветных снимков удобнее для дешифровщика, по-

сколькo глаз легче воспринимает цветовые различия, чем оттенки серого.

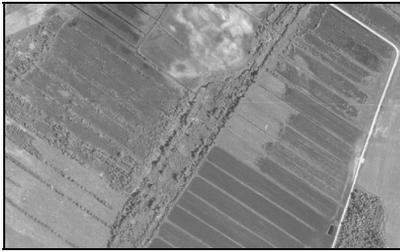
Распознавание объектов местности при помощи цвета происходит двумя способами. Первый способ заключается в изучении снимков с естественной цветопередачей, где классификация объектов местности не вызывает особых затруднений. Второй способ позволяет изучать снимки в произвольных цветах (псевдоцветах), где сознательное искажение цветовой гаммы объектов местности помогает легче воспринимать цветовые контрасты деталей изображения. Такой прием искажения цвета применяется при дешифрировании спектрoзональных и синтезированных снимков и позволяет выделять различные типы ландшафтов, растительности, горных пород и т. д.

Цвет на фотографических снимках можно использовать и при кодировании деталей изображения, имеющих одинаковую плотность. Этот метод эффективен при проведении ландшафтного дешифрирования, когда участки с различной оптической плотностью окрашиваются в заранее назначенные цвета. В результате таксоны, обозначенные цветом разной насыщенности и разных оттенков, образуют на изображении более крупную таксономическую единицу.

Структурные признаки дешифрирования

Рисунок. Сочетание и закономерное повторение контуров разных размеров и формы образует *рисунок фотоизображения*, который в свою очередь характеризуется определенной структурой и текстурой. *Структура* – это набор форм, размеров, тонов или цветов разных оттенков, формирующий изображение на снимке. Она может быть тоновой (цветовой) или контурной (геометрической). *Текстура* характеризует пространственное расположение элементов структуры и их взаимное сочетание.

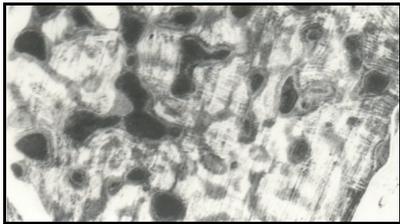
В рисунке изображения объектов на снимке находят отражение как природные особенности территории (структура почвенного и растительного покрова, распространение и распределение геоморфологических элементов, тектонические условия), так и пространственные взаимоотношения объектов антропогенного происхождения.



а



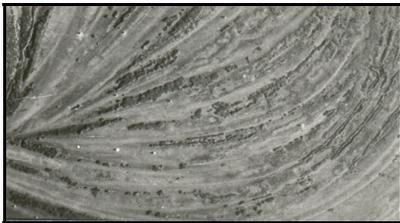
б



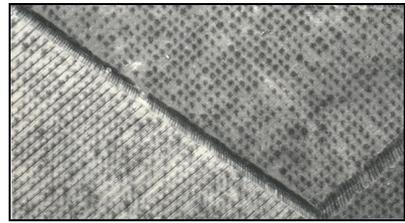
в



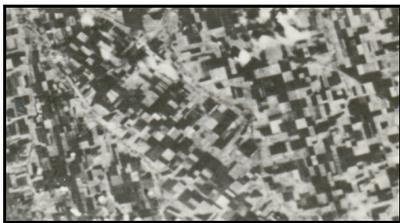
г



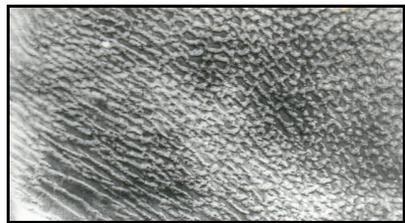
д



е



ж



з

Рис. 2. Образцы рисунков аэрокосмического фотоизображения:
а – прямолинейный; *б* – древовидный; *в* – пятнистый;
г – зернистый; *д* – дугообразный; *е* – регулярный;
ж – прямоугольный; *з* – полосчатый

В зависимости от целей дешифрирования рисунок фотоизображения бывает однородным и структурным. *Однородный рисунок* характерен для изображения водной поверхности, травянистой луговой и культурной растительности, а также некоторых почв, например торфяно-болотных. *Структурный рисунок* фотоизображения типичен для ландшафтов и бывает прямолинейным, древовидным, пятнистым, зернистым и дугообразным (рис. 2).

Прямолинейный рисунок на снимках имеет дорожная и мелиоративная сеть (рис. 2, а).

Древовидный рисунок свойствен для территории с развитой овражно-балочной сетью и дает представление о характере расчлененности территории (рис. 2, б).

Пятнистый рисунок зависит от ландшафта, который он отражает, и в основном состоит из пятен различного тона и формы, размер которых зависит от масштаба съемки (рис. 2, в).

Зернистый рисунок образуется при изображении отдельно стоящих деревьев, стогов и т. д. (рис. 2, г).

Дугообразный рисунок характерен для пойменных ландшафтов и формируется в результате чередования дугообразных различной ширины темных и светлых полос (рис. 2, д).

Рисунок принято считать надежным дешифровочным признаком, так как он мало зависит от условий освещения, сезона и технических параметров съемки, несмотря на изменчивость его отдельных составляющих.

Косвенные дешифровочные признаки

Косвенное дешифрирование является основным методом обнаружения и классификации объектов, которые не находят своего непосредственного отображения на снимках или недостаточно достоверно дешифрируются по своим прямым признакам. Технологические приемы косвенного дешифрирования заключаются в том, что сначала по прямым признакам дешифрируются объекты, хорошо различимые на снимках. Эти отдешифрированные объекты приобретают значение *индикаторов*, с помощью которых обнаруживают, локализуют и классифицируют то, что представляет интерес для исследователя.

Поэтому *косвенными* называются признаки, которые указывают через одни объекты и их свойства на наличие других объектов, явлений и их особенностей, не получивших изображения на снимках.

Все косвенные признаки подразделяются на две группы. К первой группе относятся природные взаимосвязи между компонентами ландшафтов, например связь растительности с рельефом, рельефа с гидрографией, почв и грунтов с растительностью и т. д. Следовательно, в зависимости от того, какой признак лежит в основе дешифрирования, косвенные признаки первой группы делятся на геоморфологические, геоботанические, гидрологические и др. В целом эти признаки принято называть *комплексными ландшафтными признаками дешифрирования*.

Роль косвенных признаков второй группы могут играть антропогенные объекты, а также их взаимосвязи с природными объектами и явлениями. Например, с характером грунтов хорошо связана конфигурация грунтовых дорог; от увлажненности грунтов и характера рельефа зависит распределение пахотных земель и направление пахоты и т. д. Такие косвенные признаки дешифрирования называются *социально-географическими*.

Косвенное дешифрирование с использованием индикаторов называют индикационным дешифрированием. Особенно большую роль индикационное дешифрирование играет при работе с космическими снимками, когда прямые признаки теряют свое значение из-за сильной генерализованности изображения. Основными индикаторами при косвенном дешифрировании снимков являются рельеф, растительность и гидрография.

При дешифрировании самых разнообразных элементов ландшафтов важнейшим индикатором служит *растительность*, которая тесно связана с почвами и грунтами, рельефом, водами и климатом.

Растительность может быть использована как индикационный признак благодаря хорошей изученности связей между почвами и распространением определенных типов и видов растений. По сочетанию различных типов растительности можно выделять не только генетические типы почв, но и отдельные их свойства: плодородие, засоление, механический состав. Использование растительности в качестве индикатора возможно и при геологиче-

ском и гидрологическом дешифрировании, когда по растительности удается определять глубину залегания и минерализацию грунтовых вод.

При косвенном дешифрировании применяются следующие индикационные признаки растительности.

Морфологические признаки позволяют различать на аэрокосмических снимках древесную, кустарниковую и луговую растительность.

Флористические (видовые) признаки дают возможность дешифрировать видовой состав. Например, сосновые насаждения приурочены к песчаным автоморфным почвам, черноольховые – к дерново-глеевым почвам.

Физиологические признаки основаны на связи гидрогеологических и геохимических условий места произрастания с химическими свойствами пород. Например, на известняках лишайники имеют оранжевый цвет, а на гранитах – желтый.

Фенологические признаки базируются на различиях в ритмах развития растительности. Особенно это хорошо проявляется осенью у лиственных пород растительности в изменении окраски листьев. На цветных аэрокосмических снимках хорошо различается видовой состав растительности, который подчеркивает условия произрастания.

Фитоценотические признаки служат для дешифрирования типов лесной растительности и ассоциации луговой растительности, которые приурочены к определенным условиям произрастания. Например, сосняки-лишайники произрастают на повышенных элементах рельефа с автоморфными рыхло-песчаными почвами, сосняки-долгомошники приурочены к пониженным элементам рельефа и дерново-подзолисто-заболоченным почвам.

Этот признак характеризуется встречаемостью, проективным покрытием, а также структурой, внешне выражаемой рисунком фотоизображения.

Рельеф – индикатор самых разнообразных процессов и явлений, играет большую роль в формировании внешнего облика территории. Значение рельефа проявляется в первую очередь в перераспределении солнечной энергии и атмосферных осадков на земной поверхности. Поэтому любое изменение рельефа влечет за со-

бой изменение других компонентов ландшафта (растительного покрова, почв, водного режима). Индикаторами природных объектов и их свойств могут выступать морфологические и морфометрические особенности рельефа: абсолютная высота и амплитуда колебаний высот, его возраст и современная динамика, общая расчлененность, крутизна и экспозиция склонов, ориентировка и группировка отдельных форм. Достаточно полное отображение находит рельеф на материалах аэрофотосъемки при стереоскопическом наблюдении снимков.

Наряду с растительностью и рельефом важным индикатором являются элементы *гидрографии*: реки, озера, водохранилища, болота. Взаимосвязь структуры и густоты гидрографической сети с геологией и рельефом позволяет использовать, например, рисунок речной сети как косвенный ландшафтный признак при геоморфологическом и геологическом изучении территории. При общем физико-географическом анализе местности значение индикаторов приобретают сведения о внутригодовом ходе водности рек и озер, увлажненности территории, ледовом режиме, химизме вод, почв и грунтов.

При косвенном дешифрировании индикаторы и дешифрируемые объекты в зависимости от того, что именно представляет объект исследования, могут меняться местами. Например, отдешифрированные формы рельефа, крутизна и экспозиция склонов могут быть индикаторами при дешифрировании растительности, и наоборот, растительный покров может быть индикатором для рельефа. В то же время в качестве косвенных признаков дешифрирования могут выступать объекты, связи которых с исследуемым явлением, на первый взгляд, не прослеживаются. Например, над крупными тектоническими разломами неоднократно наблюдалось образование линейных гряд кучевых облаков. Полевые геофизические исследования показали, что по таким разломам поднимаются дополнительные потоки тепла, что и объясняет образование облачности. Поэтому использование косвенных признаков требует комплексного, всестороннего анализа изображения и дешифрируемой территории, а дешифрирование предпочтительно проводить по накладным монтажам и фотосхемам, на которых сразу можно обозреть значительный участок местности.

Дешифрирование дорожной сети

Дорожная сеть представляет собой сочетание различных типов дорог: железных, шоссейных, проселочных, полевых и др. Основные дешифровочные признаки дорожной сети – линейная форма, а также тон ее изображения. На летних аэроснимках дороги изображаются в виде светлых, на зимних – в виде серых линий. В зависимости от типа дороги эти линии различаются своей шириной и формой начертания.

Железные дороги на аэрофотоснимках изображаются ровными однотонными линиями темно-серого цвета. Отличительными чертами являются прямолинейность отрезков пути, плавные повороты большого радиуса, снегозащитные полосы вдоль полотна дороги, наличие насыпей и выемок, станций и разъездов, придорожных лесонасаждений (рис. 3, а). Пути к переездам через железные дороги подходят, как правило, под прямым углом.

На крупномасштабных аэрофотоснимках можно различить две параллельные очень тонкие линии – рельсы, что служит надежным косвенным дешифровочным признаком железной дороги. Рельсовые пути и линии придорожных канав, местами защищенные лесонасаждениями, создают на аэрофотоснимках характерный продольно-полосчатый рисунок железной дороги при общем темно-сером или сером тоне ее изображения.

Шоссейные дороги изображаются ровными линиями светлого тона и пересекаются с другими дорогами в большинстве случаев под прямым углом (рис. 3, б, в). Повороты шоссейных дорог значительно круче, чем у железных. Автострады от других шоссейных дорог отличаются большей шириной полотна, наличием разделительной полосы, отсутствием пересечений с другими дорогами, наличием дорог-съездов, специальных развязок, трасса проходит минуя населенные пункты.

Тон фотоизображения шоссейных дорог изменяется в зависимости от материала покрытия: асфальт изображается темно-серым тоном, бетон – светло-серым, дороги с гравийным и щебеночным покрытием – светлым, близким к белому фототону.

Проселочные дороги имеют вид более узких, чем шоссе, извилистых линий. В отличие от дорог высшего класса они более извилисты, имеют крутые повороты, объезды и раздвоения (рис. 3, в, д). Тон аэрофотоизображения проселочных дорог зависит от степени их разъезженности: чем сильнее наезжена дорога, тем светлее линия дороги на снимке.



a



б



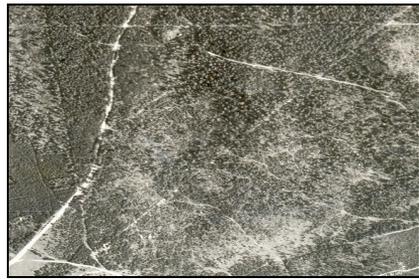
в



г



д



е

Рис. 3. Изображение на аэроснимках различных типов дорог:
a – железная; *б* – шоссе; *в* – проселочные и полевые;
г – шоссе; *д* – проселочные; *е* – лесные

Полевые дороги отходят от населенного пункта, шоссе, проселочных дорог и изображаются на снимках в виде узких светлых линий (рис. 3, *в, г*). Данный вид дорог прокладывается по основным видам сельскохозяйственных угодий, соединяя дороги более высокого ранга (например, проселочные). Они могут проклады-

ваться также в лесу, но, как правило, обрываются (рис. 3, е). На зимних аэроснимках полевые дороги опознать очень трудно, а иногда и невозможно.

Тропы изображаются очень тонкими белыми или серыми линиями. При их дешифрировании следует учитывать, что они обычно соединяют населенные пункты по кратчайшему пути или спрямляют большие извилины других дорог. Часто тропы прокладываются также для выхода напрямик из населенного пункта на другие дороги, к железнодорожным станциям и платформам и т. п.

По изображению на аэроснимках можно определить не только тип дороги, но и наличие на ней мостов, а также получить некоторые данные о состоянии дорог: местные повреждения, наличие объездов и т. п.

Дешифрирование гидрографической сети

Элементы гидрографии (реки, озера, водохранилища) дешифрируются по аэроснимкам любых масштабов с большой полнотой и точностью, так как имеют специфическую линейную или площадную конструкцию и отличаются темным тоном изображения.

Изменение тона фотоизображения гидрографической сети происходит под влиянием таких факторов, как глубина и цвет дна водоемов, чистота и прозрачность воды, волнение и наличие водной растительности, а также напрямую зависит от оптических условий аэрофотосъемки.

Реки на аэрофотоснимках распознаются по неправильной, криволинейной форме, древовидному рисунку и темному, почти черному тону фотоизображения (рис. 4, а). По изменению (почернению) фототона достоверно дешифрируются границы и площади разливов, последовательность затопления поймы, характер происходящих в ней эрозионно-аккумулятивных процессов и ряд других гидрологических явлений.

Изображение малых рек отличается большей извилистостью, для них также характерен темный тон фотоизображения (рис. 4, б). Однако мелкие реки и озера с песчаным или каменистым дном изображаются преимущественно светлым тоном на аэрокосмических снимках. Иногда линии подобных рек закрываются изображением растительности на их берегах, поэтому их распознавание происходит при тщательном стереоскопическом просмотре аэроснимков.



а



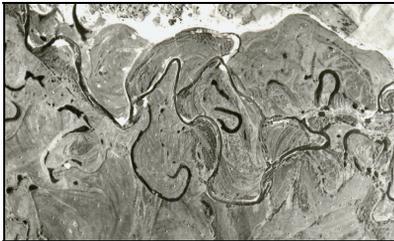
б



в



г



д



е



ж



з

Рис. 4. Изображение на аэроснимках некоторых элементов гидрографии:
а – река и ее долина; *б* – ручей; *в* – озеро; *г* – водохранилище;
д – староречище; *е* – пойменное озеро (старица);
ж – центральный мелиоративный канал; *з* – мелиоративная сеть

Мутная или вспененная вода также придает более светлый тон изображению. В результате неглубокие и бурные реки, текущие по каменистым ломам, на аэрофотоснимке почти неотличимы от окружающих их берегов, покрытых галечником.

Песчаные отмели по берегам рек и озер изображаются в виде ярко-белого окаймления вдоль береговой линии или закругленных выступов на поворотах реки. По изменению изображения отмелей на снимках можно следить за динамикой рельефа дна рек, процессами переформирования берегов.

Направление течения рек можно определить по следующим признакам:

- мелкие реки даже на небольшом расстоянии становятся заметно шире по направлению течения;
- острова своей заостренной частью направлены вниз по течению;
- устья притоков располагаются под тупым углом к реке вниз по ее течению, под острым – вверх по течению;
- ледорезы около мостов всегда ставятся со стороны верхнего течения реки.

Мосты на реках изображаются в виде перемычек в тех местах, где дорога пересекает реку. На крупномасштабных аэрофотоснимках можно узнать конструкцию моста по его тени.

Озера на снимках изображаются в виде темных, практически черных пятен неправильной формы и характеризуются однородным рисунком фотоизображения (рис. 4, в). Для пойменных старичных озер характерна серповидная форма (рис. 4, е), озера моренных ландшафтов опознаются по изрезанности береговой линии неправильной формы, часто вытянутой. Болотные озера имеют более округлую форму, иногда с растительностью около береговой линии.

Пруды по своим дешифровочным признакам близки к озерам, иногда они имеют прямоугольную форму и приурочены по своему расположению к населенным пунктам. Для водохранилищ характерна вытянутая форма контуров, а также наличие дамб и запруд (рис. 4, з).

Каналы на аэрофотоснимках имеют правильную, линейную форму, дешифрируются по одинаковой ширине и резко очерченным краям русла, наличие гидротехнических сооружений (рис. 4, ж, з). Оросительные каналы изображаются в виде темных, прямых, взаимно пересекающихся линий.

Прямые признаки дешифрирования гидрографической сети на разномасштабных снимках относительно стабильны. Косвенные признаки относятся к категории мобильных, так как варьируют в широких пределах при изменении масштаба съемки и в значительной степени зависят от природных условий.

Примером косвенных признаков дешифрирования, в качестве индикаторов рек могут выступать пруды и растительность. Так, благодаря контрастному фотоизображению водной поверхности и почвенно-растительного покрова, на снимках любого масштаба дешифрируются даже мельчайшие водотоки, что позволяет не только детально изучить строение речной сети, но и составить подробную гидрографическую карту.

Как известно, водные объекты характеризуются изменчивостью очертаний, вызываемой сезонными колебаниями уровня воды. Поэтому при обосновании сроков съемки для топографических целей необходимо учитывать соответствие фазы уровенного режима состояния вод, которое принято для картографирования.

Дешифрирование населенных пунктов

Аэрокосмические снимки высокого разрешения позволяют решать многие задачи изучения и картографирования населенных пунктов, которые легко распознаются среди других элементов местности по структуре фотоизображения и наличию большого числа геометрически правильных фигур.

Используя аэрокосмические снимки для изучения населенных пунктов, можно сравнительно легко определить их тип (город, населенный пункт сельского типа), а также внешнее очертание и внутреннюю планировку (расположение выдающихся зданий, наличие и расположение спортивных площадок, парков, садов, огородов и т. д.).

Населенные пункты городского типа. Города имеют компактную застройку, правильную планировку, многоэтажные здания и промышленные предприятия; характеризуются большим числом улиц и переулков, расположенных, как правило, под прямым углом друг к другу и образующих кварталы жилых домов (рис. 5, а).

Здания выделяются среди других объектов более или менее правильным расположением и своей характерной формой с резкими очертаниями. Среди жилых домов имеются отдельно стоящие строения своеобразной формы – школы, поликлиники и другие общественные здания. Крупные промышленные предприятия

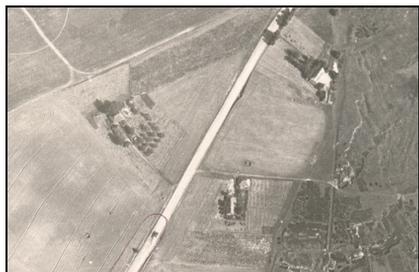
дешифрируются по значительным размерам занимаемой ими площади, наличию заводских труб, по форме основных сооружений и наличию хороших подъездных путей. В центральной части городов обычно выделяются площади.



а



б



в



г



д



е

Рис. 5. Изображение на аэроснимках населенных пунктов и построек: *а* – населенный пункт городского типа; *б* – населенный пункт сельского типа; *в* – хутора; *г* – садоводческое товарищество; *д* – огороды вблизи жилых построек; *е* – животноводческий комплекс

Хорошее отображение зеленых массивов и других рекреационных объектов города, густоты застройки, расположения промышленных зон позволяет использовать снимки для оценки условий жизни населения. Например, на снимках крупных городов часто хорошо видна малая озелененность районов современных новостроек, в то время как массивы застройки 70-х гг. XX в. хорошо озеленены.

Кроме того, интересную информацию о населенных пунктах городского типа дают космические снимки, полученные в ночное время. На них четко видны огни городов, причем поле яркости городских огней тесно коррелирует с распределением плотности населения.

Изображение на аэроснимках небольших городов дешифрируется по значительно меньшей, чем у крупных городов, занимаемой площади, сравнительно малым размерам построек, а также наличию участков с садами и огородами.

Населенные пункты сельского типа часто располагаются вблизи рек, озер и отличаются от пунктов городского типа меньшими размерами, небольшим количеством улиц (иногда наличием только одной улицы), от них расходятся грунтовые дороги.

Непосредственно к границам населенного пункта сельского типа примыкают сады, огороды и пахотные участки (рис. 5, б).

Жилые постройки в сельских населенных пунктах расположены, как правило, вдоль улиц или непосредственно у дорог. Недалеко от жилых домов располагаются хозяйственные постройки – прямоугольники различного размера. Каменные и кирпичные постройки, а также дома, крытые железом, шифером или черепицей, обладают большей контрастностью по сравнению с деревянными постройками.

В тыловой части построек (по направлению от улиц) преобладают участки более темного фототона – сады или огороды. *Огороды* изображаются параллельными полосами (прямоугольниками) различного размера, примыкающими непосредственно к жилым постройкам. Тон их фотоизображения может меняться от светлосерого до темного в зависимости от сезона съемки и произрастающих культур (рис. 5, д).

Новая усадебная застройка характеризуется четкостью линий улиц, регулярной системой кварталов, стандартными постройками, более симметричным расположением домов и меньшей озелененностью по сравнению с более ранними постройками.

По окраинам или вблизи населенных пунктов иногда расположены *животноводческие фермы*, которые изображаются на снимках удлиненными очень светлыми прямоугольниками (рис. 5, е). Помимо основных строений для скота дешифрируются отдельные элементы хозяйственной инфраструктуры, т. е. резервуары сточных вод, очистные сооружения, силосохранилища, навозохранилища.

Малоэтажная плотная застройка (1–3 этажа) в сельских районах характерна для центральных усадеб колхозов и совхозов. Фоторисунок данных построек представляет собой объекты в форме прямоугольников, реже квадратов светлого тона изображения, расположенных вдоль светлых полос улиц, позади домов расположены хозяйственные постройки (серой) прямоугольной вытянутой формы, более узкие по сравнению с жилыми постройками.

Хутора на аэроснимках распознаются по фотоизображению жилых и хозяйственных построек, чаще окруженных пахотными угодьями (рис. 5, в). Четко различаются на более однородном фоне участки под огородом и садом, примыкающие к постройкам.

Участки с постройками *садоводческих товариществ* отличаются от сельских населенных пунктов в первую очередь рисунком фотоизображения, обусловленным характером застройки (рис. 5, г). Светлые, часто квадратной формы, дома расположены друг против друга вдоль светлых полос (улиц), которые в свою очередь расположены параллельно между собой. Небольшие участки (огороды) более темного тона и постройки создают пестрый рисунок фотоизображения. Характерной чертой для садоводческих товариществ является их размещение вблизи железных дорог и автострад.

Дешифрирование земельных угодий

Земельные угодья достаточно четко отображаются на аэрофотоснимках, однако при их дешифрировании необходимо учитывать сезон съемки, масштаб снимка, некоторые особенности территории для более точного распознавания земель.

Пашня. При дешифрировании пахотных земель необходимо учитывать сроки проведения аэрофотосъемки. В ранневесенний период почвы находятся в распаханном состоянии, и их распо-

знание проводится по прямым признакам дешифрирования – тону, размеру, форме, рисунку фотоизображения (рис. 6, а). В это время пашня резко выделяется своими четко выраженными границами и имеет, как правило, светлый тон фотоизображения. Характерным дешифровочным признаком для пашни является наличие на снимках полосчатости, обусловленной посевами культурной растительности или распаханностью.

В летний период, в зависимости от характера посевов, тон пашни может изменяться от светло-серого до серого. В этом случае дешифрирование происходит по косвенным признакам – рельефу, растительности, гидрографии, а также социально-географическим признакам территории – полевым дорогам, лесным просекам, вырубкам и т. д. Осенью значительные территории пахотных земель (около 40 %) после уборки зерновых культур находятся под стерней, поэтому они изображаются на снимках светлыми однородными тонами (рис. 6, б).

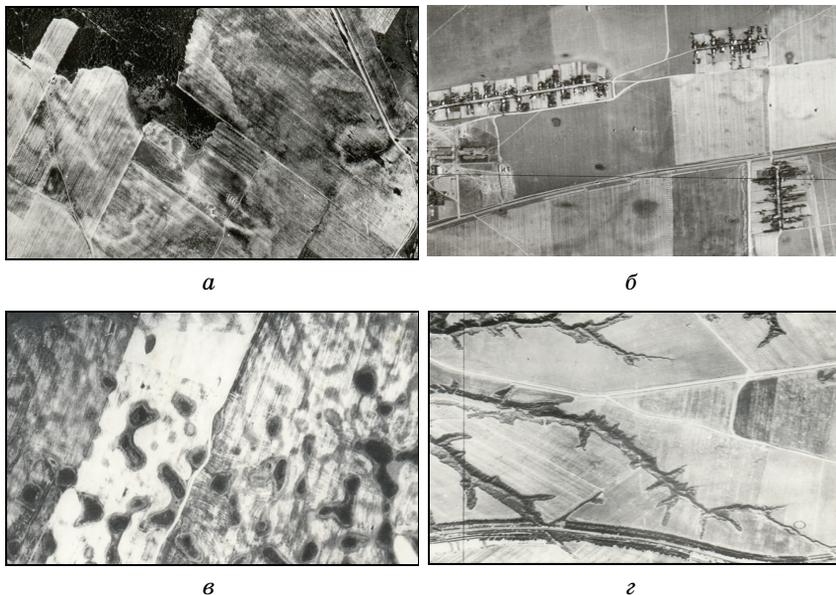


Рис. 6. Изображение на аэроснимках пахотных угодий:

а – пашня; б – пашня под стерней; в – пашня с суффозионными западинами;
г – пашня с овражно-балочной сетью

Форма и размер контуров, а также структура фотоизображения пашни тесно связаны с ландшафтными особенностями территорий. Например, для территории Витебской области с моренными отложениями характерна мелкоконтурность, форма контуров округлая, иногда вытянутая. Для центральной и южной части Республики Беларусь, наоборот, характерны контуры правильной геометрической формы и большие по размеру.

На достоверность выделения контуров пахотных земель влияет их соседство с другими видами угодий – очень контрастны границы пашни и леса, менее контрастны границы пашни и сенокосов.

Сады, занимающие небольшие площади и располагающиеся вблизи населенных пунктов, изображаются контурами правильной геометрической формы с регулярным зернистым рисунком изображения. Данный рисунок представлен зернами различной величины, равномерно расположенными друг от друга и образующими ряды (рис. 7, *з*). Тон зерен (деревьев) – серый, падающая тень – темно-серого цвета.

Леса и кустарники. Территории, занятые лесной растительностью, изображаются на снимках темно-серым, почти черным тоном и имеют зернистый рисунок фотоизображения. Если на снимках изображены отдельные участки леса, то они имеют вид более или менее резко очерченных темных фигур (рис. 7, *а*).

Для распознавания видового состава растительности важным дешифровочным признаком является тон фотоизображения, а также форма крон деревьев. Лиственные леса распознаются по их более светлому тону фотоизображения по сравнению с темным тоном хвойных лесов. По видовому составу лиственные породы дешифрируются в зависимости от сомкнутости, строения полога древостоя, что в совокупности формирует определенный рисунок изображения.

Дополнительным дешифровочным признаком леса является квартальная сеть. Квартальные просеки изображаются на снимках в виде узких прямых светлых полосок, заканчивающихся у опушки леса. При большом числе просек они похожи на сетку квадратов.

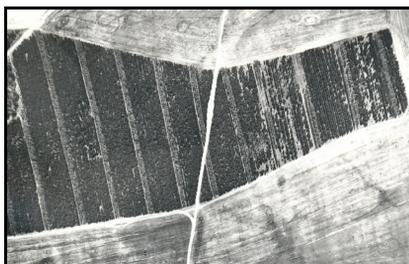
Дешифрирование по снимкам *кустарников* и *редкоколесья* отличается тем, что их изображение имеет более мелкую зернистость, чем изображение леса (рис. 7, *д*). Молодые посадки на аэрофотоснимках различаются по высоте насаждений и прямолинейности границ. В насаждениях до 5 лет заметны посадочные ряды (рис. 7, *в*).



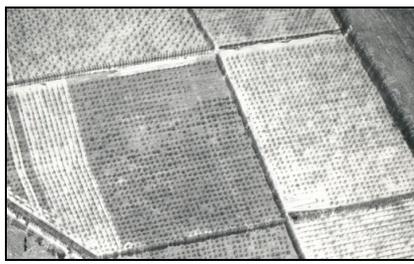
a



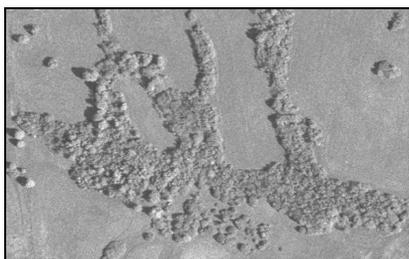
б



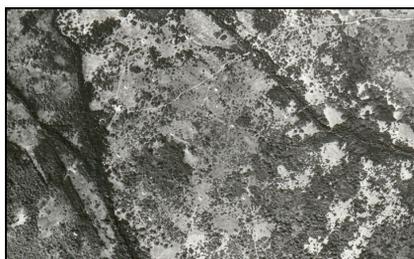
в



г



д



е

*Рис. 7. Изображение на аэроснимках
древесной и кустарниковой растительности:
а – смешанный лес; б – вырубка; в – лесопосадки; г – сады;
д – кустарник (ива); е – закустаренный луг*

Гари дешифрируются по светло-серому тону с границами неправильной формы. Сухостой различается по светлому тону крон с неясно очерченными серыми тенями. *Вырубки* среди покрытой лесом площади легко распознаются благодаря геометрической правильности очертаний и более светлому тону изображения (рис. 7, б).

Луговые угодья имеют, как правило, неправильную форму контуров. Тон изображения сенокосов зависит от положения в

рельефе, степени увлажнения почв, состава, продуктивности и фенологического состояния растительности. Он может изменяться от серых до темно-серых тонов. Незакустаренные участки отличаются ровным однородным, реже пятнистым, рисунком изображения (рис. 8, *а, б*). Для закустаренных участков характерен зернистый рисунок изображений (рис. 7, *е*). Скошенные луга изображаются в светлых тонах, а стога сена на них – в виде светлых точек различной величины округлой куполовидной формы.

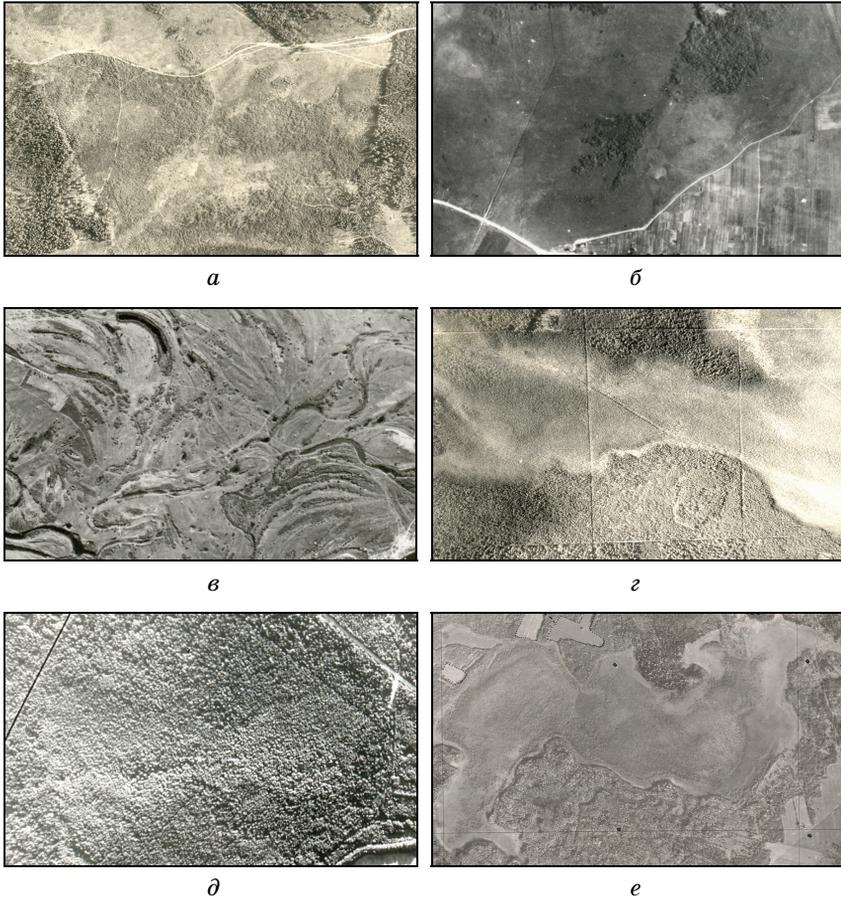


Рис. 8. Изображение на аэроснимках луговых угодий и болот:
а – луг суходольный; *б* – луг заболоченный; *в* – луг пойменный;
г – верховое болото (с квартальной сетью); *д* – переходное болото; *е* – низинное болото

Пойменные луга легко различаются на аэроснимке по наличию реки, а также по рисунку фотоизображения прирусловой и гривистой частей поймы, которые изобилуют множеством различных по размеру и форме (чаще в виде сегментов) грив и межгривных понижений (рис. 8, в).

Если дешифрирование снимков проводится для изучения почвенного покрова, то оптимальными сроками аэрокосмической съемки для почв, занятых луговой растительностью, являются вторая и третья декады июня, так как в осенний период многие виды луговых растений теряют свою специфическую окраску и на снимках различные растительные группировки имеют однородный рисунок фотоизображения.

Болота изображаются участками серого тона. Форма их может быть различной, однако чаще всего болота имеют лентообразную или овальную форму. Участки очень темного тона свидетельствуют о наличии воды на поверхности, что позволяет сделать предварительный вывод о проходимости болот.

Верховые болота на аэрофотоснимках читаются по общему светло-серому тону, при этом места, занятые водой, имеют темный тон (рис. 8, г). Низкорослая сосна изображается серым тоном, ее изреженность придает изображению зернистый рисунок. Напочвенный покров из сфагновых мхов, пушицы и кустарничков (багульника, подбела, клюквы) изображается светло-серым тоном.

Переходные болота. Для данного типа болот характерна древесная растительность из сосны, березы с покровом из болотных кустарничков и сфагновых мхов. Переходные болота приурочены к пониженным элементам рельефа или окраинам верховых болот. Контурные переходных болот, которые расположены среди леса, хорошо распознаются на аэроснимках в виде западин различной формы. Высота древостоя переходных болот по отношению к древостою на минеральных почвах значительно падает, однако увеличивается проективное покрытие. Общий тон фотоизображения немного светлее, чем древостоя на минеральных почвах, а полот более сомкнутый (рис. 8, д).

Низинные болота. На низинных болотах из древесной растительности произрастают ель, береза, черная ольха. Они приурочены к пониженным элементам рельефа. Из кустарничков произрастает ива, заросли ее изображаются мелкозернистым рисунком

серого тона. Травяные болота (тростниковые и осоковые), как правило, имеют ровный темно-серый тон (рис. 8, е).

Пойменные болота. Эти болота хорошо различаются под стереоскопом по приуроченности к поймам рек и ручьев. Общий тон изображения темно-серый.

Благодаря выразительному отображению неблагоприятных вариаций почв аэрокосмические снимки представляют хороший материал для сельскохозяйственной оценки земель, а также для выявления территорий, нуждающихся в почвенной мелиорации, противоэрозионных мероприятиях и других мерах по предупреждению развития неблагоприятных процессов и борьбы с ними. Работа со снимками дает возможность быстрого, оперативного составления карт земельных угодий, по качеству превосходящих аналогичные карты, составленные в результате многолетнего кропотливого труда по крупномасштабным планам землепользования.

ЗАДАНИЕ

Цель – изучить дешифровочные признаки топографических и социально-географических объектов и выполнить их дешифрирование по аэрофотоснимкам.

Материалы – аэрофотоснимки, «Условные знаки для топографических карт масштаба 1 : 10 000», линейка, цветные карандаши, скрепки, лавсановая пленка или калька.

Порядок выполнения работы:

1. Провести ориентирование аэроснимков в направлении север – юг.
2. Закрепить с помощью скрепок лавсановую пленку на аэроснимке.
3. Провести дешифрирование аэрофотоснимка в следующей последовательности:
 - дорожная сеть (железные, шоссейные, полевые и лесные, проселочные дороги);
 - гидрографическая и мелиоративная сеть;
 - населенные пункты;
 - земельные угодья.
4. Оформить результаты дешифрирования в соответствии с «Условными знаками для топографических карт масштаба 1 : 10 000».

Лабораторная работа 2

ИЗУЧЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СНИМКОВ

Аэрофотоснимок представляет собой фотографически зафиксированное изображение земной поверхности, полученное с самолета. Аэрофотоснимок, в отличие от карты, получается в центральной проекции. *Центральной* называется проекция, которая строится при помощи лучей, выходящих из одной точки или пересекающихся в одной точке. Центральная проекция называется еще перспективным изображением или перспективой предмета. Плоскость, на которую строится перспектива, называется картинной плоскостью. На фотопленке при фотографировании получается обратная перспектива – негатив, а отпечаток на фотобумаге – это прямая перспектива – позитив.

Для центральной проекции, а это значит и для аэрофотоснимка, характерен ряд линий и точек (рис. 9).

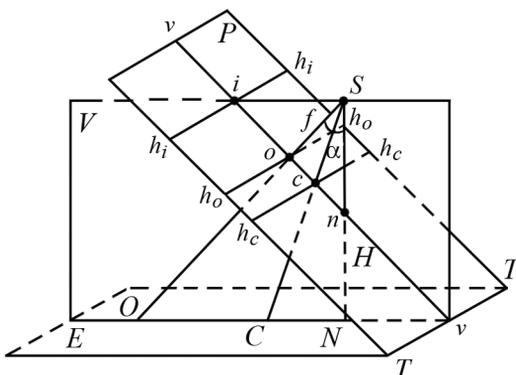


Рис. 9. Построение изображения в центральной проекции

Центром проекции является центр объектива S , а плоскость P – картинной плоскостью, которой принадлежит плоскость снимка. Главный луч, или оптическая ось, объектива SO , под которым следует понимать прямую, соединяющую центры сферических поверхностей линз объектива аэрофотоаппарата, располагается перпендикулярно плоскости снимка, а $So = f$, т. е. главному расстоянию камеры, или фокусному расстоянию объектива аэрофотоаппарата (расстояние от задней узловой точки объектива до аэрофотопленки). Точка o – *главная точка снимка*, его геометрический центр. Местоположение главной точки на аэроснимке (начало координат) определяется точкой пересечения прямых линий (оси абсцисс и ординат), проведенных между координатными метками, находящимися на краях снимка. Плоскость E есть некоторая уровневая поверхность Земли, или предметная плоскость. Предметная и картинная плоскости пересекаются по линии TT , которая называется осью перспективы. Перпендикуляр SN , проведенный из точки S к плоскости E , – это расстояние, которое называется *высотой съёмки* и обозначается буквой H . Плоскость V проходит через главный луч SO и называется *плоскостью главного вертикала*. Линия пересечения плоскости V с плоскостью снимка P называется *главной вертикалью* vv . Линия h_0h_0 , проходящая через главную точку снимка перпендикулярно главной вертикали, называется *главной горизонталью*. Параллельная ей линия h_1h_1 , которая получается в пересечении плоскости снимка P с горизонтальной плоскостью, проведенной через центр проекции, называется *линией горизонта*. Она не всегда совпадает с изображением на снимке видимого горизонта из-за кривизны Земли, влияния рефракции, а также неровностей поверхности.

На главной вертикали, кроме главной точки снимка, отмечаются еще ряд характерных точек. На пересечении главной вертикали с линией горизонта размещается точка i – *главная точка схода*. Она является точкой схода на снимке всех прямых линий местности, параллельных линии направления фотографирования OSN . От главной точки снимка главная точка схода находится на расстоянии $oi = f \cdot \operatorname{ctg} \alpha$, где α – угол наклона снимка, или угол наклона оптической оси аэрофотоаппарата.

Точка *надира* n отмечается на пересечении плоскости снимка с отвесной линией SN . Точка *надира* является на снимке точкой схода всех вертикальных линий местности. Точка *надира* n располагается от главной точки снимка на расстоянии $on = f \cdot \operatorname{tg} \alpha$.

На пересечении биссектрисы угла наклона оптической оси с главной вертикалью находится *точка нулевых искажений* c . Все углы на местности, имеющие вершину в точке нулевых искажений, равны соответствующим углам на снимке. Расстояние от главной точки снимка до точки нулевых искажений $oc = f \cdot \operatorname{tg} (\alpha/2)$. Горизонталь $h_c h_c$, проходящая через точку нулевых искажений c , называется *линией нулевых искажений*, или линией неискаженного масштаба.

Существует тесная прямая зависимость между углом наклона оптической оси и расстоянием главной точки снимка и точки нулевых искажений от точки *надира*. С уменьшением угла наклона оптической оси сокращается расстояние между точкой *надира*, точкой нулевых искажений и главной точкой снимка.

Масштаб аэрофотоснимка в его различных частях может изменяться:

- из-за наклона оптической оси аэрофотоаппарата;
- под влиянием рельефа местности;
- из-за кривизны поверхности Земли.

Существует понятие «*идеального аэрофотоснимка*», который может быть получен при условии аэросъемки горизонтального участка местности с отвесным положением оптической оси аэрофотоаппарата. Для такого аэроснимка исключаются линейные и угловые искажения, а изображение местности соответствует изображению на плане.

На практике, как правило, используются *плановые аэрофотоснимки* (рис. 10), полученные при отклонении оптической оси объектива аэрофотоаппарата от ее отвесного положения на угол не более 3° . Масштаб планового аэрофотоснимка хотя и не постоянен, но изменяется плавно, и все искажения увеличиваются от центра аэрофотоснимка к его краям. Поэтому при использовании аэрофотоснимков для создания различных тематических карт используют их средние части или рабочие площади. Под *рабочей площадью* следует понимать среднюю часть аэрофотоснимка, ограниченную средними линиями зон продольных и поперечных перекрытий (рис. 11).

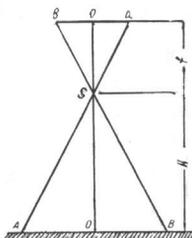


Рис. 10. Плановый аэрофотоснимок и схема построения изображения

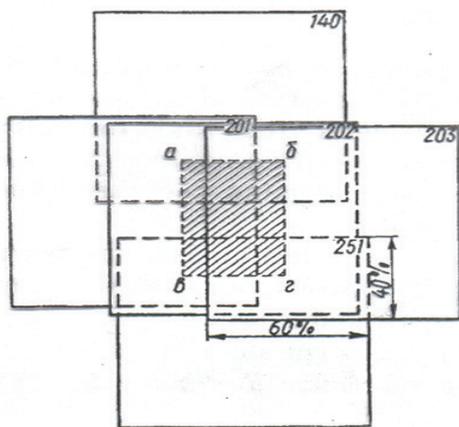


Рис. 11. Рабочая площадь аэрофотоснимка (заштрихована)

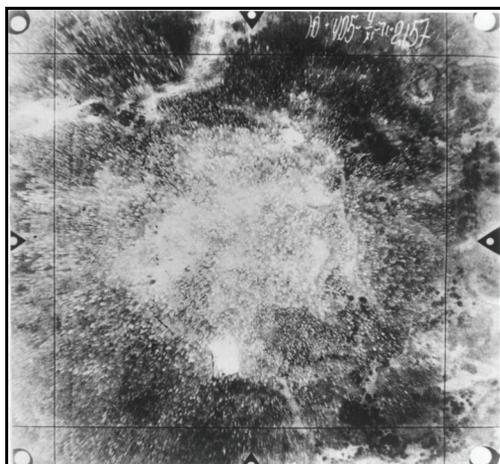


Рис. 12. Плановый аэрофотоснимок территории, покрытой лесной растительностью

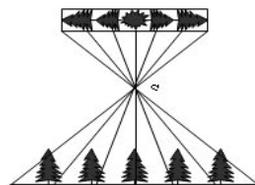


Рис. 13. Схема построения вертикальных объектов на аэрофотоснимке

Под влиянием рельефа на снимках возникают линейные смещения изображения. Объекты, расположенные на повышенных элементах рельефа, изображаются в более крупном масштабе, чем на пониженных. На плановых аэрофотоснимках смещение изображения происходит в направлениях к точке надира или от нее. Вертикальные объекты, такие как деревья, постройки, высокие холмы, на краях снимка видны сбоку и кажутся падающими (рис. 12, 13).

Перспективные снимки получаются при отклонении оптической оси фотоаппарата от ее отвесного положения на угол более 3° при аэросъемке и на угол более 5° при космической съемке (рис. 14).

Масштаб любого аэроснимка можно определить следующими способами:

- 1) если известна высота фотографирования (H) и фокусное расстояние аэрофотоаппарата (f);
- 2) если измерить расстояние аналогичных отрезков на аэроснимке и местности;
- 3) если измерить аналогичные отрезки на аэроснимке и топографической карте.

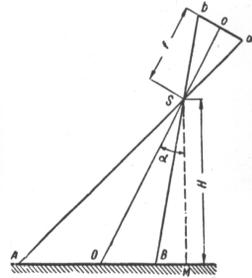
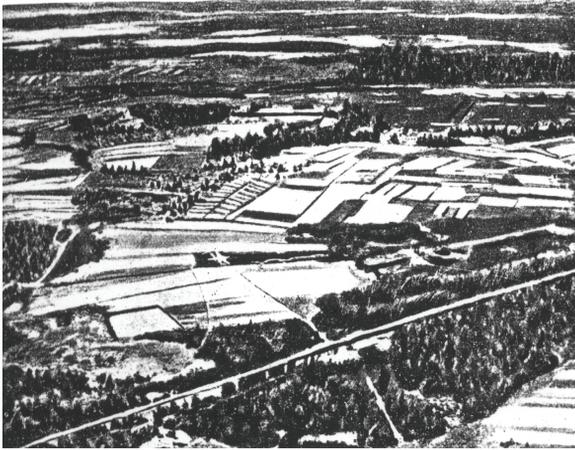


Рис. 14. Перспективный аэрофотоснимок и схема построения изображения

Для того чтобы выявить эти закономерности, выведем формулу масштаба для «идеального снимка». На рис. 15 плоскость T представляет собой фотографируемую земную поверхность, а плоскость P – плоскость снимка. Точка S является центром проекции (объектив фотоаппарата), а линия SO – оптическая ось фотоаппарата. По условию она вертикальна и перпендикулярна плоскостям T и P . Расстояние от плоскости снимка до центра проектирования есть фокусное расстояние объектива f , а H – высота фотографирования. Если на фотографируемой плоскости T возьмем отрезок прямой AB , то в плоскости снимка ему будет соответствовать отрезок ab . Известно, что масштаб аэроснимка получается из отношения длины отрезка на снимке к длине того же отрезка на местности, т. е.

$$\frac{ab}{AB} = \frac{1}{m}. \quad (1)$$

Из подобия треугольников ABS и abS , oaS и OaS следует, что

$$\frac{ab}{AB} = \frac{aS}{AS} = \frac{oS}{OS} = \frac{f}{H}. \quad (2)$$

Приравняв правые части равенств 1 и 2, получим формулу для определения масштаба «идеального снимка»

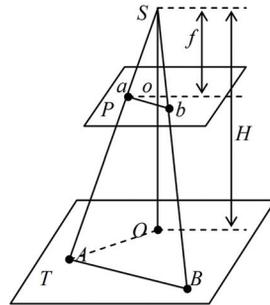


Рис. 15. Построение изображения для «идеального снимка»

$$\frac{1}{m} = \frac{f}{H}. \quad (3)$$

Из формулы видно, что масштаб аэроснимка зависит от отношения величины фокусного расстояния аэрофотоаппарата f к высоте фотографирования H .

Например, при $f = 100$ мм, $H = 1000$ м $1/m = 1/10\ 000$;
 $f = 200$ мм, $H = 2000$ м $1/m = 1/10\ 000$;
 $f = 100$ мм, $H = 2000$ м $1/m = 1/20\ 000$.

Следовательно, чем больше фокусное расстояние фотоаппарата, тем крупнее масштаб аэроснимка, чем больше высота фотографирования, тем мельче масштаб аэрофотоснимка. Если неизвестна высота фотографирования, то ее можно определить умножением знаменателя численного масштаба аэроснимка на фокусное расстояние аэрофотоаппарата (в метрах): $H = m \cdot f$.

В связи с тем что изменение масштаба планового аэроснимка невелико, для вычисления его масштаба можно использовать формулу «идеального снимка».

Практически масштаб планового аэроснимка можно определить путем измерения тождественных отрезков на аэроснимке и соответственно на местности или топографической карте, для которой известен масштаб.

ЗАДАНИЕ 1

Цель – изучить основные точки и линии аэрофотоснимка, определить рабочую площадь аэрофотоснимка.

Материалы – аэрофотоснимки с продольным и поперечным перекрытием, линейка и карандаш.

Порядок выполнения работы:

1. *Определение главной точки аэрофотоснимка.*

На аэрофотоснимке с помощью линейки соединить противоположные координатные метки. Пересечение этих линий в центре аэрофотоснимка и даст местоположение его главной точки.

Если на аэрофотоснимке отсутствуют координатные метки, то положение главной точки находят на пересечении диагоналей квадрата рамки аэрофотоснимка.

2. Определение рабочей площади аэрофотоснимка.

Взять из трех смежных аэросъемочных маршрутов пять перекрывающихся аэроснимков, разложить их таким образом, как показано на рис. 11. Найти рабочую площадь аэрофотоснимка, ограниченную средними линиями зон продольных и поперечных перекрытий.

ЗАДАНИЕ 2

Цель – определить масштаб аэрофотоснимка.

Материалы – аэрофотоснимок и топографическая карта на одну и ту же территорию, измеритель, линейка, поперечный масштаб и карандаш.

Порядок выполнения работы:

1. Взять четыре листа учебных карт (№ 1, 2, 3, 4) и определить на них границы местоположения территории, изображенной на аэрофотоснимке. Для привязки используются различные линейные объекты (дорожная и мелиоративная сеть, гидрография), границы земельных угодий, населенные пункты и другие объекты.

2. На аэроснимке и топокарте необходимо отложить два тождественных отрезка, начинающихся и заканчивающихся у хорошо опознаваемых объектов. Для этих целей могут быть использованы развилки и резкие повороты дорог, развилки дренажной сети, границы земельных угодий, отдельно стоящие объекты (деревья, кусты, постройки и т. д.). Отрезки должны быть как можно длиннее и расположены так, чтобы они проходили как можно ближе к главной точке снимка и чтобы их концы были примерно на одинаковом расстоянии от главной точки, что позволит максимально уменьшить влияние искажений, увеличивающихся к краям снимка, на точность определения масштаба снимка.

3. С помощью измерителя и масштабной линейки измерить отложенные отрезки на аэроснимке (l_1 , l_2) и топокарте (L_1 , L_2) в миллиметрах (с точностью до 0,1 мм).

4. Вычислить масштаб аэроснимка для каждого измеренного отрезка по формулам:

$$m_1 = \frac{L_1 \cdot M}{l_1}; \quad m_2 = \frac{L_2 \cdot M}{l_2},$$

где M – знаменатель численного масштаба карты; l – расстояние между контурными точками на снимке; L – расстояние между контурными точками на карте.

5. Вычислить средний масштаб аэрофотоснимка:

$$m = \frac{(m_1 + m_2)}{2}.$$

6. Результаты оформить в виде таблицы:

№ п/п	Контурные точки	Расстояние между контурными точками, мм		Масштаб аэрофотоснимка
		На снимке	На карте	
1	2	3	4	5

ЗАДАНИЕ 3

Цель – выполнить топографическое дешифрирование аэроснимка и перенести отдельные объекты с аэроснимка на топокарту способом засечек.

Материалы – топографическая карта и аэроснимок на одну и ту же территорию, измеритель, линейка, лавсановая пленка или калька и другие чертежные принадлежности.

Порядок выполнения работы:

1. Привязать аэроснимок к карте.
2. Прикрепить к аэроснимку с помощью скрепок лист кальки или лавсановой пленки пишущей стороной наружу. Используя прямые и косвенные дешифровочные признаки, а также топокарту, отдешифрировать топографические объекты на аэроснимке и в принятых условных знаках отобразить их на лавсановой пленке.

3. После завершения дешифрирования аэроснимка выявить объекты, которые отсутствуют на топокарте, но имеются на аэроснимке, и, используя способ засечек, перенести их на топокарту для чего:

- построить клиновый масштаб, при помощи которого можно перейти от измерений в масштабе аэроснимка к масштабу топокарты. Для этого на аэроснимке и топокарте выбрать по две идентичные точки. Линия, соединяющая эти точки, должна проходить примерно через центр аэроснимка, а концы ее должны быть

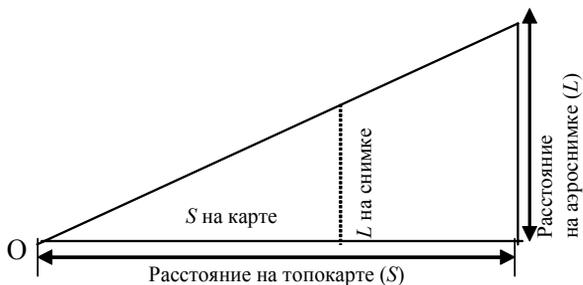


Рис. 16. Клиновый масштаб

равноудалены от центра аэроснимка на 4–5 см. Построить прямоугольный треугольник, катетами которого будут расстояния между идентичными точками на аэроснимке и топокарте (рис. 16). Взяв в раствор измерителя нужное расстояние на аэроснимке (L на снимке), откладывают его от горизонтального катета по перпендикуляру до пересечения с гипотенузой. Расстояние по горизонтальному катету от точки O будет соответствовать расстоянию в масштабе карты (S на карте);

- для перенесения точки с аэроснимка на топокарту способом засечек необходимо на карте и снимке надежно опознать не менее трех точек, желательно расположенных в вершинах равно-стороннего или близкого к нему треугольника, в центре которого находится строящаяся точка. Затем от каждой из трех точек на аэроснимке измерителем берется расстояние до определяемой точки, при помощи клинового масштаба приводится к масштабу карты, и по ней из соответствующих точек проводятся засечки, в пересечении которых и будет находиться определяемая точка на топокарте.

Лабораторная работа 3

ИЗУЧЕНИЕ СТЕРЕОСКОПИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СНИМКОВ. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕВЫШЕНИЙ ТОЧЕК МЕСТНОСТИ ПО ПРОДОЛЬНЫМ ПАРАЛЛАКСАМ

При дешифрировании аэроснимки подвергаются как монокулярному рассматриванию через лупу, так и бинокулярному или стереоскопическому наблюдению с помощью стереоскопа (рис. 17, 18).



Рис. 17. Набор луп

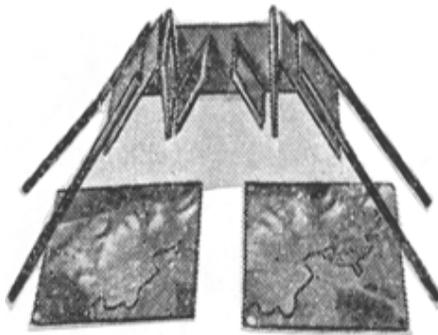


Рис. 18. Стереоскоп линзовый

Однако главным условием получения стереоскопического изображения является наличие стереопары снимков (рис. 19). Под *стереопарой снимков* следует понимать два снимка одного и того же участка, полученных из двух различных точек или с двух концов базиса фотографирования S_1 и S_2 (рис. 20). Для получения таких снимков при съемке расстояние между точками, из которых ведется аэрофотосъемка в маршруте, т. е. между соседними центрами O_1 и O_2 , устанавливается с таким расчетом, чтобы аэрофотоснимки в маршруте получались с перекрытием (рис. 21, 22).

Перекрытие соседних по маршруту аэрофотоснимков называется *продольным*, его величина выражается в процентах от стороны формата аэрофотоснимка и задается не менее 60 %. Расстояние между соседними маршрутами устанавливается так, чтобы между ними тоже получалось перекрытие не менее 30 %, которое называется *поперечным* (рис. 21).



Рис. 19. Стереопара снимков

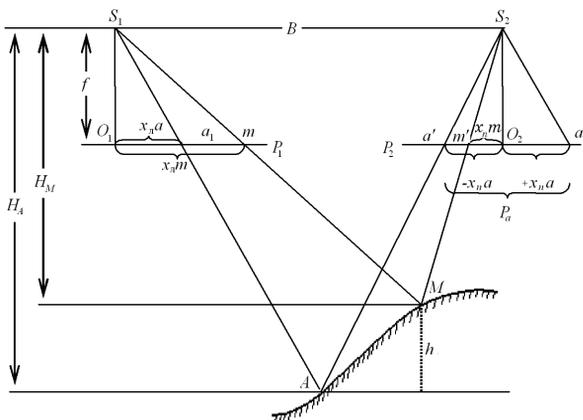


Рис. 20. Зависимость между продольным параллаксом и превышением точек на стереопаре аэроснимков



Рис. 21. Схема площадной аэрофотосъемки

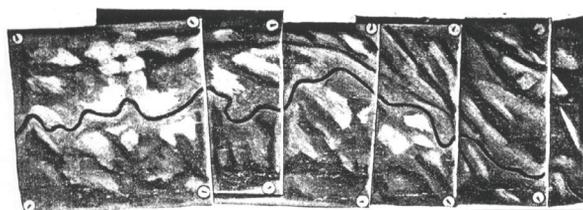


Рис. 22. Схема маршрутной съемки

При рассмотрении под стереоскопом снимков, ориентированных соответствующим образом, дешифровщик видит пространственное или объемное изображение местности, которое называется *стереоскопической моделью*. Для наблюдения стереомодели под стереоскопом аэроснимки ориентируют.

Ориентирование снимков начинают с совмещения взаимно перекрывающихся частей пары аэроснимков по сходимости контуров и укладывают их под стереоскопом так, чтобы начальные направления снимков были примерно параллельны базису прибора (см. рис. 18). Аэроснимки раздвигают в стороны до размещения их взаимно перекрывающихся частей под большими зеркалами стереоскопа. Далее на аэроснимках выбирают какой-либо резко выделяющийся по тону контур или объект и, наблюдая в стереоскоп, сосредотачивают на нем основное внимание. Если при этом выбранный контур двойится или получается расплывчатым, то один из установленных снимков перемещают до полного совпадения изображений контура между собой. Достигнув этого, наблюдают стереоэффект по всему полю зрения стереоскопа. Если аэроснимки рассматриваются в таком положении, какое они занима-

ли при съемке, причем левым глазом рассматривается левый снимок, а правым глазом – правый снимок стереопары, то возникает так называемый *прямой стереоэффект*, при котором формы объектов соответствуют их действительному виду. Повернув каждый снимок на 180° или поменяв их местами, можно получить *обратный стереоэффект*. Горы будут восприниматься как впадины, а реки будут казаться протекающими по гребням хребтов.

Для определения положения точки на паре аэрофотоснимков используется обычно плоская прямоугольная система координат. За начало координат на каждом из снимков стереопары выбирается или главная точка снимка (O_1, O_2), или точка надира (см. рис. 20). *Точка надира* – точка пересечения оптической оси аэрофотоаппарата с плоскостью снимка. Если отклонение оптической оси фотоаппарата равно 0° , то местоположение главной точки снимка и точки надира совпадают. За ось абсцисс принимается начальное направление, а за ось ординат – прямая, перпендикулярная к нему. Таким образом, осью абсцисс на паре аэрофотоснимков является одна и та же прямая, а оси ординат взаимно параллельны. Положительным направлением отсчета оси абсцисс считается направление вправо от начала координат, а для оси ординат – вверх от начала координат. Поскольку каждая точка местности изображается на двух смежных снимках, то ее положение на стереопаре аэрофотоснимков определяется двумя парами координат: $X_n; Y_n; X_n; Y_n$.

При определении высот отдельных объектов на снимках используют следующие способы:

- по величине смещения вершины объекта относительно основания;
- глазомерно-стереоскопический;
- по длинам падающих теней;
- по разностям продольных параллаксов.

Определение высоты объекта по смещению его вершины относительно основания требует знания величины самого смещения S_h , расстояния от вершины объекта до центра аэроснимка (точки надира) r и высоты фотографирования H . Вычисления проводятся по формуле

$$h = S_h \frac{H}{r}.$$

Вычисление высот объектов h по теням производится по формуле

$$h = \frac{lm}{n} = \frac{L}{n},$$

где l – длина тени на снимке; L – длина тени в натуре; m – знаменатель масштаба снимка; n – относительная длина тени, которая получается как отношение высоты объекта к длине тени, зависит от географической широты места, даты и времени съемки и численно равна котангенсу угла падения солнечных лучей на горизонтальную поверхность. Величина n выбирается из таблиц и графиков, составленных В. И. Друри.

Глазомерно-стереоскопический способ измерения высот объектов основан на визуальной оценке их высот под стереоскопом h_c с последующим вычислением натуральных высот объектов h по формуле

$$h = h_c m_B \frac{1}{v},$$

где v – увеличение линз стереоскопа; $\frac{1}{m_B}$ – вертикальный масштаб стереомодели. Вертикальный масштаб стереомодели определяется по формуле

$$\frac{1}{m_B} = N \frac{1}{m_T},$$

где N – вертикальное преувеличение стереомодели; $\frac{1}{m_T}$ – горизонтальный масштаб снимков.

Для определения превышений точек местности необходимо измерить на паре аэрофотоснимков продольные параллаксы. Под *продольным параллаксом* следует понимать разность абсцисс одной и той же точки на левом и правом снимке стереопары аэрофотоснимков. Он обозначается буквой p и вычисляется по формуле

$$p = X_x - X_{np}.$$

При вычислении превышений между точками на местности по продольным параллаксам необходимо знать зависимость между ними. На примере рис. 20 рассмотрим эти зависимости, где S_1 и

S_2 – центры проектирования (объективы), отстоящие друг от друга на расстояние съемочного базиса B . На расстоянии f от центра проектирования расположены снимки P_1 и P_2 , перекрывающие друг друга.

Пусть точки местности A и M имеют превышение одна относительно другой, равное h (см. рис. 20). Эти точки изобразятся на снимках в точках a и m , a' и m' . При идеальном случае съемки ординаты каждой пары точек на снимках будут равными, но различными будут их абсциссы. В нашем случае параллакс для точки M будет равен $p_m = X_m - X_{m'}$; для точки A – $p_a = X_a - X_{a'}$. Поскольку прямая S_2a_2 проведена параллельно лучу S_1A , следовательно, $\Delta S_2a_2o_2 = \Delta S_1ao_1$ и $o_2a_2 = X_1a$ или $a'a_2 = p_a$; $a'a_2 = a'o_2 + o_2a_2 = X_1a - X_n a$, где p_a – продольный параллакс точки A . Из этих зависимостей видно, что продольный параллакс любой точки снимка является базисом фотографирования местности, выраженным в масштабе изображения данной точки.

Из подобия треугольников S_2a_2a' и S_1S_2A следует, что

$$\frac{a'a_2}{B} = \frac{f}{H_a}; \quad p_a = B \frac{f}{H_a},$$

а параллакс для точки M равен

$$p_m = B \frac{f}{H-h},$$

где H_a – высота фотографирования относительно

горизонтальной плоскости, проходящей через точку A , или высота над точкой A ; f – фокусное расстояние аэрофотоаппарата; h – превышение точки M над точкой A .

Если все точки местности лежат в горизонтальной плоскости, т. е. в случае, когда аэросъемка ведется на выровненной территории, то параллаксы для этих точек будут одинаковы.

Точки M и A расположены на различной высоте, поэтому абсциссы их не будут равны между собой. В результате получается так называемая разность параллаксов Δp . Следует отметить, что чем выше расположена точка на местности, тем больше для нее величина продольного параллакса на аэрофотоснимках. Значит, разность продольных параллаксов двух точек на паре аэрофотоснимков зависит от превышений между точками на местности. Если эту зависимость выразить формулой, то по измеренным на аэрофотоснимках разностям продольных параллаксов можно бу-

дет вычислять превышения между точками на местности. Это значит, что разность продольных параллаксов точек M и A будет соответствовать формуле

$$\Delta p = p_m - p_a = B \frac{f}{H-h} - B \frac{f}{H}.$$

Таким образом, измерив продольные параллаксы изображений ряда точек аэроснимков горизонтальной аэросъемки или их разности, можно по ним определить превышения между этими точками на местности.

Продольные параллаксы точек можно измерить с помощью измерителя и масштабной линейки, а также с помощью стереоизмерительных приборов (стереоскопа дешифровочного ДС-4, стереокомпоратора и др.).

ЗАДАНИЕ 1

Цель – определить базис фотографирования.

Материалы – стереопара аэрофотоснимков, измеритель, масштабная линейка, карандаш.

Порядок выполнения работы:

1. На левом и правом аэрофотоснимках стереопары определить местоположение главных точек.

2. Главную точку левого аэрофотоснимка (O_1) опознать на правом снимке в виде точки O'_1 , а главную точку правого снимка (O_2) – на левом в виде точки O'_2 .

3. Расстояние между главными точками двух соседних аэрофотоснимков называют *базисом снимка*. Базисы аэрофотоснимков измерить с помощью масштабной линейки с точностью до 0,1 мм.

4. Определить средний базис снимка (b_{cp}) по формуле

$$b_{cp} = \frac{b_{л} + b_{п}}{2},$$

где $b_{л}$ – базис левого снимка; $b_{п}$ – базис правого снимка.

5. Определить базис фотографирования по формуле

$$B = b_{cp} M,$$

где b_{cp} – базис снимка; M – знаменатель масштаба аэроснимка.

ЗАДАНИЕ 2

Цель – изучить стереоскопические свойства снимков и освоить навыки вычисления превышений между точками местности по продольным параллаксам аналитическим способом.

Материалы – стереопара аэрофотоснимков и топокарта на одну и ту же территорию, измеритель, масштабная линейка, треугольник и карандаш.

Порядок выполнения работы:

1. Изучить стереоскопические свойства аэрофотоснимков.
2. Вычертить таблицу для записи результатов измерений и вычислений:

№ п/п	$X_л$	$X_п$	$p = X_л - X_п$	$\Delta p = p_{n+i} - p_n$	$k = \frac{H}{b}$	$h = \Delta p k$	А – высота точек, вычисленные	А' – высота точек на топокарте
1	2	3	4	5	6	7	8	9

3. Анализируя фотоизображение аэроснимков, сориентировать их по направлению маршрута съемки (продольное перекрытие) и направлению север – юг.

4. С помощью измерителя и масштабной линейки измерить (в мм) абсциссы точек, обозначенных на аэроснимках, сначала на левом, а потом на правом аэроснимке и записать в ведомость.

5. Вычислить параллаксы точек местности по разности абсцисс одной и той же точки на левом и правом снимках.

6. Вычислить коэффициент (k) при $H = 1000$ м.

7. Вычислить превышения точек местности (h), указанных в задании.

8. Привязать аэрофотоснимки к топографической карте и определить на ней положение точек, для которых вычислены превышения.

9. По подписям высот точек и горизонталей вычислить абсолютные высоты точек, обозначенных на аэроснимках, и результаты записать в графу 9 таблицы (см. задание 2, п. 2).



Рис. 23. График высот, вычисленных (A) и определенных по топокарте (A')

10. Для первой точки в графу 8 таблицы берут высоту этой же точки из графы 9, высоты второй и последующих точек вычисляют по превышениям (графа 7) одной точки над другой.

11. Построить график высот, вычисленных (A) и определенных по топокарте (A') (см. пример на рис. 23).

Лабораторная работа 4

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МНОГОЗОНАЛЬНЫХ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ В ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

Различные элементы земной поверхности – вода, растительность, почвы – по-разному отражают солнечное излучение в разных зонах электромагнитного спектра. Графически это можно представить в виде кривых спектральной яркости, величины которой получают специальными измерениями на местности. Ход кривых меняется в зависимости от состояния объекта. Например, различаются кривые сухой и влажной почвы, водоемов с чистой и загрязненной водой, лесов в разное время года. На рис. 24 приведены примеры обобщенных кривых для типичных объектов Земли.

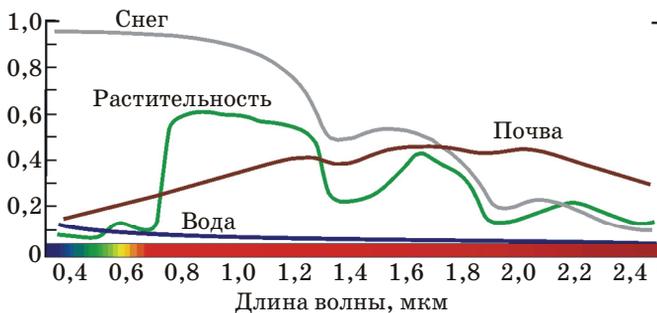


Рис. 24. Обобщенные кривые спектральной яркости типичных объектов, полученные в результате измерений на местности

Проанализировав кривые спектральной яркости, можно выделить на них отрезки, важные для описания свойств объекта, например локальные максимумы в зеленой и ближней инфракрасной области спектра у растительности, определить участки

спектра, в которых различия яркости разных объектов наиболее существенны. Опираясь на кривые спектральной яркости, планируют, в каких участках спектра целесообразно производить съемку поверхности Земли.

Таким образом, объекты земной поверхности ввиду различной их структуры, физико-химического состава, а также целого ряда других факторов по-разному отражают солнечное излучение в зависимости от длины волны. На этом свойстве основана *многозональная съемка*, которую выполняют одновременно несколькими объективами, объединенными в одну съемочную систему. Комбинирование различных пленок и фильтров дает возможность получать одновременно несколько черно-белых снимков одного и того же объекта (района), которые в геометрическом отношении являются идентичными, но в яркостном отношении – различными, так как интенсивность излучения заснятых природных объектов отображается дифференцированно в различных спектральных зонах (рис. 25). Исходя из этого важным достоинством многозональной съемки является то, что наряду с уже известными дешифровочными признаками объектов она позволяет использовать дополнительный дешифровочный признак объектов – *спектральный*, т. е. различия их яркости в разных зонах спектра.

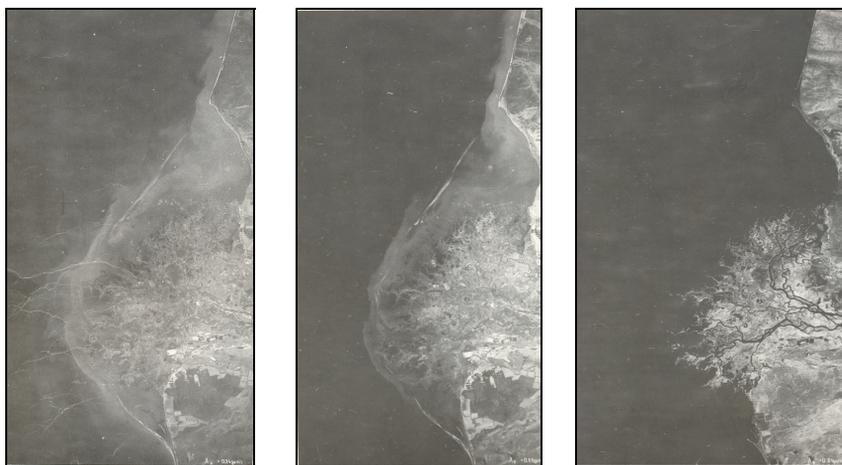


Рис. 25. Космические зональные снимки дельты р. Селенги в зеленой (0,54 мкм), красной (0,66 мкм) и ближней инфракрасной (0,81 мкм) зонах

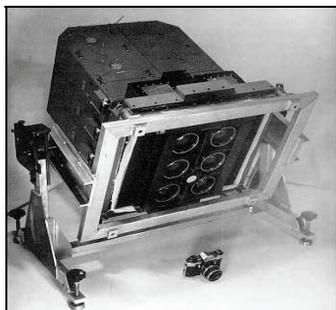


Рис. 26. Камера МКФ-6

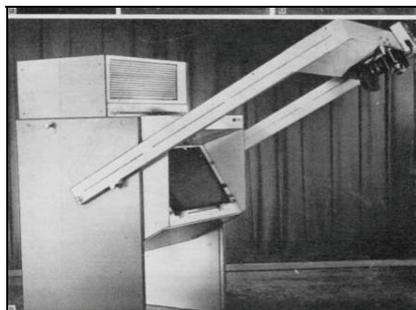


Рис. 27. Многоканальный синтезирующий проектор МСП-4

Проводится многозональная съемка земной поверхности с борта самолета или космического аппарата с помощью фотографических или электронно-оптических сканирующих систем.

Для выполнения многозональной фотосъемки и оптико-аналоговой обработки полученных снимков разработан согласованный комплекс высокоточных приборов МКФ-6 и МСП-4 (рис. 26, 27).

Камера МКФ-6 представляет собой агрегат из 6 аппаратов с $f = 125$ мм и форматом кадра 55×81 мм с высокой синхронизацией работы затворов и устройством для компенсации сдвига изображения. Съемка производится в четырех зонах видимой части спектра: голубая 480 нм (1-й объектив), зеленая 540 нм (2-й объектив), оранжевая 600 нм (3-й объектив), красная 660 нм (4-й объектив) и двух ближних инфракрасных зонах: 720 нм (5-й объектив) и 840 нм (6-й объектив).

При съемке можно задавать перекрытие 20, 60 и 80 % с точностью до 8 %, что позволяет получать стереоскопическое изображение местности. Снимки, полученные с помощью этой камеры, обладают хорошими геометрическими и фотометрическими свойствами; их разрешение в видимой части спектра около 20 м, в ближней инфракрасной – 40 м. В каждый снимок впечатывался оптический клин, обеспечивающий возможность фотометрической обработки изображений, и сеть крестов для контроля деформации пленки. С высоты 280 км при масштабе съемки около $1 : 2\,000\,000$ обеспечивается сравнительно небольшой охват 160×110 км – недос-

таток, связанный с относительно малым форматом кадра. Общая масса камеры (6 кассет, система установки и управления) – 245 кг.

Кроме камеры МКФ-6, для проведения многозонального фотографирования поверхности Земли в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах спектра электромагнитного излучения используется камера МК-4, которая производится на Минском оптико-механическом объединении. Эта камера используется для космических съемок с российского искусственного спутника Земли «Ресурс-Ф». Аппаратура МК-4 обеспечивает фотографирование земной поверхности в четырех зонах спектра электромагнитного излучения, выбираемых для данного комплекта аппаратуры из шести заданных зон в диапазоне длин волн от 400 до 900 нм.

Характеристика аппаратуры МК-4: разрешающая способность снимков – до 6 м, фокусное расстояние объективов – 300 мм, формат кадра – 130×130 мм, спектральные диапазоны съемки по зонам: № 1 – 635–690 нм, № 2 – 810–900 нм, № 3 – 515–565 нм, № 4 – 460–505 нм, № 5 – 580–800 нм, № 6 – 400–700 нм.

Для оптико-аналоговой обработки многозональных фотографических снимков с целью получения цветного синтезированного изображения используют специальные приборы (МСП-4, УАР и др.).

Многоканальный синтезирующий проектор МС-4 является точным прибором для изготовления цветных синтезированных снимков по зональным негативам многозональных снимков. Цветное изображение на экране МСП-4 можно использовать для проведения визуальной интерпретации. Проектор дает возможность интерпретатору представить одновременно всю информацию, содержащуюся на трех-четырех исходных черно-белых снимках. Различные исходные снимки кодируются разными цветами. Таким образом, небольшие спектральные различия в яркости природных объектов, которые при обычной цветной или спектральной фотосъемке ведут лишь к небольшому дифференцированию цветовых различий, могут быть переведены в более отчетливо видимые цветовые различия.

Интерпретатор получает цветное синтезированное изображение на экране прибора с 5-кратным увеличением. Подключением

соответствующих цветных фильтров можно добиться наилучшего выделения дешифрируемых объектов. В процессе визуальной интерпретации можно, опираясь на эталонные объекты, по цветовому тону изобразившихся объектов установить и их свойства, в особенности если путем соответствующих наземных измерений на тестовых полигонах определены спектральные характеристики излучения.

Следует отметить, что одним из важнейших условий синтеза является достижение оптимального цветового контраста, четко воспринимаемого визуально между одной или несколькими группами объектов. Оптимальный вариант синтеза различных зон спектра для изучения определенной категории объектов выбирается способом экспертных оценок различных вариантов синтеза, получаемых на основе разнообразных сочетаний негативов, цветных фильтров, выбранных с учетом их информативности. Для каждой группы объектов сочетания различных зон могут существенно различаться.

Изображение на синтезированных снимках получается в «ложных» цветах. Однако это изображение более выразительно и контрастно. Таким образом, небольшие спектральные различия в яркости природных объектов могут быть переведены в более отчетливо видимые цветовые различия. По сравнению с черно-белыми зональными снимками, синтезированные изображения обеспечивают большую наглядность фотоинформации, что облегчает процесс визуального дешифрирования.

Однако следует отметить, что в настоящее время необходимость оперативной передачи материалов съемки из космоса привела к интенсивному развитию *оптико-электронных (сканерных) съемочных систем*. При этом сканерная съемка чаще выполняется в многозональном варианте. Большинство сканеров, как отечественных, так и зарубежных, работающих в оптическом диапазоне, имеют три одинаковых канала: 0,5–0,6 мкм, 0,6–0,7 мкм и 0,8–1,1 мкм. К ним в разных конструкциях добавляются каналы в других участках спектра: в ближнем и тепловом инфракрасных, а также так называемый панхроматический канал, обеспечивающий получение снимков с более высоким разрешением.

В последние годы появилась тенденция создания *гиперспектральных съемочных систем*, ведущих съемку в более чем 10 каналах.

По-прежнему одним из основных направлений использования многозональных снимков остается создание (синтез) цветных изображений как для визуального, так и для автоматизированного дешифрирования. Чтобы получить такое изображение, из серии зональных снимков выбирают три, окрашивают их в красный (*R-red*), зеленый (*G-green*) и синий (*B-blue*) цвета и совмещают. Смешение этих цветов в разных соотношениях дает все многообразие оттенков на синтезированном снимке. Цвет каждого пиксела зависит от его яркости на соответствующих зональных снимках.

Выбор съемочных зон для синтеза определяется задачами, которые нужно решить с помощью цветного изображения, а цветовая гамма подбирается таким образом, чтобы облегчить визуальное восприятие снимка. Например, сочетание красной, зелено-желтой и сине-голубой зон, окрашенных в соответствующие им цвета (*RGB : 3,2,1*), дает изображение в натуральных цветах, а в варианте *RGB : 4,5,7* растительность изображается оранжево-красным цветом, резко выделяясь среди других объектов.

Методика визуального дешифрирования многозональных снимков

При визуальном дешифрировании многозональных снимков применяют три основных методических приема:

- дешифрирование одного зонального снимка;
- дешифрирование серии зональных снимков;
- дешифрирование цветного синтезированного снимка.

Дешифрирование одного зонального снимка проводится в том случае, если одна из съемочных зон в наибольшей степени удовлетворяет поставленной задаче. Часто таким оказывается снимок в ближней инфракрасной зоне. Вследствие свойства водной поверхности поглощать излучение этой части спектра водные объекты изображаются самыми темными, что облегчает дешифрирование элементов гидрографии – рек и ручьев, береговой ли-

нии озер и морей. При дешифрировании макрорельефа (горных хребтов, сети линеаментов) также иногда используют снимки в этой зоне, поскольку растительность и горные породы изображаются на них светлыми, исчезает «пестрота» ландшафта, типичная для снимков в видимой части спектра, что облегчает изучение рельефа. Однако чаще всего в качестве единственного из серии зональных используется снимок в красной зоне спектра, прежде всего потому, что на нем достаточно уверенно распознаются границы растительного покрова.

Серия зональных снимков представляет спектральный образ объектов и благодаря этому может быть использована для выявления их сущности. Этот методический прием можно применять и при визуальном дешифрировании экранного изображения цифрового снимка, и при работе с фотоотпечатками.

Для большинства съемочных систем характерны относительно широкие зоны видимого участка спектра, поэтому даже у наиболее спектрально-селективных объектов, например растительности, различия яркости невелики и глазом улавливаются не всегда. Изображения же в ближней инфракрасной зоне при сравнении с одной из зон видимой части спектра всегда существенно отличаются. Как следствие, во многих случаях для распознавания объектов используют только два снимка: в одной из зон видимой части спектра, чаще красной, и ближней инфракрасной.

Сопоставление снимков в видимой и ближней инфракрасной частях спектра дает хорошие результаты при дешифрировании переувлажненных почв и грунтов, особенно в случае, если их поверхность маскируется растительным покровом, при разделении тающего и сухого снега в высокогорье и других случаях.

Для наглядного представления спектральных образов объектов при дешифрировании фотоотпечатков иногда используют простейшие измерения фототона с помощью эталонированной шкалы оптических плотностей, а затем представляют их аналогично спектральной яркости в виде графиков. При этом важно иметь в виду, что вследствие многих факторов, связанных с фотографическим процессом, нарушается соотношение яркостей в зо-

нах, спектральный образ оказывается искаженным, а вид кривых на графике – не похожим на кривые спектральной яркости. Такие графики можно использовать для распознавания объектов только в пределах данной серии зональных снимков. Простой, но надежный способ работы с серией фотографических зональных снимков – их последовательное дешифрирование путем наложения прозрачного пластика.

Использование цветных синтезированных снимков – наиболее эффективный прием визуального дешифрирования многозональных снимков. Цветное изображение лучше воспринимается зрением, чем черно-белое, а иметь дело с одним снимком проще, чем с несколькими.

На фотографическом синтезированном снимке находят отображение все особенности спектральных различий объектов местности, если синтезирование и последующее изготовление цветного отпечатка выполнены качественно. Лучшие результаты можно получить при работе не с фотоотпечатком, а с изображением на экране синтезирующего прибора. В этом случае есть возможность подобрать такие параметры синтеза, при которых наиболее контрастно и четко выделяются объекты, интересующие дешифровщика.

В случае визуального дешифрирования на компьютере возможности выбора наиболее подходящего варианта синтеза значительно шире, поэтому многозональные снимки используются чаще именно в этом виде.

Наиболее целесообразно использование цветных синтезированных снимков для дешифрирования растительного покрова – как естественной растительности, так и посевов сельскохозяйственных культур.

ЗАДАНИЕ

Цель – изучить технические возможности многозональной съемки, а также особенности дешифрирования различных природно-антропогенных объектов в отдельных узких зонах спектра.

Материалы – зональные снимки, синтезированные изображения и тематические карты, составленные по результатам дешифрирования материалов многозональной съемки.

Порядок выполнения работы:

Ознакомиться с содержанием раздаточного материала, указанного в вариантах задания. Проанализировав текст, зональные снимки, синтезированное изображение и имеющийся картографический материал задания, изложить результаты работы письменно в соответствии со следующим планом:

1. Сущность многозональной съемки.
2. Основные различия между многозональной и обычной (штатной) съемкой.
3. Указать, какие спектральные зоны использованы для изучения природных явлений, и раскрыть особенности изображения отдельных свойств объектов для данных спектральных зон, т. е. раскрыть дешифровочные признаки природных объектов и явлений для данных спектральных зон.
4. Дать характеристику цветному синтезированному изображению и указать основные дешифровочные признаки природных объектов и явлений.
5. Сделать краткий сравнительный анализ особенностей дешифрирования природных объектов и явлений по зональным и синтезированным космическим снимкам. Указать достоинства и недостатки зональных и синтезированных снимков.

Варианты задания

№ варианта	Объект дешифрирования	№ страниц атласа
1	Северо-Восточный Каспий, средняя часть. Донные отложения. Подводная растительность*	7, 10, 11, 12
2	Северо-Восточный Каспий, средняя часть. Геоморфология*	7, 8, 9
3	Юго-западное побережье Охотского моря. Рельеф берегов*	37, 38, 39

№ варианта	Объект дешифрирования	№ страниц атласа
4	Центральная Якутия. Мерзлотный термокарстовый рельеф*	26, 32, 33
5	Центральная Якутия. Лесная растительность*	26, 35, 36
6	Сельскохозяйственные культуры. Средняя Азия*	60, 61
7	Южное Предбайкалье. Лесная растительность*	19, 20
8	Южное Предбайкалье. Тектоническое строение и рельеф*	14, 15, 16, 17, 18
9	Юго-Восточный Казахстан. Алакольская межгорная впадина. Растительность межгорных впадин*	41, 43, 44
10	Средняя Азия. Северо-восточная часть Ферганской долины. Сельскохозяйственное использование земель*	53, 54, 55
11	Распространение твердого стока рек. Оз. Байкал, р. Селенга	21, 22
12	Северное Прибайкалье. Горно-таежные ландшафты*	23, 24, 25
13	Лесная растительность. Побережье Рижского залива**	56, 57
14	Лесная растительность. Верховья Северной Двины**	53, 54, 55
15	Лесная растительность. Северное Поволжье**	58, 59, 60
16	Прикаспийская измененность. Сельскохозяйственное использование земель**	79, 80
17	Калачская возвышенность. Сельскохозяйственные культуры**	105, 115, 116

№ варианта	Объект дешифрирования	№ страниц атласа
18	Юго-западное побережье Каспийского моря. Геоморфология побережий**	30, 31, 32
19	Кавказское побережье Черного моря. Распространение твердого стока рек**	33, 34, 36
20	Дельта Волги. Современное состояние дельт**	43, 44, 45, 46

* Атлас «Дешифрирование многозональных аэрокосмических снимков. Методика и результаты». М.; Берлин, 1982.

** Атлас «Дешифрирование многозональных аэрокосмических снимков. Сканирующая система "Фрагмент". Методика и результаты». М.; Берлин, 1988.

ЛИТЕРАТУРА

Введение в космическое природоведение и картографирование / Ю. П. Киенко. М., 1994.

Книжников, Ю. Ф. Аэрокосмические методы географических исследований / Ю. Ф. Книжников, В. И. Кравцова, О. В. Тутубалина. М., 2004.

Книжников, Ю. Ф. Дистанционное зондирование / Ю. Ф. Книжников. М., 1996.

Кравцова, В. И. Космические методы картографирования / В. И. Кравцова. М., 1995.

Лабутина, И. А. Дешифрирование аэрокосмических снимков : учеб. пособие для студ. вузов / И. А. Лабутина. М., 2004.

Новаковский, Б. А. Фотограмметрия и дистанционные методы изучения Земли / Б. А. Новаковский. М., 1997.

Физические основы дистанционного зондирования / К. С. Адзерихо [и др.]. Минск, 1991.

Шалькевич, Ф. Е. Методы аэрокосмических исследований : курс лекций / Ф. Е. Шалькевич. Минск, 2006.

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	3
<i>Лабораторная работа 1. ДЕШИФРИРОВАНИЕ ТОПОГРАФИЧЕСКИХ И СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ</i>	<i>5</i>
<i>Лабораторная работа 2. ИЗУЧЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СНИМКОВ.....</i>	<i>32</i>
<i>Лабораторная работа 3. ИЗУЧЕНИЕ СТЕРЕОСКОПИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СНИМКОВ. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕВЫШЕНИЙ ТОЧЕК МЕСТНОСТИ ПО ПРОДОЛЬНЫМ ПАРАЛЛАКСАМ</i>	<i>42</i>
<i>Лабораторная работа 4. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МНОГОЗОНАЛЬНЫХ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ В ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ</i>	<i>51</i>
ЛИТЕРАТУРА	62

Учебное издание

Шалькевич Франц Емельянович
Топаз Антонина Анатольевна

МЕТОДЫ
ДИСТАНЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Лабораторный практикум
для студентов географического факультета

Редактор *Н. Ф. Акулич*
Технический редактор *Т. К. Раманович*
Компьютерная верстка *А. А. Микулевича*
Корректоры *О. В. Леченкова, М. А. Подголина*

Подписано в печать 28.02.2012. Формат 60×84/16. Бумага офсетная.
Печать офсетная. Усл. печ. л. 3,72. Уч.-изд. л. 3,39.
Тираж 100 экз. Заказ 309.

Белорусский государственный университет.
ЛИ 02330/0494425 от 08.04.2009.
Пр. Независимости, 4, 220030, Минск.

Республиканское унитарное предприятие
«Издательский центр Белорусского государственного университета».
ЛП № 02330/0494178 от 03.04.2009.
Ул. Красноармейская, 6, 220030, Минск.