

В.К.Штырова

Аэрокосмические исследования Земли

(учебное пособие)

Саратовский государственный университет имени Н.Г.Чернышевского

2012

Пособие представляет собой сокращенный курс лекций, разработанных в соответствии с учебными программами.

Основная цель его – помочь студентам-географам приобрести необходимые знания и навыки самостоятельной работы в освоении дисциплин по дистанционному зондированию Земли.

В пособии определяются цели и задачи аэрокосмических методов в географических исследованиях, техническая система изучения природных ресурсов и окружающей среды, рассматриваются различные виды применяемых съемок, фотограмметрические характеристики снимков, процесс дешифрирования снимков, признаки дешифрирования и области применения материалов дистанционного зондирования для изучения различных компонентов окружающей среды.

Пособие предназначено для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению 021000 География, 022000 Экология и природопользование, 230700 Прикладная информатика (в географии), 021300 Картография и геоинформатика.

Цели и задачи аэрокосмических методов исследований окружающей среды

Географы в своих исследованиях, помимо описательного, математического, картографического, используют аэрокосмические методы. Эти методы дают большие перспективы и результаты в изучении окружающего мира и использования естественного потенциала на благо человечества. (До Первой Мировой войны, в нашей стране – с 1926 г, в 50-х—60-х годах).

Под аэрокосмическими методами принято понимать совокупность методов исследований атмосферы, земной поверхности, океанов, верхнего слоя земной коры с воздушных и космических носителей путем дистанционной регистрации и последующего анализа идущего от Земли электромагнитного излучения.

Аэрокосмические методы обеспечивают определение точного географического положения изучаемых объектов и явлений и получение их качественных и количественных биогеофизических характеристик. Аэрокосмические методы определяются как дистанционные, под которыми понимают получение информации об исследуемых объектах и явлениях с помощью различных приемников, удаленных от них на значительном расстоянии (от сотен метров до тысяч километров).

Приемники информации устанавливают на носителях, которыми могут быть самолеты различных систем, вертолеты, баллистические ракеты, искусственные спутники, орбитальные и межпланетные станции, корабли.

Дистанционные методы изучения природных ресурсов и окружающей среды (ИПРОС) базируются на том, что исследуемые объекты отражают, поглощают или генерируют электромагнитные излучения определенного спектрального состава и интенсивности. Эти излучения могут быть зарегистрированы при помощи соответствующих приемников, установленных на борту космического аппарата.

При использовании дистанционных методов исследований прибор для регистрации удален от изучаемого объекта. Объект изучается косвенно, так как информация об объекте передается к прибору с помощью светового, ультрафиолетового, инфракрасного, радиотеплового и других видов излучения. В дистанционных методах используются как собственное, так и отраженное объектами излучение, чаще – последнее. Идущее от объекта излучение имеет свое направление, интенсивность, спектральный состав, поляризацию.

Изучение этих характеристик объектов и является сущностью дистанционных методов исследований.

Спектр электромагнитных волн простирается от рентгеновского излучения, имеющих длину волны в несколько ангстрем (нанометров) до радиоизлучения с длиной волны от нескольких метров до километров. В дистанционных методах обычно используют небольшую часть спектра с длинами волн от 3 мкм до 3 м.

Спектр электромагнитных излучений (по длине волны)

Типы излучения		Спектр по длине волны
Гамма		0,001 нм—1 нм – 0,000 001 мм (10^{-6})
Рентгеновское		от 0,01 до 1,0 нм
Оптически	Ультрафиолетовое	до 100 нм
	Видимое	1,0 мкм—0,001 мм
	Инфракрасное	от 1,0 до 100 мкм
Радио		от 1,0 мм до 10 м и более

Чем меньше длина волны, тем лучше может быть разрешение. Поэтому самым информативным является световой диапазон электромагнитных волн.

Одновременная регистрация излучения в нескольких спектральных зонах дает наиболее разностороннюю и комплексную характеристику земной

поверхности. Дистанционным методам свойственна та особенность, что между изучаемым объектом и регистрирующим прибором всегда находится слой посторонней среды, которая преобразует излучение, ослабляет его. Такой ослабляющей средой является атмосфера. В ней имеются окна прозрачности (8—12 км), т. е. атмосфера позволяет вести дистанционные исследования в сравнительно узких зонах спектра: в видимом, тепловом инфракрасном и радиоволновом диапазоне спектра. Кроме того, наблюдениям мешает облачность, ею постоянно закрыта земля на 0,5—2/3. В этом отношении более перспективно использование волн радиодиапазона, который беспрепятственно проходит через слой облачности.

Технические средства космической системы ИПРОС

Общегосударственная космическая система ИПРОС включает:

- 1) сеть наземных и морских полигонов;
- 2) наземные средства приема и межотраслевой обработки информации;
- 3) самолеты-лаборатории;
- 4) автоматические космические аппараты (ИСЗ) типа "Метеор" (с 4.10.1957 г), "Метеор-Природа";
- 5) пилотируемые орбитальные станции и корабли типа "Салют" 1971 г., с 1961 г. "Восток", "Союз", "Восход"; ДОС (долговременные орбитальные станции) с 1969 года «Союз-4 - 5» - первая орбитальная станция (число рабочих мест до 10);
 - б) автоматические космические аппараты типа «Космос» (с 1987 г.), «Фрагмент», «Мир» (с 1987 г – Модуль-Мир-Квант-Прогресс – несколько выходов в открытый космос).

Кратко о назначении этих элементов.

1, 2. Сеть наземных и морских полигонов представляет собой участки земной поверхности, выбранные в характерных физико-географических зонах. На полигонах осуществляются подспутниковые наблюдения, комплексные межведомственные исследования по отработке технических средств зондирования и методов интерпретации космической информации.

Подспутниковые наблюдения проводятся с использованием подвижных и стационарных комплексов контактных и ближних измерений (метод «этажерки»).

Информация дистанционного зондирования, получаемая из космоса, с самолетов-лабораторий, и результаты наземных измерений поступают в общегосударственные межотраслевые центры («Природа» - около 1000 организаций, «Агроресурсы», «Леспроект», ИКИ, Новосибирск) и после соответствующей обработки направляется отраслевым потребителям для использования в изучении природных ресурсов и окружающей среды.

3. Самолеты-лаборатории выполняют подспутниковые наблюдения и эксперименты, получают информацию с особо высокой разрешающей способностью.

4. Автоматические космические аппараты типа «Метеор» с 1957 года обеспечивают получение и сброс видеoinформации по радиоканалам на наземные приемные станции. На первом этапе они выполняют сугубо гидрометеорологические задачи; на таких спутниках получают оперативную информацию для решения народнохозяйственных задач, особенно для изучения быстропротекающих процессов в природе и для решения задач, требующих большой обзорности.

5. Пилотируемые орбитальные станции и корабли предназначаются для проведения дистанционного зондирования Земли, отработки систем зондирования, проведения визуальных и визуально-инструментальных исследований. С пилотируемых аппаратов были выполнены первые наблюдения Земли в начале 60-х годов, первые фотосъемки.

6. Автоматические космические аппараты серии «Космос» (с 1987 года), «Космос»-1900 оснащаются различной аппаратурой для изучения природных ресурсов и рассчитаны на возвращение на Землю материалов съемки при помощи спускаемых аппаратов. Обеспечивают народное хозяйство страны большим объемом высококачественных космических съемок.

Орбиты спутников: экваториальная, полярная, наклонная. Трассы полетов ИСЗ по высоте делятся на три группы:

- низкоорбитальные (200—400 км) – ПКК и ОС, космические системы РесурсФ-0 (фото с 70-х годов);
- среднеорбитальные (500—1500 км) – метеорологические и ресурсные ИСЗ;
- высокоорбитальные (30000—90000 км) – телекоммуникационные спутники и спутники, предназначенные для изучения космического пространства.

Для изучения природных ресурсов используются низко- и среднеорбитальные ИСЗ. У США – космическая система Landsat; у Франции – SPOT (обновляют большую часть мировых карт).

Космическая система ИПРОС развивается и совершенствуется. Важной проблемой является освоение наиболее информативных ИК-СВЧ диапазонов электромагнитных излучений.

Саратовский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского

Лекция 2,3

Виды съемок

Ведущее место в этих методах занимает изучение объекта по снимкам, поэтому главная их задача заключается в целенаправленном получении и обработке снимков, которые получают в процессе различных съемок. Аэрокосмические съемки выполняются с помощью специальной съемочной аппаратуры, чаще всего - фотографических камер, сканеров и радиолокаторов, которые иногда объединяют общим названием — сенсоры (чувствительный элемент).

Съемка местности - процесс дистанционной регистрации излучения с записью принимаемых сигналов в форме изображений (снимков), графиков, регистрограмм, в числовой форме. Самая распространенная форма записи результатов съемок является фотоизображение.

По технологии выполнения съемки бывают фотографические и нефотографические: телевизионная (кадровая) оптическая, оптико-механическая сканерная, фототелевизионная, радиолокационная (радарная).

Классификация нефотографических съемок по диапазонам спектра: ультрафиолетовая, инфракрасная, инфратепловая, радиотепловая и радиолокационная.

Методы съемок: пассивные и активные (фотобомбы, лазерный луч), многозональные, гиперспектральные. В многозональной съемке регистрируется излучение одного диапазона спектра (видимого ИК) в нескольких (не более 6) узких его участках.

Гиперспектральная съемка регистрирует одновременно излучение многих диапазонов спектра также в узких их участках ($\lambda = 0,05—0,20$ мкм). Охватывает одновременно УФ, видимую, инфракрасную и микроволновую области спектра. Тринадцать и более съемочных каналов в аппаратуре.

Наземная съемка

Передвижные лаборатории, суда-лаборатории, буйковые станции.
Фотоэлектронная съемка фототеодолитом. Высокогорья.

Аэросъемка

Воздушную съемку производят до высоты 100 км с самолетов, вертолетов, воздушных «змеев» большой грузоподъемности, воздушных шаров, дирижаблей, аэростатов.

Самолеты - ЛИ-2, ИЛ-12, ИЛ-14, АН-24, ТУ-134сх - самолет-лаборатория;

Вертолеты - МИ-1, МИ-4, КА-18.

Скорость - 100—350 км/ч.

Четыре группы аэрометодов:

1. Аэровизуальный;
2. Аэрофотографический;
3. Фотоэлектронный;
4. Аэрогеофизический.

Производят аэрофотографическую съемку местности, которая используется для создания географических карт и исследования природных ресурсов.

Съемку производят аэрофотоаппаратами АФА.

Различается плановая съемка (угол наклона $1,5^\circ$ — 2°) и перспективная (фотографирование при наклонном положении оптической оси АФА). Но есть и практически горизонтальные снимки.

Съемка бывает маршрутная и площадная. Перекрытие между снимками продольное 57—60% от размера стороны кадра, поперечное перекрытие — 30—40% и более.

При площадной съемке — направление маршрутов с востока на запад.

Аэрофотосъемкой покрыто 90% суши, шельфа.

Космическая фотосъемка (с высоты > 100 км)

Наиболее широко применяется фотографирование земной поверхности (МКФ-6, КАТЭ-140). При изучении природных ресурсов используются различные виды съемки - черно-белая, цветная, спектральная и многозональная. Наибольший интерес для природоведения представляет многозональная фотосъемка, выполняемая одновременно двумя и более фотокамерами в узких спектральных каналах. Впервые многозональная съемка была произведена летчиками-космонавтами В.Г. Лазаревым и О.Г. Макаровым с борта космического корабля «Союз-12» в 1973 г. Многозональные съемочные системы устанавливались и на других космических аппаратах, в том числе «Салют-4», «Союз-22», «Космос-1033» .

Космическая фотографическая съемка (с высоты 150—200 км)

Ручными камерами, фотографирующими автоматами, полуавтоматами.

Применяется с 1961 г. - Г. С. Титов, первый снимок.

Фотографирование может производиться во всем видимом диапазоне электромагнитного спектра, в отдельных его зонах и в ближнем ИК диапазоне.

Масштабы зависят от высоты съемки и фокусного расстояния камеры.

Космические фотоаппараты получают плановые и перспективные снимки.

Снимки с высоким разрешением, с перекрытием 60%.

Фотографические системы КАТЭ-140, МКФ-6, ФМС. Широко применяется МКФ-6 (Россия и Германия). Имеет 6 спектральных каналов. Изображение 55 x 81 мм, очень высокое разрешение снимка, при увеличении - информативность не теряется. Разрешающая способность - 200 линий на 1

мм.

M-6 ~ 2 000 000. Увеличение выдерживают до 60 раз.

Фотосъемка - самый информационный вид. Размер отпечатков 18x18 см, согласуется с физиологией человеческого зрения. Для удобства пользования монтируют фотосхемы (фотомозаики) или фотокарты.

Трансформированные КС используются для составления космофотокарт с помощью специальных приборов трансформаторов.

Телевизионная космическая съемка

Отличается от фотографической меньшим разрешением. Широко используется в метеослужбе, в геологии.

Изображение земной поверхности проецируется на видикон -приемное устройство (передающая трубка). Электромагнитные сигналы по радиоканалам передаются на Землю и записываются на магнитную ленту. Часть информации теряется. Для получения многозональных снимков на ИСЗ устанавливают несколько телекамер, работающих в разных режимах.

ТВ-системами снабжены «Метеор» (высота полета - 600—890 км) и «Нимбус» США (высота полета - 1000—1080 км). Материалы их используются в геологии, океанологии.

Преимущества ТВ-съемки - большая быстрота и оперативность. Однако проигрывают в качестве фотографическом и в степени разрешения снимка.

Фототелевизионная съемка

Для суммирования достоинств обоих видов съемки сочетали фотосъемку с телевизионной. Информация искажается за счет помех в атмосфере.

Сейчас не применяется.

Сканерная съемка

Используются многоспектральные оптикомеханические системы — сканеры.

Изображения получают в виде отдельных последовательно получаемых полос - элементов.

Сканирование - развертка изображения при помощи качающихся или вращающихся зеркал, которые поэлементно просматривают местность поперек движения носителя и посылают лучистый поток в объектив.

Изображение местности - в виде сканов-полос, сложенных отдельными элементами-пикселями. Формируется изображение, в котором каждому элементу соответствует яркость излучения. Сканерное изображение - это пакет яркостных данных, переданных по радиоканалам на Землю

Сканер нового поколения - «тематический картограф» - на «Лэндсат» - 4—5.

Дает большой поток информации, особенно в геологии.

Съемка перспективная.

Радиолокационная съемка

Важнейший вид дистанционного зондирования. Используется в условиях облачности, тумана и т. д. На самолетах и ИСЗ устанавливаются два локатора бокового обзора. На Землю посылается радиосигнал, от объекта он отражается и фиксируется на приемнике.

Широко используется радиолокационная станция «Горос», с нее получают две полосы бокового обзора в масштабе 1:90 000 и 1:180 000. Изучается ледовый режим в арктических морях, в геологии, в труднодоступных районах Сибири, Амазонки, пустынь, в высоких широтах.

Разрешающая способность от 10 до 200 м.

Впервые использовалась с 70-х годов на американском спутнике «Сисат».

Успешно использовалась для изучения Венеры.

Инфракрасная съемка

(длинноволновое излучение - длина волны от 3 до 1000 мкм).

ИК или тепловая съемка основана на выявлении тепловых аномалий путем фиксации теплового излучения объектов Земли, обусловленного эндогенным теплом или солнечным излучением.

Температурные неоднородности поверхности Земли возникают в результате неоднородного нагрева различных ее участков.

Разработана в СССР Шилиным.

Тепловую съемку можно вести в местах пропуска ИК лучей - окнах прозрачности (4 окна). Хорошо фиксируется гидросеть, ледовая обстановка, тепловые неоднородности водной среды, вулканическая деятельность, зоны разломов Земли, тектоническая структура, изучение шельфа, подводные долины, банки, другие формы рельефы.

В окнах прозрачности работают измерительные приборы -тепловизоры, которые преобразуют ИК невидимое излучение в видимое, фиксируя тепловые аномалии. На ИК изображениях светлыми тонами фиксируются участки с низкими t° , темными — с относительно более высокими t° . Чем выше t° аномалии, тем ярче тон изображения.

ИК съемку можно проводить ночью.

Используют для составления тепловых карт Земли. Линейно-полосовые тепловые аномалии интерпретируют как зоны разломов, а площадные и концентрические - как тектонические или орографические структуры. Особенно хорошо фиксируются зоны активной вулканической деятельности, дно шельфа, строение рельефа дна (t° воды над более глубокими участками будет ниже, чем над мелкими), подводные долины, банки, гряды.

Лазерная съемка

Активная тепловая и дальномерная съемка, используется для получения картины рельефа.

Лазерная съемка создана за рубежом.

Голографическая съемка рельефа

Объект освещают лазерным лучом. Отраженная объектом световая волна попадает на фотопластинку. Полученная картина - голограмма.

Ультрафиолетовая съемка

Используется не стеклянный объектив, а кварцевый.

Люминесцентная съемка

Съемка основана на свойстве горных пород светиться с разной интенсивностью ночью.

Только начинает развиваться.

Спектрометрическая или телефотометрическая

Основана на различных спектральных отражательных или излучательных свойствах природных объектов. В результате получается график или регистрограмма или кривая яркостей, на которой зафиксирован как бы фотометрический профиль местности.

Магнитная съемка

Существует с 1958 г.

Выявляет источники магнитных аномалий Земли, профили и карты главного магнитного поля Земли и других планет солнечной системы.

Природные условия съемки.

Оптические свойства природных объектов

Все объекты съемки имеют различную яркость. Яркость – это световой поток, который излучает или отражает объект. Яркость какого-либо освещенного объекта зависит от его освещенности и отражательной способности.

Естественным источником освещения служит Солнце. Солнечный свет, проходя через атмосферу, частично рассеивается молекулами газов атмосферы, а также пылью и водными парами.

Суммарное освещение земной поверхности складывается из прямой освещенности, рассеянной освещенности и освещенности, создаваемой рефлексами.

Освещенность горной местности зависит от сочетания углов наклона и ориентировки склонов, времени суток, месяца и широты места. При съемке гор с крутыми склонами свет отражается от крупных склонов и усиливает освещенность противоположных склонов. Пример: снимки осенью при малых высотах Солнца в средних широтах южные склоны гор и холмы освещены сильнее, чем горизонтальные поверхности. Различная освещенность их приводит к разному их прогреву, что обнаруживается при инфракрасной съемке, регистрирующей тепловое излучение объектов.

С увеличением высоты Солнца доля рассеянного света уменьшается и возрастает чернота теней. В связи с этим усиливаются контрасты освещенности.

При малых высотах Солнца рассеянное освещение больше на южных склонах. Склоны северной и южной ориентировки всегда освещены по-разному. Однако эта разница менее заметна в утренние и вечерние часы и резко возрастает к полудню.

Оптимальной высотой Солнца, при которой достаточно выразительно передается рельеф и не обедняется тональность изображения, считается высота 20° — 30° и не более 80° , так как при положении светила близком к зениту исчезают тени.

При космической съемке, особенно глобальной и перспективной (под углом 2°) обнаруживается неравномерность освещенности поверхности Земли из-за кривизны.

Отражательная способность объектов характеризуется двумя величинами: альбедо и коэффициентом яркости.

Альбедо – это величина, равная отношению потока радиации F отраженного поверхностью объекта по всем направлениям к падающему на эту поверхность потоку F_0 :

$$A = F/F_0$$

Коэффициент яркости r – это отношение яркости данной отражающей поверхности B к яркости одинаково с ней освещенной идеально матовой поверхностью, отражающей весь падающий на нее свет B_0 :

$$r = B/B_0$$

При отсутствии внешнего источника освещения имеет место лишь собственное излучение поверхности за счет предварительного нагрева Солнцем или внутреннего нагрева Земли. В инфракрасной зоне спектра поток излучения и следовательно, яркость объекта зависят от температуры объекта, в радиотепловом диапазоне поток излучения зависит от излучательной способности объекта.

Коэффициенты яркости различных природных объектов в дневном свете колеблются в широких пределах от 1,0 для свежеснеженного снега до 0,02—0,03 для влажного вспаханного чернозема. Однако, суммарный коэффициент яркости полностью характеризует лишь небольшое число

оптически нейтральных объектов: белых, черных. Большинство же объектов имеет окраску, т. к. по-разному отражает лучи в узких зонах спектра.

По различным отражательным свойствам выделяют четыре группы поверхностей:

1. Ортотропные поверхности, которые отражают падающий на них поток излучения равномерно во всех направлениях или диффузно. Это сыпучие пески, рыхлый снег, каменные крупновалунные россыпи.

2. Зеркалящие поверхности, которые отражают излучение в плоскости падения лучей и под углом падения. Это: чистый лед, сухие каменистые поверхности, открытые скальные грунты, глинистые грунты, галечники, водная поверхность (при радиоизлучениях). Наибольшая яркость при наблюдении против Солнца. Особенно зеркально отражать световой поток сильно выражено у водной поверхности. При высоком стоянии Солнца блик в воде.

3. Изрытые (иссеченные) поверхности, которые максимально отражают излучение в направлении к источнику излучения (искусственного освещения - радиоволны), т. е. самолету. Такими свойствами обладает растительный покров, пахота и др. На снимках в стороне противоположной Солнцу, возникает более или менее заметное светлое размытое пятно.

4. Комбинированные поверхности – с двумя пиками отражения – росистые луга, посева пшеницы, риса, галечники.

Помимо отражательной способности объектов учитывается также интервал яркостей ландшафта или контраст ландшафта.

Интервал яркостей ландшафта зависит от нескольких условий: времени суток, облачности, погоды, ясной или пасмурной погоды, от ориентировки склонов и т. д. Интервал яркостей летом колеблется от 2 до 50, но практически не бывает больше 20.

Основной контраст возникает при съемке суши и воды. Вода из всех природных компонентов обладает наибольшей теплоемкостью. Поэтому вода

на инфракрасных, радиотепловых и радарных снимках изображается наиболее темным тоном.

Но часто возникают блики, и тогда изображение реки, проходящей через весь снимок может меняться от белого к черному. Кроме того, яркость в толще воды может меняться от химического состава и замутненности взвешенными минеральными частицами и микроорганизмами. Пример: космические снимки Каспийского моря, Балтийского моря, Волги.

Метеорологические условия съемки

Воздушная и космическая съемка производится со значительного расстояния от объектов (100 км—10 000 км и более) через толщу атмосферы, которая заметно влияет на видимость объектов и качество снимков.

Атмосфера не является абсолютно прозрачной средой. В атмосфере свет рассеивается. Возникает атмосферная и воздушная дымка. Атмосферная дымка возникает при рассеивании света молекулами газа. Это относится к сине-фиолетовой части спектра, чем объясняется голубой цвет неба и дымки. При визуальных наблюдениях с кораблей Земля приобретает голубоватый оттенок.

Воздушная дымка возникает при рассеивании света частицами влаги и пыли. Она теряется в пустынях, песчаная пыль окрашивает дымку в желтоватый цвет.

Интенсивность пылевой дымки возникает после бурь, больших пожаров, извержений вулканов.

Значительное задымление атмосферы возникает над промышленными и сильно заселенными территориями. Прозрачность атмосферы над промышленными районами понижается к вечеру, в зимнее время прозрачность больше, чем в летнее. Над городами – микроклимат.

Из-за влияния дымки яркость объектов уменьшается, уменьшается контрастность и детали изображения.

Основная помеха при съемке в видимой части спектра – облачность. Облака среднего яруса снижают освещенность на $1/3$, а нижнего яруса – в 2—4 раза.

При пасмурном небе сильнее освещается горизонтальная поверхность, чем склоны.

В облачную погоду исчезают тени, растительность изображается в более светлых тонах. При съемке сильно пересеченных горных районов облачная погода благоприятна.

При космической съемке почти во всех случаях облачность мешает, закрывает Землю. Но часто и сам облачный покров является объектом съемки «Метеор».

Влияют на изображения и погодные – метеоусловия, предшествующие моменту съемки – проливные дожди или великая сушь, местность выглядит по-разному. Иссушенные грунты (или переувлажненные) на снимках выглядят монотонными и плохо различаются.

Воздушную съемку следует проводить в ясную безоблачную погоду с минимальной атмосферной дымкой.

При космической съемке тоже нужны метеосведения: о туманах, ветрах, бурях и т. д. Кроме того, необходимо знать характеристику фенофаз.

Сезонные условия съемки

Качество съемок зависит от сезонных изменений ландшафтов. Наибольшей изменчивости подвержена растительность, которая определяет физиономичность ландшафта. Каждая растительная ассоциация имеет свой ритм развития и в различные сезоны выглядит по-разному. Но тем не менее

существуют и постоянные аспекты, повторяющиеся из года в год, т. е. существуют типичные весенние, летние и осенние аспекты.

Так, например, леса умеренной зоны имеют постоянный хорошо выраженный осенний аспект – фазу пожелтения и сброса листвы, устойчивы сами осенние цвета.

Коренные леса вступают в эту осеннюю фазу расцветивания гораздо позже, чем леса по гарям и вырубкам. Все это отчетливо отображается на снимках.

Еловые и пихтовые леса бедны в этом отношении, их сезонные аспекты очень разнообразны, что затрудняет дешифрирование снимков.

Лиственные леса во время осенней расцветки имеют несколько аспектов, в этот период наблюдается наибольшее количество тонов и цветовых контрастов. По ним легко можно отдешифрировать типы лесов.

Наибольшим количеством аспектов обладают луга. Летом разные виды луговой растительности в разное время зацветают, от этого непрерывно меняется рисунок изображения на снимках, что тоже облегчает дешифрирование. Это смещение фенологических фаз зависит не только от смены сезона или погоды, но и связано с рельефом, характером почв и грунтов.

Особенно отчетливо проявляется зависимость фенофаз от рельефа в тундре, в условиях малого прихода тепла, там ориентация склонов существенно влияет на смещение фаз. В тундре летом можно наблюдать 4—5—7 аспектов, разнообразны также красочные аспекты болот: ярко-зеленый, желто-зеленый, серый, серовато-желтый и др.

Но многообразие природных аспектов не всегда выражается на снимках. Это зависит от масштаба съемки, метода съемки, качества пленок. Часто все обобщается при мелком масштабе, исчезают цветовые и тоновые детали.

Однако, на космических снимках среднего масштаба 1 : 1 000 000 достаточно ярко отображается смена сезонов, заметны изменения в заснеженности территории, высотной поясности в горах, но менее заметны сезонные изменения в растительности.

Сезонные изменения хорошо выражены у сельскохозяйственных ландшафтов: весной черные пары, осушение и орошение земель, уборка урожая, даже на космических снимках крупного масштаба.

В связи с сезонными изменениями возникает задача выбора времени, метода съемок и материалов.

Применительно к лесной аэросъемке были составлены карты европейской части СССР, на которых показаны сроки аэросъемки лесов на пленку типа панхром и СН-2.

Фотосъемку рекомендуется начинать на юге – в мае, центр – 1 июня, северо-запад – 15 июня. Для пленки СН-2: юг – 20 сентября, центр – 10 сентября, северо-запад – 15 августа.

Сезонным различиям подвержен и уровень воды в реках. Аэросъемку предпочтительнее проводить при низкой воде.

Сезонный ход имеет и временная снеговая граница в горах и климатическая снеговая граница в умеренной зоне.

Порой время ее установления имеет специальный интерес. Но все же самое богатое содержание имеют летние снимки.

Учет многолетних изменений

В природе все постоянно изменяется. Эти изменения носят непрерывный, скачкообразный и катастрофический характер. Медленная эволюция и скачки перемежаются в развитии всех природных комплексов. Непрерывные изменения испытывают: вода, растительность, почвы.

Процессы водной и ветровой эрозии, а также аккумуляция изменяют рельеф. С водной эрозией связана деформация русел и дельт рек.

Катастрофические изменения изменяют природу за короткий срок и порой на значительных территориях: это землетрясения, деятельность вулканов, наводнения, сели и др.

Кроме того, особенно велика роль хозяйственной деятельности человека, которая порой меняет природный ландшафт, заменяет его сельскохозяйственными, промышленными и ли городскими. На месте лесов на севере возникает тундра, на юге – степи.

Изменения в тундре. Леса, пожары изменяют не только внешний облик. Коренные леса, гари, производные леса, смена растительности, несколько самостоятельных комплексов растительности.

Все эти многолетние изменения в природе наилучшим образом устанавливаются путем повторных съемок.

Любая однажды сделанная съемка дает частное, в известной степени случайное представление об объекте, характеризует один какой-то момент в непрерывной цепи изменений. А эти изменения улавливаются съемкой с промежутком 20—30 лет.

Но на космических снимках пока улавливаются лишь быстро протекающие процессы: атмосферные, дрейф льдов, изменения поверхностных t° моря.

Лекция № 4.

Геометрические свойства и фотограмметрическая обработка снимков.

Одиночный снимок. Геометрические искажения снимка.

Трансформирование снимков.

Изучением метрических свойств снимка и измерениями на них занимается фотограмметрия или измерительная фотография, стереофотограмметрия.

При фотограмметрической обработке на снимках определяются положение объектов в пространстве, их геометрические характеристики и прослеживаются изменения. Сначала рассмотрим свойства одиночного снимка, а затем стереоскопической пары. Геометрические свойства кадровых, сканерных и радиолокационных снимков различны.

Одиночный снимок. Масштаб снимка.

Важнейшим показателем снимка является их масштаб. Масштаб получается из отношения длины отрезка на снимке к длине того же отрезка на местности при условии, если этот отрезок горизонтален ($M = l_k / l_{cn} * M_k$). Диапазон используемых масштабов очень велик: на крупномасштабных аэроснимках объекты уменьшаются в сотни раз, а на мелкомасштабных космических снимках – в десятки миллионов раз. По масштабам аэрокосмические снимки разделяются на следующие группы:

Название масштаба	Численный масштаб	
	аэроснимков	космических снимков
Крупный	1 : 1000	1 : 100000

Средний	1 : 10000	1 : 1000000
Мелкий	1 : 100000	1 : 10000000

Это деление в некоторой степени условное, существует непрерывный ряд масштабов.

Наиболее распространенные среднемасштабные аэроснимки (1 : 10000) и среднемасштабные космические (1 : 1000000).

В процессе съемки не удается получить точного и постоянного значения масштабов, указанных в этой таблице. Вследствие колебаний высоты полета масштаб отдельных снимков отличается от среднего масштаба всей съемки, указываемого в паспорте залета. Например, для равнинных территорий это расхождение может достигать 3 %.

Масштаб горизонтального фотоснимка зависит от соотношения фокусного расстояния объектива фотокамеры (200 мм, 500 мм) и высоты фотографирования (130—150 м) до десятков тысяч километров. Величина фокусного расстояния камеры постоянна. Высота фотографирования остается неизменной только при съемке равнинной местности. При съемке пересеченной горной местности масштаб в пределах каждого снимка и групп снимков неодинаков.

При постоянной высоте фотографирования масштаб снимка тем мельче, чем меньше фокусное расстояние камеры.

На сканерных (изображение в виде полосы), тепловых и радарных изображение построено по-другому, чем на фотографических. Масштаб их в направлении полета практически постоянен, в поперечном направлении – переменный масштаб.

Масштаб радиолокационных снимков зависит от размеров съемочной аппаратуры, а не от высоты полета.

Масштаб телевизионных снимков зависит от высоты полета и параметров съемочной и принимающей аппаратуры.

Масштаб снимков определяют несколькими способами и с разной точностью:

- 1) Взять отношение длины отрезка к длине того же отрезка в натуре:

$$1/M = \ell/L$$

- 2) Более точное значение масштаба снимка можно определить путем сравнения длины идентичных отрезков, измеренных на снимке $\ell_{сн}$ и топографической карте $\ell_{к}$ наиболее крупного масштаба

$$M = M_k * \ell_k / \ell_{сн}$$

В качестве отрезков берут расстояния между наиболее четкими контурными точками, надежно сопоставимыми на снимке и на карте.

Значение масштаба будет получено тем точнее, чем длиннее отрезок, взятый на снимке. Следует выбирать отрезки, проходящие через центр снимка в разных направлениях и определять масштаб неоднократно.

Основные элементы планового фотоснимка

Фотоснимок получается в результате центрального проектирования местности на плоскость. Центральная проекция или перспективное изображение получается в результате проектирования местности на плоскость снимка (или картинную плоскость) при помощи пучка лучей, исходящих из центра проектирования (объектива).

Центром проекции является ~ центр объектива S.

Плоскость снимка – P – картинная плоскость.

Главный луч или оптическая ось объектива (SO) перпендикулярна плоскости снимка P.

$S_o = f$ – главное расстояние камеры или фокусное расстояние АФА.

Точка o – главная точка снимка, его геометрический центр.

Плоскость E – уравненная поверхность Земли или предметная плоскость.

Перпендикуляр SN к плоскости E – это расстояние называется высотой съемки – H .

Главная вертикаль, главная горизонталь.

Кроме главной точки O на снимках есть еще ряд характерных точек:

J – точка схода на снимке всех прямых линий местности, параллельных линий направления фотографирования. От главной точки снимка она находится на расстоянии: $OJ = f \operatorname{ctg}\alpha$, где α – угол наклона снимка, или угол наклона оптической оси.

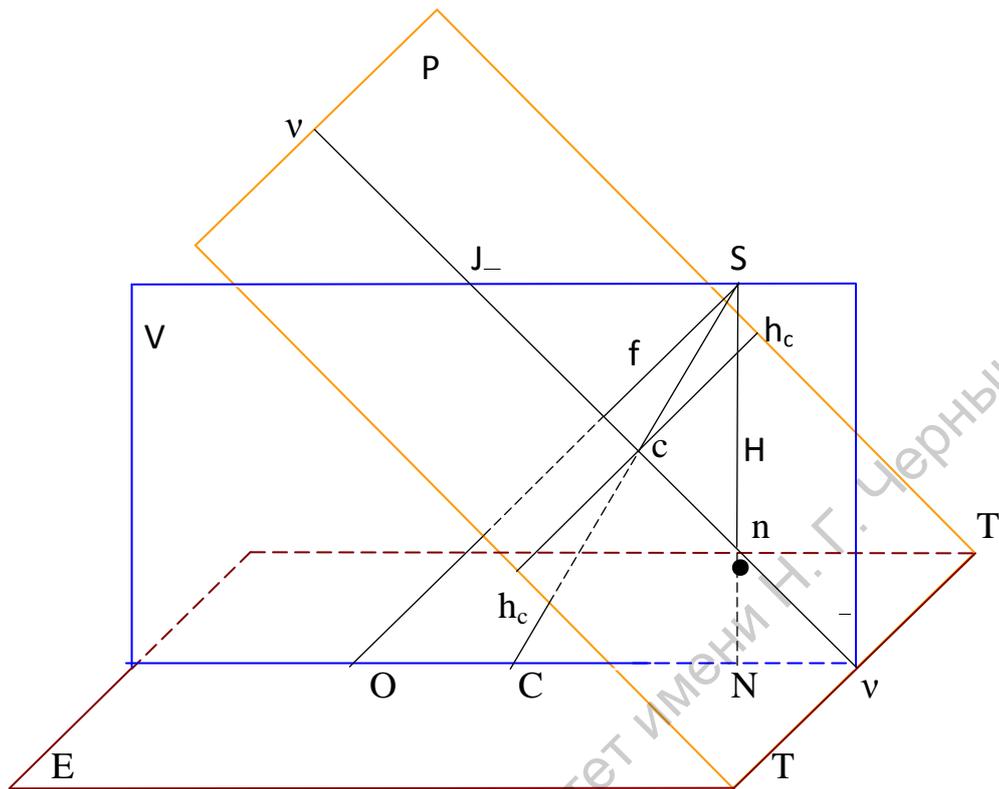
Точка надира n (третья точка снимка) отмечается на пересечении плоскости снимка с отвесной линией SN . Точка надира является точкой схода всех вертикальных линий местности. Точка надира отстоит от главной точки снимка на расстоянии $on = f \operatorname{tg}\alpha$, на плановых снимках достигает несколько мм.

Точка нулевых искажений или линия неискаженного масштаба $hchc$ находится на пересечении биссектрисы угла наклона оптической оси с главной вертикалью.

На горизонтальных снимках все точки совпадают в главной точке снимка.

При малых наклонах снимка точка нулевых искажений и точка надира располагаются вблизи главной точки.

Основные элементы планового фотоснимка



E – уровенная поверхность Земли, предметная плоскость

V – главный вертикал, плоскость проходящая через главный луч

S – центр объектива, центр проекции

SN – H – высота съемки

SO – главный луч или оптическая ось объектива, перпендикулярная P

P – плоскость снимка или картинная плоскость.

So – фокусное расстояние камеры = f

o – главная точка снимка, его геометрический центр

vv – главная вертикаль – линия пересечения P с V

hc – hc' – линия неискаженного масштаба, горизонталь через точку нулевых искажений c

c – точка нулевых искажений

Sc – биссектриса угла наклона оптической оси с главной вертикалью

TT – ось перспективы, пересечение предметной и картинной плоскостей

n – точка надира, на пересечении плоскости снимка с отвесной линией SN , точка схода всех вертикальных линий на местности.

Определение размеров объектов по строго горизонтальному снимку

В идеальном случае съемки оптическая ось кадровой камеры направлена строго по отвесной линии вниз, а снимаемая местность принимается за горизонтальную плоскость. Численный масштаб такого горизонтального кадрового снимка $1/M = f/H$, зависит от высоты съемки H и фокусного расстояния камеры f . В таком случае численный масштаб снимка будет одинаковым во всех частях снимка. Углы на снимке и местности будут равны, а все контуры подобны.

Линейный размер или расстояние между точками на местности L и снимке $l_{сн}$ выражается такой же зависимостью:

$$L = l_{сн} * H / f = l_{сн} * M$$

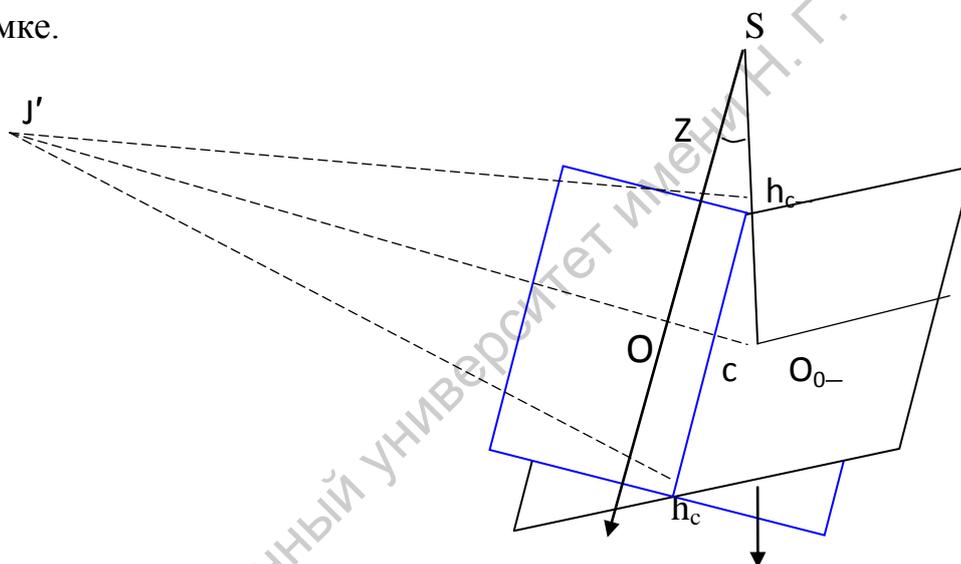
Таким образом, для нахождения по идеальному снимку длин, площадей, углов можно использовать картометрические приемы измерений.

Однако, реальным снимкам присущи различные геометрические искажения, называемые фотограмметрическими. Причиной этих искажений является несовершенство съемочной аппаратуры, условия съемки, характер снимаемой местности.

Величины этих искажений обычно превосходят погрешности собственных измерений по снимкам, поэтому именно от них зависит реальная точность определения геометрических величин по снимкам.

Наклон снимка. При наклоне оптической оси по отношению к местности изображение искажается из-за разномасштабности. Если снимок не строго горизонтален, то контуры на нем искажены за перспективу, деформируются. Например, параллельные линии на местности изображаются на наклонном (перспективном) снимке сходящимися в одной точке – точке схода J' .

В отличие от горизонтального снимка у перспективного снимка масштаб неодинаков в разных его частях и по разным направлениям, он зависит не только от H и f , но и от угла наклона снимка Z и положения точки на снимке.



Если сравнить два снимка – горизонтальный и наклонный, сделанные из одной точки S , то очевидно, что по линии пересечения плоскостей снимков масштаб их будет одинаков. Эта линия hc называется линией неискаженных масштабов. Она делит перспективный снимок на две части: на верхней его части масштаб мельче, на нижней – крупнее, чем на горизонтальном снимке.

В связи с непостоянством масштаба и углы, измеренные по перспективному снимку не будут равны углам на местности. Не искажены будут только углы с вершиной в единственной точке, лежащей на линии

неискаженных масштабов – точке нулевых искажений s . На горизонтальном (или плановом снимке) точка нулевых искажений расположена в центре снимка, рядом с главной точкой O_0 .

Следует напомнить, что длина отрезка, проходящего через центр кадрового снимка, не искажается под влиянием наклона снимка. Искажения из-за наклона фотоснимка исправляются графическим или фотомеханическим трансформированием, изображение приводится к нужному масштабу, устранение искажений за угол наклона, рельеф, кривизну.

Графическое трансформирование выполняется по перспективным сеткам, в которых выбирают опорные точки или элементы ориентирования.

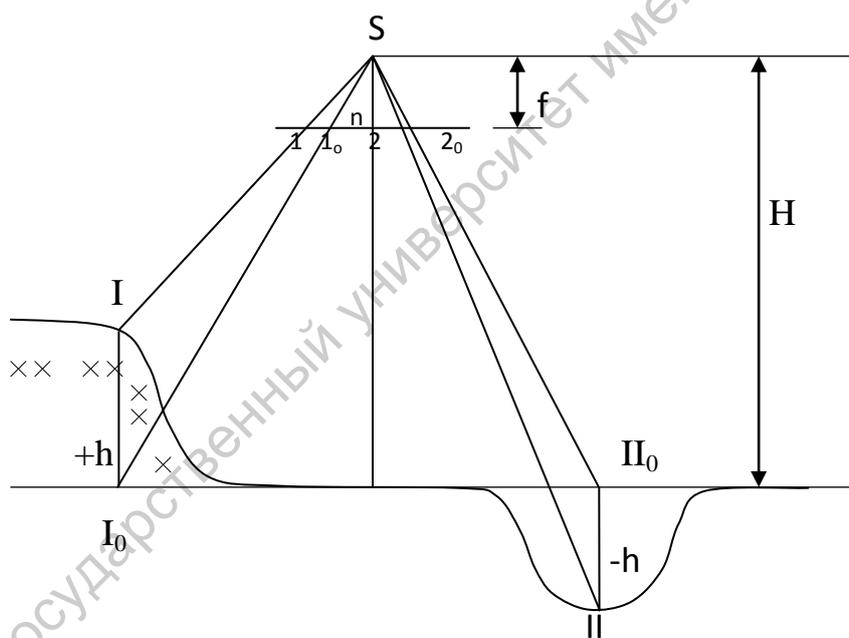
Фотомеханическое трансформирование снимков выполняется на фототрансформаторах. Как большие полуавтоматические фотоувеличители, но они имеют приспособление для наклона экрана и негатива, устройство для соблюдения резкости изображения. В кассету фототрансформатора закладывают негатив, на нем накалываются трансформационные точки (развилки дорог, слияния рек), расположенные по углам прямоугольника полезной площади. Этих точек (опознаков) должно быть не менее 4-х на каждом снимке. Эти точки наносят на планшетик-основу, затем эта основа размещается на экране, на него проецируется изображение с негатива. Изменяя наклон экрана и расстояние между негативом и экраном, наблюдатель добивается соблюдения проектируемых опорных точек с нанесенными на планшет. Затем на экран вместо планшетика помещают фотобумагу, она экспонируется, проявляется и получается трансформированный снимок в нужном масштабе и без искажений.

Снимки с изображением горных районов трансформируются тяжело (раздельно, по высотным зонам). Щелевой фототрансформатор проецирует изображение по частям, полосам. Сканирует снимок.

Рельеф местности. Если сфотографированная местность не плоская, а расчлененная, то положительные формы рельефа, расположенные ближе к съемочной камере, изобразятся на снимке в более крупном масштабе, чем отрицательные. Таким образом, рельеф оказывает влияние на масштаб снимка.

Для вычисления масштаба $1/Mh$ изображения на снимке участков местности, имеющих превышения h относительно начальной плоскости, применяют формулу:

$1/Mh = 1/M * N / (N - h)$, где $1/M$ – масштаб изображения начальной плоскости.



Влияние рельефа выражается смещением точек I и II на снимке относительно их ортографического положения (на плоскости) I₀ и II₀.

Под величиной искажения за рельеф принимают отрезки I Io и II По, которые радиально направлены в одну точку снимка - точку надира n.

Точка надира – это точка пересечения плоскости снимка отвесной линией, проходящей через центр проекции.

На плановых горизонтальных снимках смещение изображения под влиянием рельефа или к точке надира n или от нее.

На радарных и тепловых снимках, сканированных в виде полос, смещение точек местности возникает в направлении, перпендикулярном трассе полета. Из-за этого вертикальные объекты (горы, деревья, холмы) на краях снимков видны сбоку и кажутся падающими.

Искажения вычисляются по формулам.

Часть снимка, в пределах которой ошибка из-за рельефа не превышает 0,2 мм, называется полезной площадью снимка.

В пределах полезной площади, если нет других искажений, снимок может быть принят за план, на котором формы плоских объектов не искажены, а размеры соизмеримы.

Вследствие влияния рельефа и углов наклона оптической оси возникают искажения направлений на снимках. На краях снимков эти искажения могут достигать нескольких градусов, но в пределах полезной площади искажения направлений малы и не учитываются.

Искажения из-за рельефа – очень трудная или вовсе невыполнимая задача. Используют дифференциальное трансформирование снимков ортофототрансформатором (с щелевым устройством) малыми участками. Получают ортоснимки. Из них по точкам геодезической основы монтируются фотопланы, которые дешифрируются и затем превращаются в карты.

Лекция № 5.

Стереоскопическая пара снимков.

Стереоскопическая модель местности.

Определение пространственного положения объектов и высот точек по стереопаре

Два снимка одного и того же участка, выполненные с 2-х разных точек (съёмочного базиса), позволяют получить объёмную модель местности. По паре снимков можно определить не только размеры плоских объектов, но также их высоты и превышения точек, иначе говоря, стереоскопическая пара снимков даёт трёхмерную характеристику съёмного объекта.

Человеческому зрению свойственно явление стереоскопического эффекта (или острота стереоскопического зрения 30") – получение объёмного изображения сфотографированной местности, впечатление глубины пространства = 0,002 мм.

Стереозэффект получают при одновременном рассматривании стереопары (при соответствующей установке снимков) отдельно двумя глазами (левого снимка – левым глазом, правого - правым).

При стереоскопическом рассматривании снимков пространственный образ или объёмная модель возникает через 2 – 20 сек, затем пластичность изображения усиливается. Стереозэффект после небольшой тренировки можно получить, наблюдая снимки невооружёнными глазами, но удобнее пользоваться стереоскопом, стереочками, другими стереоприборами, лупами.

Расстояние наилучшего зрения – 250—410 мм. Прямой, обратный стереозэффект.

Работая со стереопарой снимков, следует помнить о различиях вертикального и горизонтального масштабов наблюдаемой модели местности, из-за чего наблюдаемая модель деформируется. Часто рельеф

местности воспринимается утрированным, склоны кажутся круче, чем они есть.

Степень деформации объектов вычисляют так:

$$C = H(250)/f(70) = 250/70 = 3,5$$

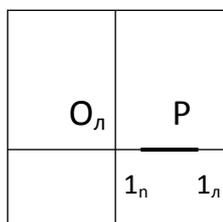
Определение пространственного положения и размеров объектов по стереопаре

При определении пространственного положения и размеров объекта по стереопаре снимков следует усвоить суть одного из основных понятий о параллаксе. Это отклонение – видимое изменение положения предмета вследствие перемещения глаз наблюдателя.

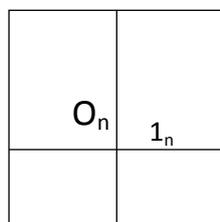
Физиологический параллакс – смещение на сетчатке глаза изображения точек (с углом конвергенции).

Если попытаться совместить два снимка стереопары, полученных с разных съемочных точек, то их изображения не совпадут.

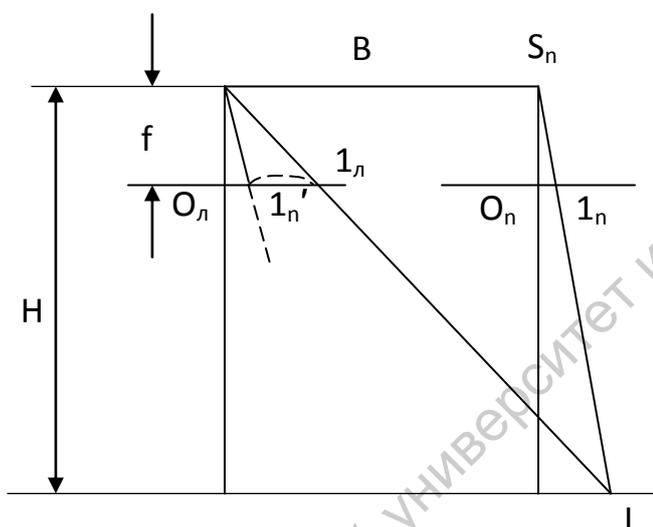
Под параллаксом понимается смещение соответственных точек при совмещении снимков, образующих стереопару. Или разность абсцисс 2-х изображений одной и той же точки на разных снимках.



B



$P = O_l 1_l - O_n 1_n$ –
продольный
параллакс



$$P = B * f / H = B / M$$

B – базис съемки

S – между главными точками

M – масштаб снимка в мм

Продольный параллакс равен базису фотографирования в масштабе изображения горизонтальной плоскости, в которой лежит данная точка. Точки, имеющие одинаковые продольные параллаксы, лежат на одной высоте. Меньший параллакс соответствует более низкой точке, больший – более высокой.

В практике географических исследований часто требуется определить высоту предмета или превышение между точками на местности. По величине продольного параллакса мы судим об абсолютном удалении объекта (высоте).

Измерение высот объектов производят по разностям параллаксов, и зависит от величины смещения точек изображения на стереоскопе и превышения между этими точками.

Продольным параллаксом называется разность абсцисс двух изображений одной и той же точки на разных снимках.

Величину превышения (или относительного удаления объекта) вычисляют по разности продольных горизонтальных параллаксов.

$$H = \Delta p * K \qquad K = H/b$$

Превышение между двумя точками h в натуре \equiv разности продольных параллаксов Δp между изображением этих точек на стереопаре снимков, умноженной на параллактический коэффициент.

Параллактический коэффициент K равен отношению высоты съемки H к базису съемки в масштабе снимка b .

Разность продольных горизонтальных параллаксов измеряют по снимкам на стереофотограмметрических приборах (параллактические линейки, пластины, параллаксометры, стереоскоп СПД).

Высоту съемки получают по данным радиовысотометра, фотовысотометра, стереовысотометра.

Базис съемки – расстояние между главными точками на снимках.

Ориентирование снимков

Приведенные выше понятия об определении пространственных координат точек и превышений справедливы только для идеального случая, для строго горизонтальных снимков и базиса. Однако, при съемках имеет место различный наклон АФА, искривления, что приводит к деформации стереомодели местности.

Выделяют элементы внутреннего, взаимного и внешнего ориентирования. Элементы внутреннего ориентирования – фокусное расстояние камеры и координаты главной точки на снимке. Они относятся к аэрофотоаппарату и определяют положение снимка относительно центра проектирования.

Элементы взаимного ориентирования определяют относительное положение снимков стереопары во время съемки по отношению к условно горизонтальному базису съемки. Таких элементов пять: продольные углы наклона и поворота отдельных снимков, их взаимный поперечный угол наклона. Выполнив взаимное ориентирование снимков, т. е. установив их относительно друг друга в положение, существовавшее во время съемки, получим модель, подобную местности, но наклоненную и произвольного (неизвестного) масштаба.

Элементы внешнего (геодезического) ориентирования определяют масштаб модели и ее положение относительно геодезической системы координат на местности. К семи элементам внешнего ориентирования относятся: три пространственные координаты центра проектирования, длина базиса фотографирования, углы наклона и поворота модели. В процессе внешнего ориентирования модель приводится к заданному масштабу, горизонтируется и ориентируется по азимуту.

Итак, для получения правильной неискаженной стереомодели местности необходимо знать 15 элементов ориентирования – это важнейшая задача фотограмметрии.

Наиболее сложно внешнее ориентирование. На практике обычно во время полета ведут измерения координат с помощью радиогеодезических систем (определяют положение носителя). Или для каждой стереопары определяют геодезические координаты.

При определении элементов ориентирования космических снимков часто принимают звезды, координаты которых получают из

астрономического ежегодника. Для съемки звездного неба на спутнике имеется специальная карта.

Таким образом, располагая стереопарой снимков, можно наблюдать стереомодель местности; но использовать ее для точных измерений можно тогда, когда будет проведено ориентирование снимков, обычно с помощью довольно сложных приборов.

Стереофотограмметрические приборы – это сложные оптико-механические устройства, и работать на них можно только с определенным профессиональным мастерством. Погрешности в измерениях допускаются – 0,01—0,002 до 0,001 мм. В простых приборах до 0,1 мм.

Приборы: линзово-зеркальный стереоскоп, стереоскопы «Карл Цейс» ГДР, увеличение ЛСЗ – $1,5^{\times}$, зеркальный – в $3,5^{\times}$.

Параллаксометр для определения превышений в поле. Точность – $\pm 0,05$ мм.

Интерпретоскоп – в 15^{\times} – учебный, очень хороший.

Стереокомпаратор – для измерения координат точек и параллаксов. ГДР, «Стеко - 1818».

Стереометры: топографический стереометр Ф.В. Дробышева – для рисовки горизонталей по плановым снимкам. Геологический стереометр – по снимкам вычисляются элементы залегания и мощности пластов горных пород.

Универсальные приборы – все виды фотограмметрической обработки (взаимное, внешнее ориентирования, определение пространственных координат точек, рисовка рельефа и контуров) – стереопроектор, стереограф, стереоавтограф, стереопланиграф, мультиплекс.

Наивысшая точность измерений получается на аналитическом стереоприборе, который состоит из стереокомпаратора, ЭВМ,

автоматического координатографа, соединенных между собой электрической связью.

В результате стереофотограмметрической обработки снимков получают трехмерную геометрическую характеристику местности в графической форме, в виде карты-плана и рельефом в горизонталях. Универсальные приборы позволяют строить профили местности по заданным направлениям.

С развитием вычислительной техники теперь широко применяются построения цифровых моделей местности, когда земная поверхность передается системой выбранных точек, для каждой из которых определяются три пространственные координаты. Затем в ЭВМ.

Лекция № 6.

Дешифрирование снимков

Все многообразие элементов ландшафта изображается на снимках точками, линиями, пятнами (ареалами) различного тона и размера.

Чем больше на снимке диапазон тоновых градаций и мелких деталей, тем выше его изобразительные свойства.

Аэрокосмические снимки имеют различную детальность, разрешающую способность – это воспроизведение мельчайших деталей, размеры которых на снимке измеряются десятymi и сотыми долями мм.

Разрешающая способность – число линий отдельно передаваемых на 1 мм изображения. Она зависит от объектива камеры, от пленки, от условий съемки.

Дешифрирование снимков – выявление, распознавание и определение характеристик объектов, изображенных на снимках.

Полнота и достоверность дешифрирования зависят от масштаба фотографирования, качества фотоизображения и его разрешающей способности.

Дешифрирование – это обнаружение опознавание и интерпретация исследуемых объектов земной поверхности, как изобразившихся, так и не изобразившихся на снимках, установление их качественных и количественных характеристик, а также выявление существующих между ними взаимосвязей и взаимообусловленностей.

Процесс дешифрирования основывается на основе использования системы прямых и косвенных дешифровочных признаков.

Дешифровочные признаки подразделяются на прямые и косвенные. К прямым относятся геометрическая форма, разрезы, фототон (цвет) изображенных на снимке объектов, их тени.

Форма объектов один из существенных признаков, но не решающий, т.к. некоторые генетически различные объекты могут иметь одинаковую форму. При изучении форм следует иметь ввиду следующую закономерность. Геометрически правильные формы обычно являются результатом деятельности человека. Криволинейные, неправильные контуры и линии чаще всего созданы силами природы.

Размер изображения уточняет сведения, получаемые в результате изучения форм объекта. Для определения размеров объекта необходимо знание масштаба снимка.

Фототон (цвет) изображения является дешифровочным признаком, который помогает разрешать трудности, возникающие вследствие того, что целый ряд объектов имеют одинаковую форму и размеры.

Особенно существенным признаком является фототон при дешифрировании многозональных, спектрзональных и цветных снимков. Контуры объектов имеют различную степень почернения на черно-белых

снимках и по-разному окрашены на цветных и спектральных снимках благодаря различию оптических характеристик предметов местности.

Тени бывают собственные и падающие.

Собственные – это результат различной освещенности выпуклых и вогнутых частей объектов (кроны деревьев, крыши домов, ямы, воронки).

Падающая тень позволяет судить о том, возвышается ли объект над местностью или он расположен ниже поверхности земли. Направление тени зависит от этого обстоятельства, а также от времени дня съемки. Форма падающей тени позволяет судить о форме объекта.

Кроме прямых признаков при дешифрировании полезно использовать косвенные дешифровочные признаки. К ним относятся геологические, геоморфологические, геоботанические, почвенные, зоогенные, антропогенные.

Использование геологических дешифровочных признаков основано на существующей в природе связи между геологическим строением и приуроченностью к нему тех или иных форм рельефа, определенных растительных сообществ, генетических типов почв, гидрологических объектов.

В свою очередь при геологическом, геоботаническом, почвенном дешифрировании часто используют геоморфологические косвенные признаки. Крепость пород и устойчивость их к процессам выветривания играют основную роль при формировании микроформ рельефа. Трещиноватость пород и рисунок речной и овражно-балочной сети, линейные повышения в рельефе.

Геоботанические косвенные признаки используются в связи с существованием природных взаимосвязей между почвообразующими породами, условиями экспозиции склонов, растительностью, определенными формами рельефа и геологическим строением. В Прибалтике – на песчаных

дюнах сосновые леса, крупные разломы в аридных областях подчеркиваются более густой растительностью, связанной с выходом грунтовых вод.

Зоогенные – мелкие формы рельефа, созданные жизнедеятельностью животных – сурчины, термитники – приуроченные к определенным отложениям.

В каждом районе могут быть свои специфические признаки, имеющие свои специфические черты.

При дешифрировании принимают во внимание также текстуру и структуру изображения.

Текстура – закономерное пространственное расположение компонентов ландшафта.

Текстура может быть цепочечной (ряды деревьев, ряды домов, ряды кучевых облаков), мозаичная (пятнистая тундра, огороды, пески лунковые и бугристые, следы уборки урожая), линейная (речная сеть, морозобойные трещины, арыки, каналы, дороги), сплошная полосчатая (геологические пласты, сады, виноградники, пахота). Этот признак довольно устойчивый, мало меняется от сезонных условий съемки, но, конечно, зависит от масштаба.

Различие текстур может являться основой для районирования территории.

Структура изображения определяется формами, размером и текстурой изображения. Она проявляется в изменении фототона, формы, размера и текстуры на разных участках снимка. Выделяют структуру геометрическую и тональную.

Многие косвенные признаки являются азональными.

Многозональные снимки требуют в основном инструментальной обработки, а сканерные рассчитаны на автоматизированную обработку.

Однако, во многих случаях можно использовать визуальную и визуально – инструментальную обработку.

На многозональных снимках появляется дополнительный дешифровочный признак, обусловленный различиями в фотографической плотности изображения объектов на серии снимков, полученных в разных зонах спектра. По серии зональных снимков для каждого объекта съемки получают набор плотности изображения, соотношения которых определяется спектральной яркостью этих объектов. Это и является дополнительным дешифровочным признаком.

Для определения фотографической плотности изображения объектов в качестве эталона используется шкала фотометрического клина, имеющая 6 ступеней плотности (от 1 до 6). Например, 2356.

Многозональные снимки широко используются в геологии, лесном мониторинге, в с/х, для изучения многолетней мерзлоты.

Виды дешифрирования, методы и оценка качества.

Дешифрирование бывает общегеографическим и специальное (тематическое)

Качественное и количественное.

Камеральное и полевое.

Эталонное дешифрирование. Эталоном служит типичное фотоизображение, которое характеризует всю совокупность изображений объектов данной территории при определенных технических и природных условиях съемки.

Эталоны бывают специальные и комплексные.

Качество произведенного дешифрирования определяется полнотой, достоверностью и точностью.

Полнота – это процент распознанных на снимке объектов от их общего количества на снимке.

Достоверность – это правильность использования того или иного фотоизображения.

Точность дешифрирования определяется в виде ошибок в опознавании и вычеркивании на снимке отдельных отдешифрируемых объектов и границ. Возникновение этих ошибок связано с геометрическими свойствами снимков и особенностями границ природного ландшафта.

Лекция № 7

Тематическое картографирование. Применение материалов дистанционного зондирования в метеорологии и океанологии

В географических исследованиях КС используются в основном для отраслевого тематического и комплексного системного картографирования в различных отраслях географии.

Метеорология и климатология – самая давняя пионерная область использования космической съемки. Уже с 60-х гг. на орбите работают метеорологические спутники, специально предназначенные для съемки облачного покрова.

Геостационарные спутники, дающие снимки через каждые 10—20 мин. И позволяющие изучать суточную динамику облачности, составляющие радиационного баланса системы Земля – атмосфера, и пространственное распределение облачности. Уже первые снимки обнаружили высокую упорядоченность облачных систем и атмосферных движений. Системы – циклонические, фронтальные, ячеистые.

Эти явления прекрасно выявились на снимках Земли межпланетных станций «Зонд-5». На них отчетливо прослеживаются глобальные особенности атмосферных процессов и хорошо различаются климатические пояса. Экваториальный пояс отличается очень слабой облачностью, она полностью отсутствует над сушей и мало развита в пределах северного и южного экваториальных течений.

В субтропическом поясе массивные облачные структуры над теплыми течениями Гольфстримом и Бразильским.

Умеренные широты характеризуются значительной облачностью и развитием циклонической циркуляции.

На снимках геостационарных спутников, выполняющих непрерывную съемку определенной зоны земной поверхности, хорошо прослеживаются фазы эволюции тропических циклонов и ураганов, помогая службе их предупреждения.

Телевизионные снимки с метеоспутников дают возможность составлять региональные и мировые карты распределения облачности для любых сроков. Это карты нефанализа – ежесуточные и осредненные по декадам, месяцам, сезонам, составляются с 1965 г. и используются для краткосрочных прогнозов.

Применяются автоматизированные способы классификации облачности по яркости и структуре изображения. Производится оценка скорости ветра, вертикальные движения в атмосфере.

Метеоинформация со спутников не исчерпывается данными об облачности и уходящей радиации. Цель некоторых спутников – сбор данных наблюдений. В малоисследованных районах суши и океана организована сеть автоматических станций, они снабжены датчиками для определения метеорологических параметров.

Сор спутников осуществляется 1 раз в сутки прием информации с каждой станции. Но это мало удовлетворяет задачам оперативного прогноза. Поэтому запускаются геостационарные спутники, зависающие над определенным районом земного шара. Они постоянно получают метеоданные по этому району для составления оперативных синоптических карт.

Океанология использует космическую съемку для решения широкого круга задач. Существуют специальные океанологические спутники «Нимбус», «Сисат», «НОАА-3». С помощью космических съемок утверждена концепция вихревой структуры океана. Программа «Океан».

Также применяются КС с метеорологических и ресурсных спутников для изучения глубин и рельефа дна мелководий, океанических течений, мутности вод, распространения твердого стока рек в морях и океанах, биологических запасов океана, волнения и ветров, температур водных масс, распространения морских льдов.

На цветных снимках хорошо отображается строение дна в прибрежной зоне с глубинами 20—40 м, отмели, банки, лагуны внутри

атоллов, изучение глубин и рельефа дна. Подводный рельеф из космоса виден лучше, чем при аэрофотосъемке. Хороший материал дает многозональная съемка, при которой на один и тот же участок получают серию снимков в разных спектральных диапазонах. Лучи разных спектральных диапазонов способны проникать в водную толщу на разную глубину – от нулевой для лучей ближнего ИК диапазона до 20—40 м для коротковолновых лучей голубой и зеленой части спектра.

Поэтому серия зональных снимков позволяет проводить послойный разноглубинный анализ донных объектов, дает разноглубинные срезы дна и водной толщи для батиметрического картографирования.

Картографируют подводные ландшафты, грунты, донную растительность.

СВ часть Каспийского моря (Сн. 16—20, 21—25). Донный рельеф.

Другое направление – изучение течений. Со спутников запускаются в воду серии специальных буев, которые перемещаются течениями. Спутник в течение определенного времени наблюдает за ними.

Иногда течения наблюдают по косвенным признакам дешифрирования – распределение облачности, по анализу выноса речных наносов. Используется ИК съемка – ИК снимки Атлантического океана со спутника НОАА-3, по которым удалось изучить Гольфстрим – с многочисленными меандрами, кольцевыми вихрями (океаническими циклонами), четко оконтурены его границы и температурные контрасты с водами холодного течения Лабрадор в Северной Атлантике.

По снимкам четко выделяются речные мутьевые потоки, распределение твердого стока рек при выносе его в море или внутренние водоемы. Мексиканский залив, оз. Онтарио, в СССР р. Кодори – в Черное море, р. Селенга – в Байкал (Сн. 26—34).

По снимкам ближней ИК зоны наблюдается концентрация хлорофилла, если она не превышает $0,1 \text{ мг/м}^3$.

Для изучения волнения применяются микроволновая съемка и RZ.

Определение t° водной поверхности по данным со спутников, выполняется с помощью инфракрасных радиометров, работающих в тепловом диапазоне спектра. На тепловом снимке холодные объекты передаются светлым фототонем, теплые – темным. Количественные данные о температуре получают с помощью калиброванной шкалы, где температурное разрешение 1—2 $^{\circ}$, а пространственное разрешение – в несколько км.

Составлены глобальные карты t° водной поверхности, зафиксированы температурные фронты, зоны подъема холодных вод – апвеллинги. В США составляются автоматические карты с НОАА.

КС позволяют количественно и качественно определять состояние ледового покрова морей и его изменения, даже в условиях полярной ночи. Кроме границ распространения льдов, снимки дают информацию об их структуре и состоянии. Так, изображение льда толщиной 5 см имеет почти черный тон, как и вода, 5—15 см – серый, 15—30 см – светло-серый, 30—70 см – почти белый, 70 см—3 м – белый фототон.

Оценка ледовой обстановки – жизненно важная проблема, особенно для работы транспорта. Разделение льдов разного типа проводят по анализу яркости изображения – автоматически. Получена картина распространения многолетних и однолетних морских льдов. Снимок Северного Ледовитого океана с «Нимбус-5».

Программа дальнейших океанологических исследований средствами космической техники предусматривает использование специальных океанологических спутников для решения задач: высокоточное определение t° водной поверхности, фронтов взаимодействия океана и атмосферы, колебаний уровня моря, течений, картографирование шельфа и береговых процессов, изучение топографии дна по цвету изображения моря, определение загрязнения морей и океанов промышленными и транспортными отходами, изучение биологической продуктивности океана.

Лекция № 8,9.

Дешифрирование различных типов рельефа на КС

На КС рельеф не находит достаточного полного отражения. Стереоскопически воспринимаются лишь формы предгорного и горного рельефа с амплитудами в несколько десятков – сотен метров. Однако хорошая передача различных индикаторов рельефа, главным образом, почвенно-растительного покрова позволяет изучать рельеф в морфолого-морфометрическом и генетическом отношениях.

Различные генетические типы рельефа имеют свои специфические дешифровочные признаки и индикаторы дешифрирования.

Флювиальный рельеф находит свое яркое отражение как в залесенных, так и в открытых районах. Речные долины в аридных районах изображаются на снимках в видимом диапазоне извилистыми полосами более темного тона, чем окружающие их пустыни и степи. Особенно резко выделяются долины с орошаемыми землями.

Сеть речных долин гумидных районов хорошо отражается благодаря интразональной растительности: луговой и лесной – в сухостепной зоне, болотной – в лесной.

Для залесенных горных районов характерно изображение светлой сети долин с незадернованными галечниковыми поймами на темном фоне лесной и луговой растительности.

На речных поймах прекрасно видны следы меандрирования, блуждания русел, формы рельефа поймы – гривы, старичные понижения. Хорошо выделяются разные возрастные типы пойм. Так, в долине Вилюя в районе Верхне-Вилюйска по КС «Союз-22» выделяют семь типов пойм. Свои характерные изображения имеют и террасы речных долин. Хорошо прослеживаются уступы.

Большие возможности имеются при изучении дельт крупных рек. Сравнивая разновременные снимки, хорошо выявляется динамика дельты. Например, дельта Дуная, Амударьи, Миссисипи.

По КС изучаются и древние флювиальные формы - древние эрозионные протоки и внутренние дельты на Приобском плато, которые не прослеживаются на АС.

Четко отражается вся система эрозионного расчленения в предгорьях Алтая на КС масштаба 1 : 2 000 000, эти снимки сопоставимы по полноте изображения эрозионной сети с топокартами 1 : 300 000 и 1 : 100 000.

Яркое изображение на КС находит эоловый рельеф, современный и древний. По снимкам выявляется зависимость ориентировки эоловых форм от режима ветров. По КС обнаружены цепи дюн – «сэфов» в Северной Америке и Аравии, протяженностью в 150—300 км. На Приобском плато ложбины древнего стока с сосновыми борами на песках. Анализ направления этих форм, часто не совпадающего с направлением самих ложбин, позволил поставить вопрос о пересмотре гипотезы эолового происхождения ложбин.

Имеются примеры дешифрирования направления пылепесчаных потоков над Аравией по сверхмелкомасштабным фотоснимкам с автоматической станции «Зонд-7». Пылепесчаные потоки обнаруживаются и с метеорологических спутников, что позволяет проследить их динамику в течение нескольких суток.

В некоторых случаях хорошо отображается на КС карстовый и просадочно-суффозионный рельеф на предгорных равнинах Западного Алтая по комплексам почвенного покрова.

На снимках горных территорий видны гравитационные формы – обвально-осыпные склоны, делювиальные шлейфы, отдельные осыпные конусы выноса на крупномасштабных КС.

Распознаются троговые долины с их параллельными «плечами» на склонах, конечные морены, ледниковые озера. Четко изображается конечно-моренный рельеф на Русской равнине – на сканерных снимках «Метеор».

Береговые формы рельефа – абразионные берега, характеризуются разностью береговых линий, часто обусловленных тектонически. Аккумулятивные берега с их плавными формами. Прослеживаются узкие

светлые полосы песчаных пляжей и кос, лагуны, отчлененные барами. Четко выделяются и древние береговые линии. Например, КС на северо-восточном побережье Каспия 1976, 1973 гг. По ним определена береговая линия 1940 и 1929 гг. На снимках залива Кара-Богаз-Гол хорошо различаются по тону и текстуре изображения стадии формирования современной морской солевой равнины, площадь осушки северной части залива.

Результативно дешифрирование структурно-тектонического рельефа, связанного с эндогенными процессами. Привлечение КС целесообразно для геоморфологического картографирования в средних масштабах.

КС полезны для составления и таких карт, как орографических, морфометрических, карт густоты расчленения рельефа.

Снега и льды. Космическая съемка открыла возможность одновременно фиксировать на значительных территориях границы распространения снежного покрова и изучения его динамики для оперативного картографирования в целях гидрологического прогноза.

Для изучения снежного покрова используются, главным образом, телевизионные снимки с метеоспутников.

Трудно картографируется снежный покров на равнинах в залесенных районах – малая яркость изображения. Ориентируются на заснеженность небольших безлесных участков внутри лесных массивов – болот, вырубок, долин рек, озер.

Границы снежного покрова в горных районах опознаются хорошо благодаря характерному для них дендритовому рисунку.

Разработана и действует система автоматического картографирования границ снежного покрова по снимкам со спутника ЭССА. Автоматически составляются фотокарты, по которым изучается сезонная и годовая динамика снежного покрова в глобальном масштабе.

Для гидрологических прогнозов – определения водозапаса. Используются многозональные снимки в видимой и ближней инфракрасных зонах спектра.

По фотоснимкам из космоса изучается и лавинная опасность. Дешифрируются следы схода лавин, снежные мосты на реках, прочесы среди лесной растительности на склонах. При благоприятных сроках съемки сеть лавинных логов определяется с полнотой порядка 70%. Составляют карты лавинной опасности. По снимкам можно судить о типах лавин, их возможных объемах, о режиме схода лавин.

По снимкам изучается также горное и покровное (долинное) оледенения. На фотоснимках 1 : 2 000 000 видны границы ледников, их площади, морфологические типы, зоны крупных ледопадов, моренные гряды.

Создан Атлас снежно-ледовых ресурсов мира. Съемка в разных спектральных диапазонах дает возможность разделять изображение снега и льда и следить за динамикой снеговой линии на леднике.

По КС изучаются и пульсирующие ледники. Выявлены их дешифровочные признаки: моренные петли, потемнение конца ледника во время подвижки в связи с уменьшением альбедо сильно разбитой трещинами поверхности. Используя повторные снимки, определяют величину перемещения языка, прогнозируют их подвижки. Однако, детальные наблюдения за пульсирующими ледниками требует фотографических съемок высокого качества. Ледник Медвежий.

Снимки со спутников используются для изучения покровного оледенения – антарктического. Советскими антарктическими экспедициями организован прием информации с метеоспутников. Снимки с «Ландсат» использовались для составления фотокарт масштаба 1 : 250 000. Выявлены изменения в положении краев шельфовых и выводных ледников, динамика береговой линии Антарктиды. Использовались фотоснимки в видимом и ближнем инфракрасном диапазоне.

Для Антарктиды и Гренландии применялась микроволновая радиометрическая съемка со спутника «Нимбус-5». В результате была получена различная картина микроволнового излучения, что может быть связано с разными процессами метаморфизма снега и образования льда.

Воды. Гидросеть хорошо отражается на КС. Реки и озера, береговая линия служат основными ориентирами при пространственной привязке снимков. Четкое изображение гидрографических объектов дает возможность картографировать сеть водотоков и водоемов.

По снимкам решаются такие вопросы, как гидрологическое моделирование, прогноз стока и связанные с ним вопросы снежной гидрологии, наблюдения за катастрофическими наводнениями и борьба с ними, изучение глобального водообмена.

По КС определяются характеристики водосборов, заозеренность, заболоченность, лесистость, распаханность.

Выполнено определение заснеженности водосборов в горах Средней Азии, для прогнозов стока Амударьи, Сырдарьи, в горном Алтае для Оби, а также бассейнов Волги и Дона.

Со спутника «Ландсат» осуществлялся контроль за наводнениями Миссисипи с оперативным составлением карт зоны затопления, которые потом использовались при борьбе с последствиями наводнения.

При изучении озер и замкнутых водоемов КС, особенно многозональные, полезны для исследования качества и загрязнения вод – их мутности, зарастания, распространения материала, выносимого реками и промышленными предприятиями.

Так, по многозональным снимкам с «Союза-22» исследовано распространение твердого стока Селенги в оз. Байкал, установлено повышение концентрации выносимых взвесей в глубинных слоях, их быстрое затопление и перемещение на глубине, что представляло опасность для глубинной фауны. Исследования мутности озерных вод и содержание в них хлорофилла проведены в США на примере оз. Окичоби во Флориде, Великих озер.

Машинная обработка снимков завершалась созданием карт мутности вод, растительности, содержания хлорофилла.

Гидрология, подобно комплексу наук о Земле, нуждается в исследованиях процессов глобального водообмена, которые формируют региональные процессы. Большие возможности в этом направлении дают материалы со спутников о взаимодействии атмосферы и гидросферы.

Ландшафты. Поскольку на КС одновременно изображаются все компоненты природной среды, они представляют особый интерес для ландшафтоведения. Очень важно изучение по КС ландшафтов, как индикаторов других черт и свойств природы.

Первым примером использования КС для ландшафтоведения является дешифрирование снимков Земли космической станции «Зонд-5», по которым были составлены схемы типов ландшафтов Северной Африки. Была выявлена очень хорошая дешифрируемость типов песчаных пустынь даже на мелкомасштабных картах.

Более крупномасштабные КС фотосъемки скрадывают черты ландшафтов фациального уровня и отражают отличия их строения на уровне урочищ и местностей. По КС вместе с морфологией ландшафтов дешифрируется и динамическое состояние – определяется остепненность лесов и пойменных лугов, стравленность пастбищ, эродированность пахотных земель (Алтай). Установление динамической фазы, в которой находится природный комплекс, необходимо для выработки рекомендаций по рациональному использованию земель и их мелиорации.

Динамика ландшафтов анализируется по разновременным снимкам и по изданным ранее картам. Например, с «Ландсат» территория Прибалхашья сравнивалась с картами 30-летней давности. Выяснилось увеличение засоленности территории, связанное с трансгрессией моря и подъемом уровня грунтовых вод.

Мелкомасштабное ландшафтное картографирование. Снимки с орбитальной станции «Салют», космического корабля «Союз-22», «Ландсат» масштаба 1 : 2 000 000 можно использовать для составления ландшафтных

карт 1 : 300 000. И эти карты отличаются большей точностью и подробностью от ранее составленных.

Составляются специализированные эволюционно-динамические ландшафтные карты. Широкие перспективы и в физико-географическом районировании.

Интегрированное космическое фотоизображение географической оболочки позволяет традиционный покомпонентный подход (к выявлению регионов) дополнить геокомплексным.

Антропогенное воздействие на природную среду. Многие виды антропогенного воздействия хорошо передаются на снимках. Четко отражаются: эродированность почв, формы водной и ветровой эрозии, сбитость пастбищ, нарушение лесной растительности – вырубки, гари, лесные пожары; распаханность земель, карьеры и горные выработки, застроенность территорий.

Проявляются на снимках и формы благотворного воздействия человека на природную среду – лесополосы, оросительные системы, противозерозионные севообороты, полосные посевы, полевые севообороты: паро-зерновые, зерно-пропашные, травопольные и др.

КС выполняют и ревизионную роль при контроле за отрицательным антропогенным воздействием и за мероприятиями по восстановлению природных богатств, в частности, по рекультивации земель, лесовозобновлению.

Но особо необходимо использовать КС для изучения загрязнения вод и воздуха, оперативные съемки должны облегчить регулярный контроль за этими видами загрязнений. На снимках хорошо видны дымовые факелы с высокой концентрацией частиц. Выделяются по светлому фототону, характерному вытянутому контуру, ориентированному по направлению ветра. Эти факелы полностью маскируют детали поверхности и дают далеко отброшенную тень.

Крупные дымовые факелы и шлейфы хорошо видны на обзорных снимках с метеоспутников. Кроме этого хорошо видна зона общего задымления и загрязнения атмосферы над крупными городами и промышленными районами. Однако, определить концентрацию и качественное состояние загрязнения воздуха по снимкам очень сложно. Исследователи ищут оптимальные методы съемки.

Загрязнение вод на КС. Хорошо заметно вдольбереговое перемещение речных наносов и прибрежная полоса вод повышенной мутности. Обнаруживаются пункты сброса загрязненных вод промышленных предприятий.

Однако, определить тип загрязнения – тепловой, химический минеральный, нефтяной, а также качественный и количественный состав – очень сложно. Ведется поиск таких методик.

При изучении водных и атмосферных загрязнений эффективна тепловая съемка, основанная на фиксировании тепловых аномалий. Повышение t° вод может быть вызвано биохимическими реакциями (сброс канализационных вод, сброс вод энергосистем). Нефтяные пленки тоже могут отличаться по t° от окружающей водной поверхности.

Этот метод совершенствуется.

Литература

5.Смирнов Л.Е. Аэрокосмические методы географических исследований. Изд. ЛГУ. Л.,1975.

2.Брюханов А.В., Господинов Г.Б., Книжников Ю.Ф. Аэрокосмические методы в географических исследованиях. Изд. Моск. ун-та, М., 1982.

4. Книжников Ю.Ф. Аэрометоды в географических исследованиях. Изд. географ.ф-та МГУ, М., 1972.

1. Богомоллов Л.А. Дешифрирование аэроснимков. Недра, М.: 1976.

3.Виноградов Б.В. Аэрокосмический мониторинг экосистем. М.: Наука, 1984.

Дополнительная

Виноградов Б.В. Космические методы изучения природной среды. Мысль. 1976.

Космические исследования земных ресурсов. Сб. АН СССР. Наука. М.: 1976.

Кравцова В.Н. Космическое картографирование. Изд. МГУ. М.: 1977.

Рис.4. Основы дистанционного зондирования. 2011

Чандра А.М. Дистанционное зондирование и географические информационные системы. 2011.

Шовенгердт Р.А. Дистанционное зондирование. Методы и модели обработки изображений.