

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования «Витебский государственный
университет имени П.М. Машерова»
Кафедра экологии и географии

ДИСТАНЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ ГЕОСИСТЕМ

*Методические рекомендации
к выполнению практических работ*

*Витебск
ВГУ имени П.М. Машерова
2024*

УДК 911.2:528.7(076.5)
ББК 26.821я73+26.113.4я73
Д48

Печатается по решению научно-методического совета учреждения образования «Витебский государственный университет имени П.М. Машерова». Протокол № 3 от 29.02.2024.

Составитель: доцент кафедры экологии и географии ВГУ имени П.М. Машерова **Г.И. Пиловец**

Р е ц е н з е н т :
проректор по учебной работе ВГУ имени П.М. Машерова,
кандидат географических наук, доцент *М.Ю. Бобрик*

Д48 **Дистанционный мониторинг геосистем : методические рекомендации к выполнению практических работ / сост. Г.И. Пиловец. – Витебск : ВГУ имени П.М. Машерова, 2024. – 73 с.**

Методические рекомендации по дисциплине «Дистанционный мониторинг геосистем» содержат теоретические материалы и задания к практическим работам, способствующие углублению, расширению и закреплению теоретических знаний магистрантов по наиболее важным разделам курса, приобретению навыков самостоятельной работы с материалами аэрокосмических съемок.

Предназначены для магистрантов географических специальностей.

УДК 911.2:528.7(076.5)
ББК 26.821я73+26.113.4я73

© ВГУ имени П.М. Машерова, 2024

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
ТЕМА 1. Физические основы дистанционных методов	5
ТЕМА 2. Обзор современных спутниковых систем и технологий, используемых при дистанционном мониторинге геосистем	23
ТЕМА 3. Тематическая обработка и направления использования данных дистанционного зондирования земли, используемых при дистанционном мониторинге геосистем	42
ТЕМА 4. Современные тенденции организации и ведения дистанционного мониторинга геосистем	59
ТЕМА 5. Геоэкосистемный мониторинг	62
ЛИТЕРАТУРА	71

ВВЕДЕНИЕ

Дистанционное зондирование представляет собой процесс, посредством которого собирается информация об объекте, территории или явлении без непосредственного контакта с ним. К дистанционному зондированию относят все виды неконтактных съемок, которые проводятся с различных измерительных платформ: летательных воздушных и космических аппаратов (самолетов, вертолетов, космических кораблей, спутников и т.д.), судов и подводных лодок, наземных станций.

В настоящее время особое значение приобретают космическая съемка земной поверхности. Космическая съемка производится с космических кораблей, спутников, беспилотных летательных аппаратов. Космические системы базируются на длительной работе регулярно пополняемых группировок спутников – спутниковых систем, которые включают сложную инфраструктуру, обеспечивающую функционирование космических аппаратов на орбите, прием информации, ее хранение и распространение. Благодаря своим свойствам космические снимки находят широкое применение как в практической, так и в научной сферах. Материалы исследований Земли из космоса широко используют в науках о Земле. Космическую съемку применяют в исследованиях, направленных на всестороннее изучение природных ресурсов, динамики природных явлений, в задачах охраны окружающей среды. По космическим снимкам возможно изучение основных структурных особенностей атмосферы, литосферы, гидросферы, биосферы и ландшафтов регионального, зонального и глобального масштаба.

Целью изучения дисциплины «Дистанционный мониторинг геосистем» является получение студентами знаний о принципах построения систем дистанционного зондирования Земли, принципах и методах первичной обработки материалов, полученных по результатам дистанционного зондирования Земли.

Задачи учебной дисциплины: изучение физических основ дистанционного зондирования Земли; изучение различных компонентов природных геосистем (почвенного покрова, растительного покрова, литологии, подземных вод, глубинного строения) в мониторинговом режиме.

Учебная дисциплина «Дистанционный мониторинг геосистем» относится к компоненту учреждения образования модуля «Геоинформационное моделирование и картографирование». Освоение данной дисциплины должно обеспечить формирование компетенций: анализировать, верифицировать, визуализировать информацию с аэрокосмических снимков для ведения дистанционного мониторинга геосистем.

В результате изучения учебной дисциплины магистрант должен знать основные методы, этапы и программно-технические средства обработки информации, полученной по результатам дистанционного зондирования Земли; уметь: выполнять тематическое дешифрирование аэрокосмических снимков; использовать прямые и косвенные дешифровочные признаки качественных и количественных изменений геосистем; анализировать и оценивать динамику произошедших изменений различных компонентов геосистем произошедших за период между съемками; применять современные методики и технологии составления различных тематических карт с использованием геоинформационных систем, интегрированных с данными дистанционного зондирования; применять современные технологии использования мобильных устройств при получении и обработке различных данных дистанционного зондирования Земли, получаемых из открытых источников; владеть: специализированными умениями анализа материалов, полученных по результатам дистанционного зондирования, навыками выполнения тематического дешифрирования для создания и обновления тематических карт различного содержания и решения различных прикладных задач дистанционного мониторинга.

ТЕМА 1. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ДИСТАНЦИОННЫХ МЕТОДОВ

Теоретический материал

1. Электромагнитное излучение.
2. Взаимодействие электромагнитного излучения с атмосферой.
3. Взаимодействие излучения с поверхностью Земли.
4. Оптические характеристики объектов.

1. Электромагнитное излучение. Принцип дистанционных методов основан на интерпретации результатов измерения электромагнитного излучения, которое отражается либо излучается объектом и регистрируется в некоторой удаленной от него точке пространства. Электромагнитное излучение – это распространяющееся в пространстве возмущение электрических и магнитных полей (рисунок 1). Электромагнитное излучение проявляется и как свет, который мы видим, и как тепло, которое мы ощущаем, и как радиоволны, которые принимают наши радио- и телевизионные приемники. Скорость распространения электромагнитного излучения равна скорости света $c_0 = 2,998 \cdot 10^8$ м/с.

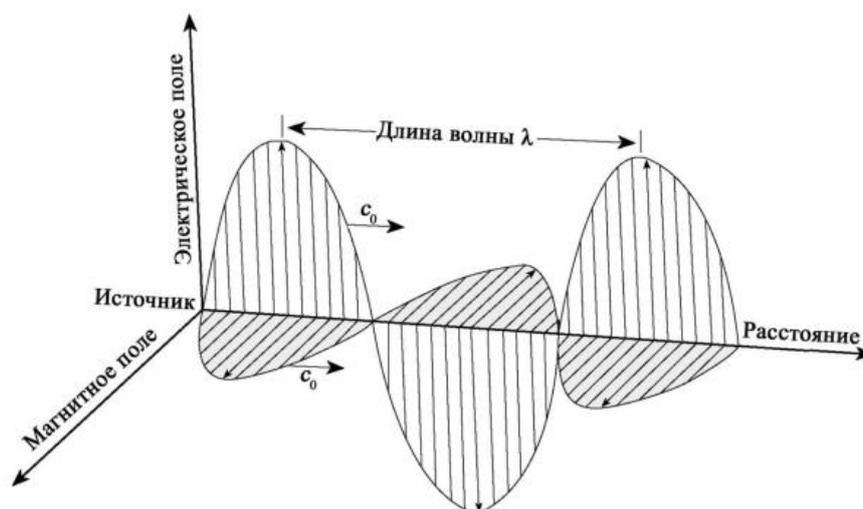


Рисунок 1 – Электромагнитное излучение [Campell, 1996]

Электромагнитное излучение характеризуется двумя взаимосвязанными величинами – длиной волны и частотой. Длина волны – это расстояние между двумя последовательными волновыми гребнями. Длины волн в диапазоне, используемом для дистанционного зондирования, обычно измеряются в нанометрах (нм, 10^{-9} м), в микрометрах (мкм, 10^{-6} м) или в сантиметрах (см, 10^{-2} м). Частота измеряется в герцах (Гц). Обычно сравнительно короткие длины волн (меньше сантиметра) характеризуют длиной волны, а более длинные – частотой. Связь между длиной волны и частотой определяется формулой:

$$\lambda = \frac{c_0}{\nu}$$

Таким образом, чем короче длина волны, тем больше частота, и наоборот, чем меньше частота, тем больше длина волны.

Сочетание всех возможных длин волн принято называть *электромагнитным спектром*. В спектре электромагнитного излучения выделяются следующие диапазоны: γ -диапазон, рентгеновский, ультрафиолетовый, видимый, инфракрасный, радиодиапазон (рисунок 2). Некоторые из этих диапазонов в свою очередь подразделяются на поддиапазоны.

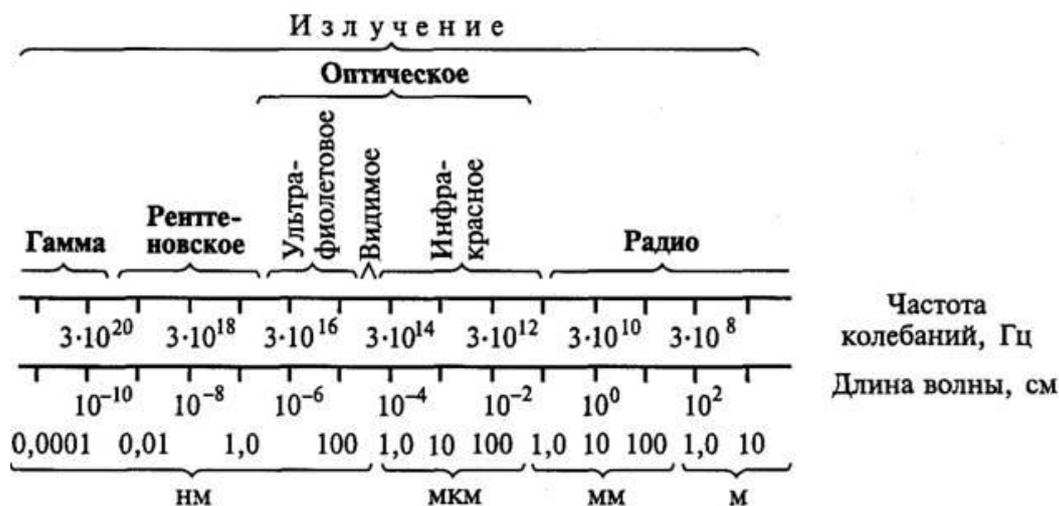


Рисунок 2 – Спектр электромагнитного излучения

Длина пробега гамма-лучей ($\lambda < 0,01$ нм) в разных средах: в воздухе – около 1 км, в воде – несколько метров, в горных породах – менее 1 метра. Космическое гамма-излучение очень сильно поглощается атмосферными компонентами и до поверхности Земли не проникает.

Космическое рентгеновское излучение ($\lambda = 0,01-1,0$ нм) активно поглощается в атмосфере уже на высотах порядка 100 км и выше. До поверхности Земли космические рентгеновские лучи не проникают.

Ультрафиолетовые волны ($\lambda = 1,0$ до 100 нм) очень сильно поглощаются озоном и другими компонентами атмосферы.

Видимый диапазон ($\lambda = 0,38$ до 0,73 мкм) делят на семь цветовых зон: фиолетовый, синий, голубой, зеленый, желтый, оранжевый, красный.

Диапазон инфракрасного излучения разделяют на поддиапазоны: ближний ($\lambda = 800$ нм - 1,3 мкм); средний ($\lambda = 1,3-3$ мкм); дальний ($\lambda = 3-1000$ мкм). В ближнем и среднем поддиапазонах преобладает отраженное (солнечное) излучение, а в дальнем, называемом тепловым, – собственное излучение Земли.

Радиоволны ($\lambda > 1000$ мкм или $\lambda > 1$ мм) условно делят на ультракороткие, короткие, средние, длинные и сверхдлинные. Ультракороткие радиоволны ($\lambda = 1$ мм – 10 000 мм) разбивают на следующие диапазоны: миллиметровые волны, сантиметровые волны, дециметровые волны, метровые волны.

Сантиметровые и дециметровые волны часто объединяют в диапазон сверхвысоких частот, в котором выделяют участки, обозначаемые латинскими буквами К, Х, С, S, L, Р. В этих участках работает различная радиоэлектронная аппаратура спутников, каждая на строго фиксированных международными соглашениями длинах волн (или частот). Например, передачу видеoinформации со спутников на наземные пункты приема наиболее часто производят по радиоканалам в так называемых Х- и S-диапазонах на длинах волн соответственно 3 и 11 см, а L-диапазон (длина волны 22 см) отведен для глобальных систем спутникового позиционирования – российской ГЛОНАСС (Глобальная навигационная спутниковая система) и американской GPS (Global Positioning System).

Человеческий глаз может воспринимать очень малую часть электромагнитного излучения, которую принято называть видимым диапазоном электромагнитного спектра, который находится в интервале от 0,38 до 0,73 мкм. Большая часть электромагнитного спектра человеческим глазом не воспринимается, но иногда излучение, не видимое глазом, может ощущаться другими органами чувств человека. Например, инфракрасное излучение воспринимается кожей человека как тепло.

Приборы дистанционного зондирования, сенсоры, могут принимать излучение в существенно более широком диапазоне электромагнитного спектра и, таким образом, предоставлять колоссальные объемы информации о состоянии окружающей среды. Большинство современных аэрокосмических методов основано на использовании оптических и ультракоротких радиоволн с длиной от 0,3 мкм до 3 м: ультрафиолетовых, видимых, инфракрасных, ультракоротких радиоволн. В дистанционном зондировании Земли (ДЗЗ) используются длины волн оптического диапазона (0,30-15 мкм) и радиоволновая область спектра (0,8-100 см). Выбор этих длин волн для использования в ДЗЗ в основном обусловлен тем, что электромагнитная энергия в оптическом диапазоне может отражаться и преломляться твердыми телами – зеркалами, линзами, которые изготавливаются с жесткими допусками. Область 0,38-3,0 мкм – отражательная часть спектра. Энергия, улавливаемая на этих длинах волн, – это отраженное от земных объектов излучение Солнца. Область 3,0-15,0 мкм – это излучающая область спектра, т.е. обусловленная собственным излучением объектов. Основная проблема в этой связи состоит в создании таких алгоритмов обработки спутниковых данных, которые позволили бы извлечь из данных заложенную в них информацию.

По отношению к источнику энергии все дистанционные методы можно разделить на *пассивные* и *активные*. При использовании активных методов спутник посылает на Землю сигнал собственного источника энергии (лазера, радиолокационного передатчика и т.д.) и регистрирует его отражение. Чаще используются пассивные методы дистанционного зондирования, которые основаны на регистрации, отраженной от поверхности объектов солнечной энергии или на регистрации собственного электромагнитного излучения участков поверхности (рисунок 3).

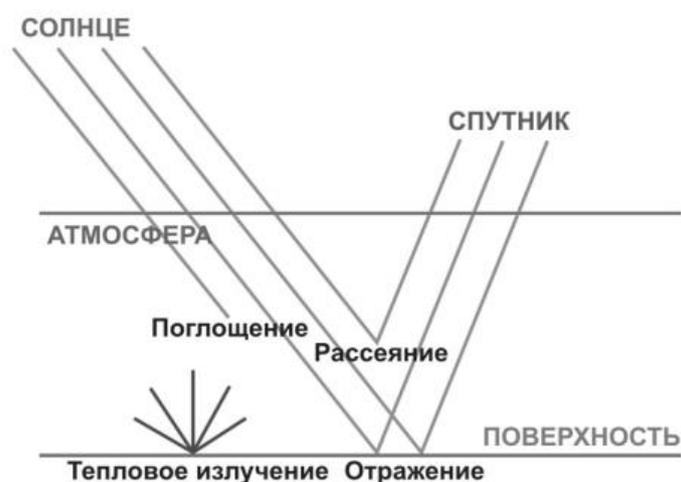


Рисунок 3 – Трансформации электромагнитного излучения в дистанционном зондировании

Отраженное излучение несет информацию о свойствах участка подстилающей поверхности, на котором произошло отражение. Это излучение собирается приемной системой спутника, трансформируется в электрический сигнал и передается на Землю

для дальнейшей обработки. Отраженный сигнал на пути к приемной системе спутника поглощается и рассеивается атмосферой, а рассеянное излучение собирается приемной системой вместе с отраженным. Это существенно затрудняет интерпретацию полученной информации. Вместе с тем следует учитывать, кроме Солнца, другие источники излучения – подстилающую поверхность и атмосферу. В видимой области спектра вклад этих источников излучения незначителен, но уже в инфракрасной (ИК) области спектра его приходится учитывать

На волнах длиной более 4 мкм собственное тепловое излучение Земли превосходит излучение Солнца. Регистрируя интенсивность теплового излучения Земли из космоса, можно достаточно точно оценить температуру суши и водной поверхности. Измерив температуру верхней границы облачности, можно определить ее высоту, если учесть, что в тропосфере с высотой температура уменьшается в среднем на 6,5 К/км.

При пассивном дистанционном зондировании Земли (ДЗЗ) из космоса используется участок электромагнитного спектра в диапазоне длин волн от 0,25 мкм до 1 м. Этот широкий участок спектра принято подразделять на ряд диапазонов:

- 0,25-0,4 мкм – ультрафиолетовый диапазон;
- 0,4-0,7 мкм – видимый диапазон;
- 0,7-1,3 мкм – ближний инфракрасный диапазон;
- 1,3-3 мкм – средний инфракрасный диапазон;
- 3-1 000 мкм – дальний, или тепловой инфракрасный диапазон;
- 1 000 мкм -1 м – миллиметровый и микроволновый участки радиодиапазона.

Последний диапазон используют в пассивных СВЧ (сверхвысокочастотных) системах дистанционного контроля, остальные – в пассивных оптико-электронных и оптико-механических системах.

2. Взаимодействие электромагнитного излучения с атмосферой. Электромагнитное излучение, прежде чем попасть в регистрирующий прибор, расположенный на некоторой высоте над земной поверхностью, проходит сквозь атмосферу, которая является основным источником помех и искажений при изучении земной поверхности и которую называют *ахиллесовой пятой* космического зондирования в оптическом диапазоне. Даже маломощные облака блокируют все оптическое излучение. Только радиоволны длиной свыше 2 см беспрепятственно проходят сквозь облачный покров. Но даже проходя сквозь безоблачную атмосферу, электромагнитное излучение испытывает рефракцию (искривление лучей), связанную с изменением коэффициента преломления в разных слоях атмосферы, что обусловлено их различной плотностью, температурой, влажностью.

Основной проблемой количественной интерпретации данных дистанционного зондирования, полученных в оптическом диапазоне, является адекватный учет трансформации проходящего сквозь атмосферу излучения, или так называемой атмосферной коррекции. При прохождении через атмосферу электромагнитные волны поглощаются и рассеиваются, вследствие чего происходит ослабление излучения.

Поглощение – основной механизм взаимодействия электромагнитного излучения с атмосферой. Установлено, что лишь 13 % энергии, излучаемой поверхностью Земли в инфракрасном диапазоне, достигает верхней границы атмосферы, остальная энергия поглощается в атмосфере. Спектр солнечного излучения до и после его прохождения через атмосферу Земли показаны на рисунке 4. Из рисунка видно, что кривая интенсивности солнечного излучения до его прохождения через атмосферу в достаточной степени соответствует кривой интенсивности излучения абсолютно черного тела при температуре 5900 К. Сравнивая первую кривую с кривой, полученной вблизи поверхности Земли, можно выделить области относительно низких значений, соответствующие окнам поглощения различных атмосферных газов.

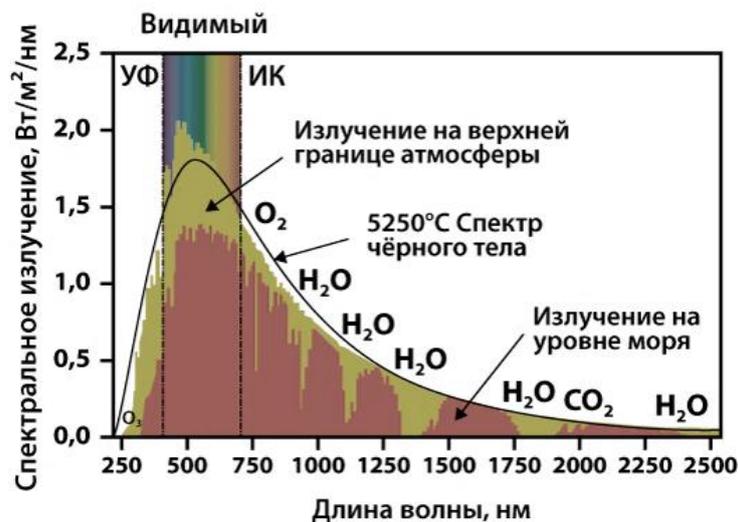


Рисунок 4 – График зависимости мощности солнечного излучения (в ваттах на квадратный метр) от длины волны

Поглощение полностью обусловлено присутствием в атмосфере молекул, способных поглощать энергию в различных диапазонах спектра. Озон, кислород, углекислый газ и водяной пар – четыре компонента атмосферы, которые в основном ответственны за поглощение излучения. В некоторых случаях поглощающие молекулы остаются практически неизменными после взаимодействия с излучением, но в других случаях молекулы меняются, теряя, например, часть своих атомов.

Молекулы кислорода в верхних слоях атмосферы поглощают излучение в рентгеновской области спектра и коротковолновое (до 0,3 мкм) ультрафиолетовое излучение. Такое излучение является чрезвычайно вредным для жизни на планете, так как может воздействовать на клетки живых организмов, вызывая мутации и тому подобные нежелательные явления. Молекулы кислорода в этом процессе распадаются на отдельные атомы кислорода. Этот процесс происходит в самых высоких слоях, которые при этом обогащаются активными атомами кислорода. В более низких слоях атмосферы, до которых жесткое коротковолновое излучение доходит уже сильно ослабленным, отдельные атомы кислорода могут объединяться с молекулами кислорода и формировать, таким образом, молекулы озона.

Озон поглощает излучение в средней части ультрафиолетовой области спектра, защищая нас от того вредного излучения, которое осталось не поглощенным молекулами кислорода в более высоких слоях атмосферы. После поглощения излучения молекула озона распадается на атом кислорода и молекулу кислорода, но атом кислорода обычно повторно объединяется с другой молекулой кислорода, создавая при этом новую молекулу озона.

Углекислый газ часто упоминается как один из парниковых газов. Парниковые газы пропускают электромагнитное излучение в видимой области спектра, но интенсивно поглощают излучение в инфракрасной области, что, во-первых, приводит к некоторому повышению температуры атмосферы, а во-вторых, к возвращению части поглощенного излучения обратно к поверхности Земли.

Водяной пар – атмосферный газ, который сильно поглощает излучение в инфракрасной области электромагнитного спектра (между 1,0 и 22,0 мкм). Наиболее высокая концентрация водяного пара наблюдается в нижних слоях атмосферы, причем эта концентрация сильно меняется от места к месту и от одного времени года к другому. Например,

воздушная масса над пустыней содержит очень небольшое количество водяного пара, в то время как во влажных тропиках наблюдаются достаточно высокие его концентрации.

Все упомянутые атмосферные газы поглощают электромагнитную энергию в определенных областях спектра, и это определяет, какие части электромагнитного спектра мы можем использовать для целей дистанционного зондирования, а какие нет. На рисунке 5 представлен спектр пропускания атмосферы в зависимости от длины волны. Например, атмосфера почти непрозрачна к электромагнитному излучению в большей части инфракрасной области спектра. Те области, в которых поглощение не столь существенно, называются «окнами прозрачности». Большинство инструментов дистанционного зондирования принимают излучение в одном или в нескольких окнах прозрачности. Такие инструменты ориентированы на исследование подстилающей поверхности.

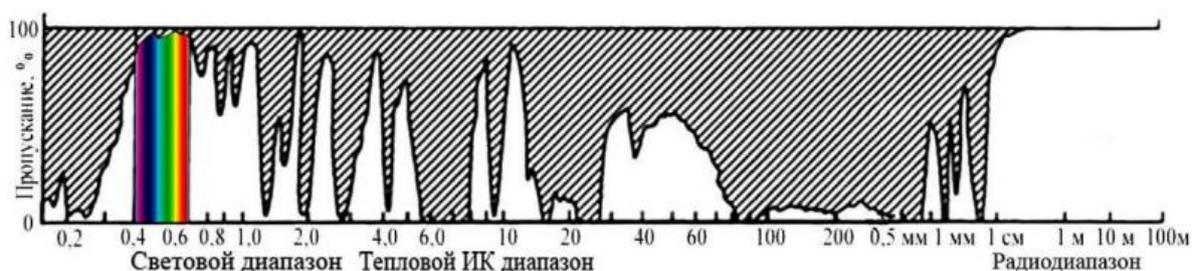


Рисунок 5 – Спектр пропускания атмосферы

Окна прозрачности атмосферы – участки спектра электромагнитных волн, для которых пропускание атмосферы достаточно велико. Окна прозрачности: 1) «большое окно»: 0,3-1,3 мкм (видимый диапазон); 2) 1,5-1,8 мкм (инфракрасный диапазон); 3) 2,0-2,6 мкм (инфракрасный диапазон); 4) 7,0-15,0 мкм (тепловой инфракрасный диапазон); 5) 0,5 мм и более 10 м (микроволновый и радиодиапазон – наибольшая прозрачность).

В инфракрасном диапазоне спектра пропускания можно выделить два «окна прозрачности», где коэффициент пропускания близок к 90% (3,4-4,2 мкм) или 60-80% (8,0-12,5 мкм). Именно в этих спектральных зонах расположены рабочие каналы инфракрасных радиометров. Диапазон 3,4-4,2 мкм имеет ограниченную применимость по сравнению с другими диапазонами (используется в основном в ночное время), так как в этой спектральной зоне большое влияние на информационный сигнал оказывает отраженное солнечное излучение.

Причем даже при использовании «окон прозрачности» атмосфера значительно трансформирует инфракрасное излучение подстилающей поверхности. Атмосферная дымка (эффект рассеивания лучей) наиболее сильно проявляется в синей, голубой зонах спектра (0,38-0,5 мкм). Она снижает контраст изображения, искажает цвет объектов. Поэтому в современном дистанционном зондировании при съемке поверхности Земли голубой диапазон не используется.

Регистрирующий прибор, который находится над земной поверхностью, фиксирует суммарное излучение, которое складывается из излучения исследуемого объекта и излучения нижележащего атмосферного слоя.

Из-за отрицательного влияния атмосферы разрешение космических снимков может снизиться в 2 раза по сравнению с расчетным. Для количественного учета влияния атмосферы на регистрирующее излучение применяют ее теоретические модели.

Рассеивание излучения. Причиной рассеивания является изменение направления распространения электромагнитных волн из-за их взаимодействия с молекулами газов и присутствующих в атмосфере частиц. Величина рассеивания зависит от длины волны

электромагнитного излучения, количества частиц и концентрации атмосферных газов, а также от пути распространения через атмосферу. В диапазоне видимого света доля рассеянного излучения при регистрации сенсором составляет от 100 % при сплошной облачности до 5 % при абсолютно ясном небе.

Выделяют три типа рассеивания в атмосфере: рассеивание Релея, рассеивание Ми и неселективное рассеивание.

Рассеивание Релея. Преобладает при взаимодействии электромагнитного излучения с частицами, размер которых меньше длины волны падающего света. Примеры таких объектов: частицы пыли, молекулы азота (N_2) и кислорода (O_2). Величина рассеивания Релея обратно пропорциональна длине волны (чем меньше длина волны, тем сильнее рассеивание). При дистанционном зондировании с помощью спутников основным видом рассеивания является рассеивание Релея. В отсутствие рассеивания небо было бы черным. В дневное время солнечные лучи проходят через атмосферу по кратчайшему пути. Благодаря рассеиванию Релея человек видит синее небо, поскольку синий свет обладает наименьшей длиной волны, которую может наблюдать человеческий глаз. На закате и восходе солнечные лучи проходят более длинный путь через атмосферу. Коротковолновая часть излучения успевает рассеяться, и поверхности Земли достигают только волны относительно большой длины. В результате небо окрашивается в оранжевый или красный цвет. Вызванное им искажение спектральных характеристик отраженного света по сравнению с измерениями вблизи земной поверхности приводит к тому, что интенсивность коротковолнового излучения оказывается завышенной.

Рассеивание Релея является причиной снижения контрастности снимков. Оно отрицательно влияет на возможность дешифрирования цифровых снимков, полученных с помощью сканирующих систем спутников, а также ограничивает возможности классификации объектов.

Рассеивание Ми возникает, если длина волны падающего излучения сравнима с размерами частиц. Наиболее важной причиной рассеивания Ми являются аэрозоли, представляющие собой смесь газов, паров воды и частиц пыли. Как правило, рассеивание Ми возникает в нижних слоях атмосферы, где крупные частицы встречаются чаще, и доминирует в условиях сплошной облачности. Рассеивание проявляется в нескольких спектральных диапазонах: от ближнего ультрафиолетового диапазона до ближнего инфракрасного диапазона.

Неселективное рассеивание возникает при условии, что размер частиц существенно больше длины волны излучения. К таким частицам относятся капли воды и крупные частицы пыли.

Неселективное рассеивание не зависит от длины волны и наиболее отчетливо проявляется при наличии облаков, содержащих водные капли. Поскольку излучение с разной длиной волны рассеивается одинаково, облака выглядят белыми. В условиях сплошной облачности излучение в оптическом диапазоне не проникает через атмосферу.

Влияние облачности. Облачность является наибольшей помехой при съемке в оптическом диапазоне. Как правило, в каждый момент времени она закрывает более 50 % поверхности земного шара. При планировании съемок важно располагать данными об условиях облачности. Для этого составляют карты, характеризующие глобальное распределение зон устойчивой облачности и дающие оценку условий съемки. Кроме того, по статистическим исследованиям известно, что облачность обычно сохраняется над каждой точкой земной поверхности на протяжении не более 3-5 дней.

3. Взаимодействие излучения с поверхностью Земли. Различают три основных типа взаимодействия падающего электромагнитного излучения с объектами на поверхность Земли: отражение, поглощение и пропускание. Свойства отраженного, поглощенного и пропущенного излучения отличаются для разных объектов на поверхности Земли

и зависят от вещества объекта и физических условий, в которых он находится. Эти различия и позволяют идентифицировать объекты на снимке. Даже у объектов одного типа соотношение между поглощенным, отраженным и пропущенным излучением зависит от длины волны. В результате два объекта могут оказаться неразличимыми в одном спектральном диапазоне, но хорошо различимыми в другом. В видимой части спектра эти различия воспринимаются как изменения цвета. Объекты кажутся синими, когда они отражают большую часть излучения в синей части спектра, и зелеными, когда максимум их отражательной способности приходится на зеленый спектральный диапазон. То же самое относится и к любому другому цвету. Амплитудные вариации спектра отраженного излучения используют для дешифрирования различных объектов на снимке.

Поскольку множество систем дистанционного зондирования работает в тех спектральных диапазонах, где доминирует отраженное излучение, отражательные свойства различных объектов играют очень важную роль при их идентификации.

Также важно учитывать геометрические характеристики отражения, которые в основном зависят от неровности поверхности. На плоской поверхности наблюдается зеркальное отражение, при котором угол отражения равен углу падения. На неровной поверхности возникает диффузное (или ламбертово) отражение, при котором падающее излучение отражается равномерно во всех направлениях. В реальной ситуации отражение носит смешанный характер. На рисунке 6 представлены зеркальное (А) и диффузное (Б) отражение. Категория поверхности зависит от отношения размеров ее неровностей к длине волны падающего излучения. Так, например, в видимом диапазоне песчаный пляж является неровной поверхностью, но в более длинноволновой части электромагнитного спектра он ведет себя как плоская поверхность. Иными словами, если длина волны падающего излучения много меньше вариаций высоты поверхности или размеров слагающих ее частиц, то отражение будет диффузным.

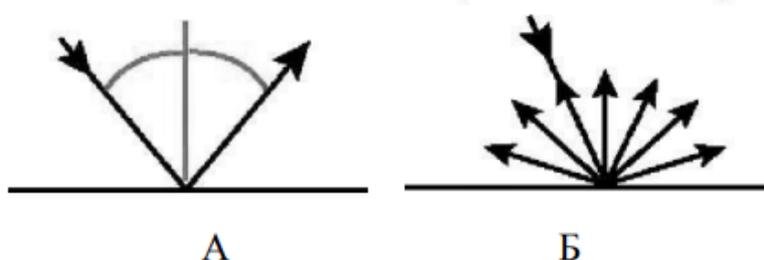


Рисунок 6 – Зеркальное (А) и диффузное (Б) отражение

В отличие от зеркального отражения спектр излучения, образованного при диффузном отражении, содержит информацию о цвете поверхности. Именно поэтому измерение диффузных отражательных характеристик различных территорий является важной составляющей дистанционного зондирования.

Отражательные свойства земной поверхности можно охарактеризовать, измерив относительную долю энергии отраженного излучения как функцию длины волны. Эта функция называется спектральной отражательной способностью и определяется как отношение энергии отраженного излучения $R_o \lambda$ с заданной длиной волны λ к энергии падающего излучения $R_I \lambda$ с той же длиной волны, выраженное в процентах:

$$\rho_{\lambda} = \frac{R_o \lambda}{R_I \lambda} \cdot 100\%.$$

Различные элементы земной поверхности – растительность, почвы, вода – по-разному отражают падающее на них излучение в разных зонах электромагнитного спектра. Кривой спектральной отражательной способности называется график зависимости спектральной отражательной способности объекта от длины волны. Вид этой кривой позволяет изучить спектральные характеристики объекта и имеет большое значение при выборе спектрального диапазона, в котором будет проводиться сбор данных дистанционного зондирования для определенной исследовательской задачи. Отражательную способность можно измерить в лабораторных или полевых условиях с помощью спектрометра.

Ход кривых спектральной отражательной способности 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 рисунке 7 приведены примеры обобщенных спектральных кривых для типичных объектов Земли.

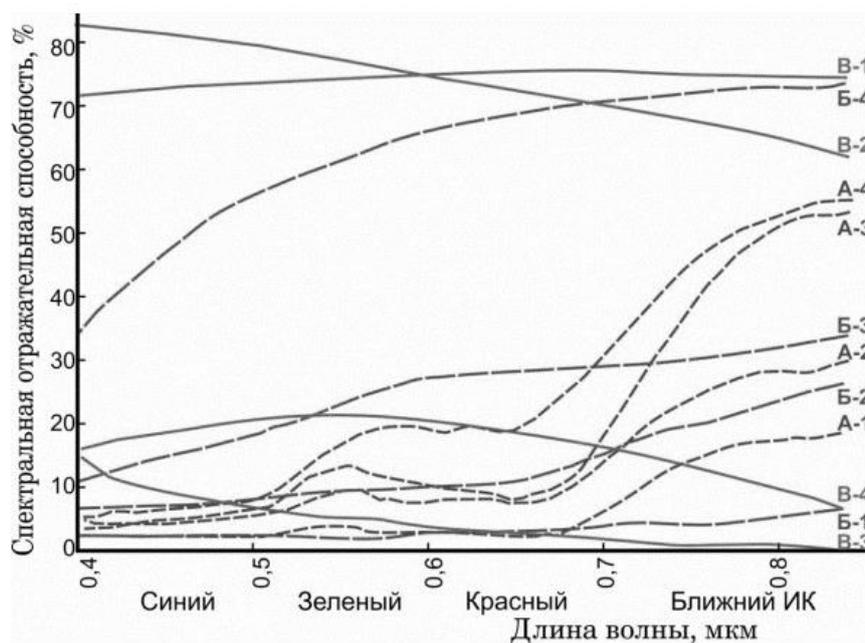


Рисунок 7 – Кривые спектральной отражательной способности различных природных объектов

Пояснения к рисунку 7.

Класс А – Растительный покров:

А-1 Кривая расположена очень низко, слабый максимум в видимой и незначительный подъем в ближней ИК-области спектра, соответствует хвойным лесным породам в зимний период;

А-2 Кривая имеет четкий максимум в видимой области спектра, расположена выше предыдущей кривой, заметно выше поднимается в ближней ИК-области спектра, соответствует хвойным лесным породам в летний период;

А-3 Кривая имеет резко выраженный максимум в желто-зеленом участке и очень высокий подъем в ближней ИК-области спектра, соответствует лиственным лесам в летний период и травяным покровам с густой и сочной растительностью;

А-4 Кривая имеет подъем во всем видимом диапазоне, высокий подъем в ближней ИК-области спектра, соответствует лиственным лесам в осенний период, созревшим (пожелтевшим) полевым культурам.

Класс Б – Почвы и обнажения:

Б-1 Кривая равномерно поднимается в направлении ближнего ИК- участка спектра, соответствует черноземным почвам;

Б-2 Кривая равномерно поднимается в видимой области спектра и имеет более крутой подъем в ближней ИК-области спектра, расположена выше кривой первого типа, соответствует дерново-подзолистым почвам;

Б-3 Кривая имеет более крутой подъем и выпуклость на участке спектра 0,55-0,65 мкм, расположена выше кривых первого и второго типов, соответствует пескам, обнажениям пустыни, некоторым горным породам;

Б-4 Кривая выпуклая с крутым подъемом, расположена значительно выше всех трех предыдущих типов, соответствует известняку, глине и другим светлым объектам.

Класс В – Водные поверхности и снежный покров:

В-1 Нейтральная высоко расположенная кривая, соответствует снегу, покрытому ледяной коркой;

В-2 Кривая имеет постепенное и равномерное падение к ближней ИК-области спектра, расположена высоко, соответствует свежевывавшему снегу;

В-3 Кривая имеет сильное падение в видимой и очень пологое понижение в ближней ИК-области спектра, соответствует чистой воде;

В-4 Кривая расположена существенно выше предыдущей кривой и соответствует мутной воде.

Растительный покров. Кривая спектральной отражательной способности зеленой растительности имеет весьма характерный вид, ее поведение сильно изменяется в зависимости от длины волны (рисунок 7). Из рисунка видно, что отражательная способность растительного покрова мала в синем и красном диапазонах видимого спектра. Причина этого заключается в существовании окна поглощения, связанного с присутствием в зеленой листе хлорофилла, который поглощает большую часть излучения.

Минимум отражательной способности приходится на длину волны 0,45 мкм. При увеличении экологической нагрузки содержание хлорофилла в растительности снижается, а отражательная способность увеличивается, особенно в красном диапазоне, из-за чего растительность приобретает желтый или хлоротичный оттенок.

Важную роль играют и другие пигменты, в частности каротин, ксантофил (желтый пигмент) и антоциан (красный пигмент). Каротин и ксантофил часто встречаются в листьях, однако их окна поглощения находятся в синем диапазоне (0,45 мкм), где доминирующим является влияние хлорофилла, поэтому влияние этих пигментов проявляется только в его отсутствие.

Некоторые виды деревьев вырабатывают в больших количествах антоциан и из-за этого имеют красный цвет. При внимательном изучении влияния различных пигментов на отражательную способность растительного покрова оказывается, что в отличие от видимого диапазона, в котором наблюдаются значительные различия, в близком и среднем инфракрасном диапазонах этих различий почти не существует.

В близкой инфракрасной части спектра наблюдается существенное увеличение отражательной способности при переходе через пороговое значение 0,7 мкм из видимой в инфракрасную часть спектра. В этом диапазоне зеленый растительный покров характеризуется высокой отражательной способностью, высокой прозрачностью и низким поглощением. Значения коэффициентов отражения и прозрачности достигают величины порядка 45-50 %, а доля поглощенного излучения составляет всего около 5 %. Важную роль играет также структура листвы.

Разница в отражательной способности одноярусной и многоярусной древесной растительности может достигать 85 %.

Причина этого проста: дополнительное излучение, прошедшее через первый ярус, отражается от второго, а затем частично еще 22 раз проходит через первый ярус. Этот эффект особенно заметен при сравнении отражательной способности в центре исследуемого массива и на его краю, где нет многоярусности.

В среднем инфракрасном диапазоне отчетливо заметен эффект, связанный с окнами поглощения воды, центры которых соответствуют длинам волн 1,4; 1,9 и 2,7 мкм. Существует еще два окна поглощения воды вблизи 0,9 и 1,1 мкм, но эти окна очень узкие и практически не влияют на кривую спектральной отражательной способности.

Пики спектральной отражательной способности в среднем инфракрасном диапазоне приходятся на 1,6 и 2,2 мкм. Отмечают также сильное влияние влажности: чем меньше влажность листы, тем выше ее отражательная способность.

Из всего вышеописанного можно выделить следующие наиболее важные спектральные характеристики зеленого растительного покрова:

- отчетливые различия отражательной способности в видимом, ближнем и среднем инфракрасных диапазонах;
- доминирующая роль пигментации листы в видимой части спектра;
- доминирующая роль структуры растительности в ближнем инфракрасном диапазоне, где половина излучения пропускается, а половина отражается;
- доминирующая роль влажности растительного покрова в среднем инфракрасном диапазоне, где большая часть излучения поглощается листы.

Почвы. Кривые спектральной отражательной способности большинства почв выглядят весьма просто (рисунок 7). Наиболее заметным свойством излучения, отраженного от сухих почв, является, как правило, возрастание значений коэффициента отражения с увеличением длины волны, особенно в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах. Взаимодействие излучения с почвой сводится к тому, что падающее излучение либо отражается, либо поглощается. В то же время почва состоит из пород с разными физическими и химическими свойствами, которые могут влиять на характеристики отражения и поглощения. Хотя формы кривых спектральной отражательной способности почв схожи между собой, амплитудные характеристики этих кривых могут заметно различаться в зависимости от свойств почвы. На спектральную отражательную способность почвенного покрова могут оказать заметное влияние такие факторы, как влажность, количество органических веществ, окиси железа, относительная доля песчаников и отложений, а также неровность поверхности.

Первая характеристика почвы, требующая изучения, – это ее гранулометрический состав, который определяется относительным содержанием песка, отложений и глины. Характерный диаметр частиц глины – 0,002 мм, отложений – от 0,002 до 0,005 мм, песка – от 0,05 до 2,0 мм. В силу такого распределения глина содержит больше частиц, чем песок. При наличии влаги каждая частица почвы покрыта тонким слоем воды, который занимает некоторое пространство между отдельными частицами. Хотя этот слой очень тонкий, миллионы частиц могут удерживать огромное количество воды. Именно поэтому существует связь между количеством частиц в почве и ее влажностью.

Отражательная способность сухих песчаников остается почти постоянной, в то время как кривые спектральной отражательной способности влажных песчаников имеют заметные провалы при длинах волн 1,4; 1,9 и 2,3 мкм. В видимой части спектра также наблюдается заметное снижение отражательной способности влажных почв по сравнению с сухими. Таким образом, спектральная яркость почв во многом зависит от их состава, определяющего как размер слагающих почву частиц, так и возможный уровень содержания влаги. При прочих равных условиях с уменьшением размера частиц поверхность почвы становится более гладкой, и доля отраженного излучения возрастает. Было показано, что при увеличении размера частиц с 0,22 до 2,66 мм коэффициент поглощения увеличивается на 14 %.

Еще одним важным свойством почвы, которое влияет на ее отражательную способность, является содержание органических веществ, которое характеризует количество азота в почве. Показано, что для большинства климатических зон относительное

содержание органических веществ в почве колеблется от 0,5 до 5 %. При 5 %-ном содержании органических веществ почва обычно имеет темно-коричневый или черный цвет, а при меньшем содержании – светло-коричневый или светло-серый. При этом в видимом диапазоне спектра зависимость отражательной способности почвы от содержания органических веществ является нелинейной.

Замечено, что связь между цветом почвы и содержанием в ней органических веществ зависит от климатической зоны. При высокой температуре почвы с низким содержанием влаги (крупные частицы) содержат больше органических веществ, чем такие же почвы в более холодных зонах. Таким образом, при оценке зависимости спектральной отражательной способности от количества органических веществ необходимо учитывать еще и климатический пояс, и условия дренирования.

Из приведенного можно сделать следующие выводы о спектральных характеристиках почв:

- увеличение влажности почвы ведет к снижению ее отражательной способности во всем спектральном диапазоне отраженного излучения;
- отражательная способность грунта увеличивается с уменьшением размера слагающих его частиц;
- уменьшение неровности поверхности ведет к увеличению ее отражательной способности;
- отражательная способность почвы уменьшается с увеличением содержания в ней органических веществ;
- увеличение содержания оксида железа ведет к снижению отражательной способности почв.

Водные поверхности. По сравнению с растительными покровами и почвами отражательная способность водных поверхностей относительно низка (рисунок 7). Если растительный покров может отражать до 50% падающего излучения, а почвы – до 30-40 %, то доля излучения, отраженного водной поверхностью, не превышает 10%. Вода отражает электромагнитное излучение в видимом и близком инфракрасном диапазонах. При длинах волн больше 1200 мкм все падающее излучение поглощается. Наибольшей отражательной способностью обладает мутная водная поверхность, а пик отражения водоемов с большим количеством растительности, содержащей хлорофилл, приходится на зеленую часть спектра.

Водная толща ослабляет яркость, контраст и четкость подводных объектов. Интенсивность проникающего в воду излучения падает. Спектральный состав изменяется. Инфракрасное излучение полностью поглощается поверхностными слоями воды. Для прозрачных вод, когда отсутствуют взвеси и фитопланктон, красные лучи проникают на глубину до 10 м, желтые лучи проникают до 20 м, а сине-голубые достигают глубины 50 м. На больших глубинах дно солнечным светом практически не освещается.

4. Оптические характеристики объектов. Основным естественным источником излучаемой энергии является Солнце. И Земля как планета в целом не только поглощает энергию, но и излучает ее. В аэрокосмических методах помимо естественного излучения Земли и Солнца используется и искусственное излучение.

Солнце излучает различные электромагнитные волны – от ультрафиолетовых до радиоволн. Основная энергия приходится на излучение с длинами волн 0,3-3 мкм, причем максимум энергии – на волны длиной около 0,5 мкм.

Для характеристики взаимодействия излучения с объектами используют различные величины.

Первостепенной характеристикой является *яркость* (плотность потока регистрируемого излучения). На нее влияет освещенность, которая складывается из освещенности прямым солнечным светом, рассеянным светом небосвода и светом, отраженным от соседних объектов.

Для объектов земной поверхности наиболее важны *коэффициенты интегральной и спектральной яркости, яркостный контраст и индикатриса отражения.*

Коэффициент интегральной яркости (r^)* определяется как отношение яркости объекта B^* к яркости абсолютно белой матовой поверхности (эталона) B_o^* :

$$r^* = \frac{B^*}{B_o^*} .$$

В таблице 1 приведены значения коэффициентов интегральной яркости некоторых объектов, которые свидетельствуют об их значительном колебании у различных объектов. Но и для одного и того же объекта коэффициент интегральной яркости не строго постоянен, а может меняться в определенных пределах в зависимости от положения Солнца, съемочной системы, от рельефа местности и др.

Таблица 1 – Коэффициенты интегральной яркости некоторых объектов

Объект	r^*	Объект	r^*
Снег свежесыпавший	1,00	Лес лиственный	0,07
Лед речной	0,30	Лес хвойный	0,05
Шоссе	0,30	Почва чернозем	0,03
Песок кварцевый	0,20	Вода	0,03

Применяют несколько взаимосвязанных выражений для контраста.

Яркостный контраст ($K=K_o$) применяется для характеристики яркостных различий двух объектов с яркостями B^*_1 и B^*_2 ($B^*_1 < B^*_2$):

$$K = \frac{B^*_2}{B^*_1} .$$

Это наиболее употребительный относительный контраст (K_o). Земная поверхность малоконтрастная – около половины всех объектов имеют относительный контраст менее 1,5, при этом летом контраст для лесных районов достигает 100.

Применяют еще визуальный контраст K_v :

$$K_v = \frac{B^*_2 - B^*_1}{B^*_2} = 1 - \frac{1}{K_o} .$$

Контраст между наиболее светлыми и темными объектами определяет интервал яркостей местности U , под которым принято понимать отношение:

$$U = \frac{B^*_{\max}}{B^*_{\min}} .$$

Летом для лесных горных районов U составляет 100, а для степных – 2.

На земной поверхности наиболее распространены окрашенные (хроматические) объекты. Считается, что природная палитра местности включает около 60 000 цветовых оттенков.

Яркость объектов в разных спектральных зонах может быть различной. Пример такого различия представлен на рисунке 8. Яркость одного и того же объекта при разных длинах волн неодинакова и характеризуется *коэффициентами спектральной яркости* r_{λ}^* :

$$r_{\lambda}^* = \frac{B_{\lambda}^*}{B_{o\lambda}^*},$$

где B_{λ}^* и $B_{o\lambda}^*$ – спектральные яркости объекта и эталона. В качестве эталона применяют материалы с очень хорошо известными и стабильными во времени оптическими характеристиками (гипсовые пластинки, молочные стекла).

Значения коэффициентов спектральной яркости для различных длин волн представляют в форме графика – *кривой спектральной яркости*. Каждому объекту соответствует свой собственный «спектральный образ», для получения которого нужно провести очень точные измерения отражательной радиации в различных частях спектра электромагнитных колебаний. По спектральной яркости в видимом диапазоне, где получен наибольший объем экспериментальных данных, все многообразие объектов земной поверхности делится на несколько классов, каждый из которых отличается по характеру спектральной отражательной способности (рисунок 9).

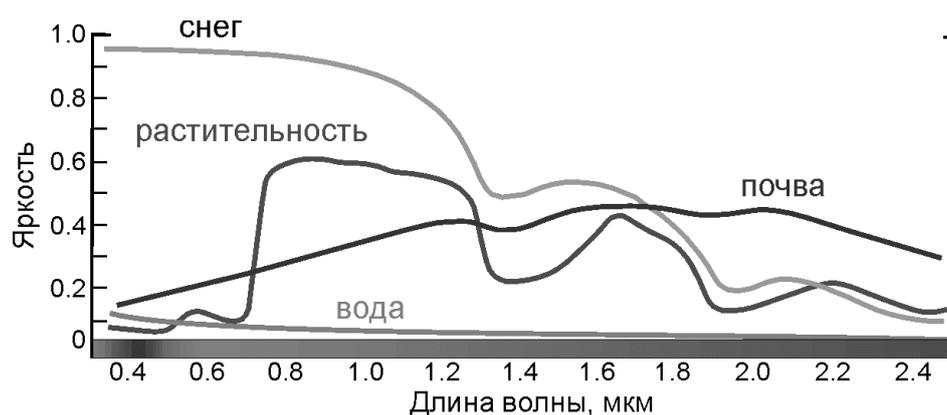


Рисунок 8 – Кривые спектральной яркости: растительный покров, снежные поверхности, горные породы и почвы, водные поверхности

Водные поверхности характеризуются самыми низкими значениями r_{λ}^* и монотонным уменьшением к красной зоне спектра, поскольку длинноволновое излучение сильнее поглощается водой. По характеру отражения близки к этому классу облачные образования, которые имеют несколько узких полос поглощения в длинноволновой части спектра. Снежный покров обладает наиболее высокими значениями коэффициентов спектральной яркости с небольшим понижением в ближней инфракрасной зоне спектра. У коэффициентов спектральной яркости растительного покрова самая высокая контрастность. Максимумы и минимумы связаны с разной отражательной способностью растений в разных зонах спектра. Спектральная яркость горных пород и почв относительно стабильна, характеризуются увеличением коэффициентов спектральной яркости по мере приближения к красной зоне спектра.

Спектральная отражательная способность различается и у объектов внутри класса. Более того, коэффициенты спектральной яркости варьируют в определенных пределах и для объектов одного вида. Спектральная отражательная способность зависит от свойств объектов, их состояния, а также от сезона.

Спектральная яркость горных пород зависит от входящих в их состав минералов и элементов, а почв – от содержания соединений железа и гумуса. На отражательную способность горных пород влияют запыленность, различные поверхностные выцветы и корки, спектральное отражение которых по сравнению с исходной породой может существенно отличаться. При повышении влажности почв их яркость уменьшается (при полном насыщении водой – в два раза), но характер кривой спектральной отражательной способности не меняется.

Из всех объектов суши растительный покров имеет наиболее информативные спектральные характеристики, которые чутко реагируют на его изменчивость. Растительный покров отличается характерным максимумом отражательной способности в зеленой (0,55 мкм), минимумом – в красной (0,66 мкм) и резким увеличением отражения в ближней инфракрасной зоне. Низкая отражательная способность вегетирующих растений в красной зоне связана с поглощением, а ее увеличение в зеленой зоне – с отражением этих лучей хлорофиллом. Большие коэффициенты яркости в ближней инфракрасной зоне объясняются пропусканием этих лучей хлорофиллом и отражением их от внутренних тканей листа. Спектральная яркость растений меняется с их возрастом: она выше у молодых растений и ниже у находящихся в стадии полной зрелости. Отражательная способность растительности зависит от фитопатологических изменений. При заболевании растения его листья начинают слабее поглощать красные и отражать инфракрасные лучи.

Отражательная способность водных объектов сильно зависит от содержания в воде фитопланктона и ее загрязнения – наличия взвешенных частиц, нефтяной пленки и т.д.

Загрязнение снега и содержание в нем воды также приводят к изменениям отражательной способности. При насыщении снега водой отражение ближнего и среднего инфракрасного излучения резко падает.

Спектрометрические измерения могут быть лабораторными, полевыми, самолетными, космическими.

В настоящее время распространено использование величин коэффициентов спектральной яркости для получения индексов. При этом используется разность или отношение двух коэффициентов, отношение их разности к сумме и т. д.

На знании спектральной яркости объектов основаны различные способы и приемы получения и обработки аэрокосмических снимков, в том числе и автоматическое распознавание объектов. Поэтому изучение спектральной отражательной способности различных объектов и геосистем различных таксономических рангов представляет собой одну из задач аэрокосмических методов.

Совокупность коэффициентов интегральной яркости по разным направлениям изображают графически в виде полярной диаграммы – *индикатрисы отражения*.

Различают четыре основных вида индикатрис отражения (рисунк 9).

Гладкие поверхности (водная поверхность, ледяной покров, чистые стеклянные поверхности, пластики, обработанные металлические поверхности, обнаженный скальный грунт, сухие каменные поверхности, асфальтированные дороги) отражают лучи почти зеркально.

Слабо шероховатые поверхности (пески, рыхлый снег, неофактуренный бетон, сухой асфальт, большинство грунтов, полевые дороги) отражают свет равномерно во все стороны. Объекты с расчлененной поверхностью (вспаханые почвы, лес, сельскохозяйственные культуры, луга и другая растительность) имеют индикатрису отражения, вытянутую к источнику света, т.е. противоположную индикатрисе зеркальной поверхности. Но для многих природных объектов (рисовых полей, покрытых росой лугов и других аналогичных объектов) характерна смешанная индикатриса.

Индикатрисы отражения оказывают влияние на особенности изображения одной и той же местности на снимках, полученных при разных направлениях съемки.

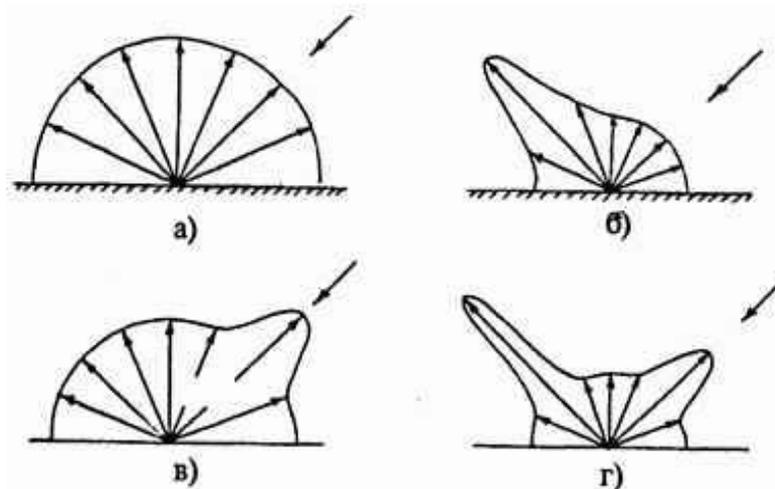


Рисунок 9 – Вид индикатрис различных типов поверхностей:
 а – ортотропной (индикатриса равномерного (диффузного) во все стороны отражения);
 б – с зеркальным отражением; в – с обратным отражением (индикатриса, вытянутая к источнику света); г – смешанной

Собственное излучение Земли. Нагретые объекты Земли излучают тепловую энергию. Уходящее излучение можно условно разделить на инфратепловое и радиотепловое.

Интенсивность инфратеплового излучения (P) земных объектов резко возрастает с повышением их абсолютно температуры.

$$P = \epsilon \times \sigma \times T^4 ,$$

где ϵ – коэффициент излучения объекта, T – абсолютная температура, σ – постоянная Стефана-Больцмана.

Для любых тепловых излучателей справедлив закон, что, чем лучше тело поглощает энергию (т.е. меньше её отражает), тем лучше оно излучает.

Коэффициенты инфратеплового излучения некоторых объектов приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Коэффициенты инфратеплового излучения

Объект	ϵ	Объект	ϵ
Черное тело	1,00	Кварц	0,93
Вода чистая	0,99	Гранит	0,90
Лед	0,98	Почва	0,84
Растительность	0,97	Песок	0,76
Асфальт	0,96	Песок кварцевый	0,71

В инфракрасном (тепловом) диапазоне спектра, начиная с длины волны 3,5 мкм и до 15 мкм, регистрируют собственное излучение приповерхностных слоев земной поверхности.

Зависимость интенсивности инфракрасного излучения от температуры объектов лежит в основе дистанционных методов ее определения (тепловая съемка). По температурным контрастам удается выделять вулканы, течения в океане, обнаруживать зоны подземных пожаров, тектонических нарушений и т.д.

Интенсивность радиотеплового излучения характеризуется так называемой радиояркостной температурой $T_{я}$ и выражается формулой:

$$T_{я} = \epsilon \times T ,$$

где ϵ – коэффициент излучения объекта, T – абсолютная температура.

Радиотепловое излучение по интенсивности значительно уступает излучению в инфракрасном диапазоне. Величина радиояркостной температуры в радиодиапазоне значительно варьирует.

Наибольшее значение коэффициента радиотеплового излучения имеет растительность (0,9), затем следуют почвы (0,8), вода (0,3). Самые «холодные» в радиодиапазоне металлические предметы. Таким образом, различия в радиояркостной температуре земных объектов определяются в основном их излучательной способностью, а не физической температурой. На радиояркостную температуру оказывает влияние много факторов. Например, радиояркостная температура увеличивается пропорционально высоте и густоте растений; температура льда обычно на несколько десятков градусов выше, чем воды; различна температура однолетнего и многолетнего льда и т.д.

Искусственное излучение. В аэрокосмических методах помимо естественного излучения используется и искусственное. Для искусственного облучения исследуемых объектов можно использовать электромагнитные волны всех диапазонов, однако в настоящее время наибольшее значение имеет радиоизлучение СВЧ-диапазона, которым освещается местность при активной радиолокационной съемке. Весьма ценное свойство зондирующего радиоизлучения – проникающая способность и возможность получения снимков при любой погоде и освещении. Глубина проникновения излучения увеличивается пропорционально длине волны и зависит от физико-химических свойств объекта. Например, миллиметровые радиоволны рассеиваются травяной растительностью, а сантиметровые достигают почвенного покрова. Дециметровые волны рассеиваются лесным покровом, сквозь который проникают лишь метровые волны. Метровые волны проникают в почву на десятки метров.

Практическая работа № 1 (4 часа)

Характеристики взаимодействия электромагнитного излучения с природными объектами

Цель – определить оптические характеристики объектов, коэффициенты спектральной яркости объектов и построить кривые спектральной яркости, вычислить радиояркостную температуру природных объектов, построить индикатрисы отражения природных объектов.

Задание 1. Определить оптические характеристики объектов по данным таблицы 3:

- а) коэффициентов интегральной яркости объектов;
- б) относительных и визуальных яркостных контрастов;
- в) интервала яркостей.

Задание 2. Определение коэффициентов спектральной яркости объектов и построение кривой спектральной яркости по данным таблицы 4.

Задание 3. Вычисление радиояркостной температуры четырех природных объектов по данным таблицы 5.

Задание 4. Построение индикатрисы отражения природного объекта с видом поверхности, указанной в таблице 6.

Таблица 3 – Яркости объектов и эталонов

Вариант	Номер объекта	Яркость объекта (усл. ед)	Яркость эталона (усл. ед)
1	1	1000	1024
	2	538	1024
	3	333	1024
2	1	15	16
	2	2	16
	3	8	16
3	1	190	256
	2	162	256
	3	44	256
4	1	202	256
	2	94	256
	3	48	256
5	1	1010	1024
	2	900	1024
	3	205	1024
6	1	62	64
	2	33	64
	3	11	64
7	1	39	256
	2	154	256
	3	248	256
8	1	59	256
	2	157	256
	3	235	256

Таблица 4 – Яркость объекта на разных длинах волн

Вариант	Длина волны (нм)	Яркость объекта (усл. ед)	Яркость эталона (усл. ед)
1	500	15	256
	600	40	256
	700	17	256
	800	75	256
2	400	250	256
	500	240	256
	600	235	256
3	400	56	256
	500	41	256
	600	30	256
	700	117	256
4	400	48	256
	500	62	256
	600	81	256
5	400	67	256
	500	53	256
	600	53	256
	700	800	256

6	400	85	256
	500	70	256
	600	71	256
	700	67	256
7	400	5	256
	500	12	256
	600	30	256
8	400	10	256
	500	17	256
	600	35	256

Таблица 5 – Температура природных объектов

Вариант	Температура объектов (градусы Цельсия)			
	лес	озеро	почва	металлический столб
1	19	19	19	19
2	4	4	4	4
3	1	1	1	1
4	13	12	12	14
5	10	10	10	10
6	15	15	15	15
7	9	9	9	9
8	5	3	12	14

Таблица 6 – Виды поверхности объектов

Вариант	Вид поверхности
1	шероховатая
2	слабо шероховатая
3	гладкая
4	расчлененная
5	сильно расчлененная
6	ледяной покров
7	вспаханная почва
8	асфальтированная дорога

ТЕМА 2. ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМ И ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ДИСТАНЦИОННОМ МОНИТОРИНГЕ ГЕОСИСТЕМ

Теоретический материал

1. Носители съемочной аппаратуры.
2. Виды орбит космических летательных аппаратов.
3. Виды дистанционной информации, получаемой в ходе съемок при мониторинге геосистем.

1. Носители съемочной аппаратуры.

Космические летательные аппараты (КЛА). Под космическим летательным аппаратом следует понимать аппарат, предназначенный для полета в космосе или для работы на других небесных телах.

Космические летательные аппараты подразделяются на автоматические космические носители и пилотируемые космические аппараты.

Автоматические космические аппараты в зависимости от траектории полета подразделяются на следующие типы: искусственные спутники Земли, космические аппараты для полетов к Луне, космические аппараты для полетов к планетам Солнечной системы, космические аппараты для полетов с выходом за пределы Солнечной системы.

Искусственный спутник Земли (ИСЗ) – это космический аппарат, выведенный на орбиту вокруг Земли и совершивший не менее одного оборота.

Искусственные спутники Земли (ИСЗ) характеризует относительно небольшое удаление от Земли, периодичность изменения внешних условий и прохождения над определенными географическими районами Земли, кратное периоду обращения.

ИСЗ в зависимости от их назначения подразделяются на исследовательские и технические. Различают следующие типы исследовательских спутников: астрономические (спутники, предназначенные для исследования планет, галактик и других космических объектов); биоспутники (спутники, предназначенные для проведения научных экспериментов над живыми организмами в условиях космоса); спутники дистанционного зондирования Земли; метеорологические (спутники, предназначенные для передачи данных в целях предсказания погоды, а также для наблюдения климата Земли); военные спутники (разведывательные спутники и т.п.) и др. Технические ИСЗ – это спутники связи и навигации.

Коммерческие спутники используются с коммерческой целью для обеспечения интернет связи, спутникового телевидения, картографии. Их спектр использования широк и увеличивается с каждым годом.

Малые спутники – космические аппараты малого веса (менее 1 или 0,5 тонн) и размера. Включают в себя миниспутники (более 100 кг), микроспутники (более 10 кг) и наноспутники (легче 10 кг), в том числе кубсаты и покетыкубы.

Малые спутники широко используются для различных целей, таких как научные исследования, обеспечение связи, наблюдение за Землей, навигация, технологические демонстрации и многие другие. Их компактный размер и относительно невысокая стоимость позволяют проводить более гибкие и инновационные космические миссии.

Количество искусственных спутников вокруг Земли постоянно увеличивается. Согласно официальным данным в середине 2023 года на орбите находилось более 6,7 тысяч спутников. Запуск ИСЗ имеет важное значение для различных сфер жизни. Он позволяет обеспечивать глобальную связь, телекоммуникации, спутниковую навигацию, погодное прогнозирование, а также проведение научных исследований космоса и Земли. Кроме того, спутники играют важную роль в обеспечении безопасности стран, обнаружении природных катастроф и для многих других прикладных и научных целей.

Наибольшее число действующих спутников имеют страны: США, Китай, Великобритания, страны Евросоюза, Россия. Запуском занимаются как государственные, так и частные компании. Например, SpaceX разрабатывает собственную сеть Starlink для предоставления высокоскоростного интернета на всей планете. В этой же области и работает компания OneWeb.

Самыми известными и наиболее используемыми обычными людьми сетями являются GPS, ГЛОНАСС, Galileo и BeiDou. Они обеспечивают точное позиционирование и навигацию по всем уголкам планеты.

Космические летательные аппараты: космические аппараты для полетов к Луне; космические аппараты для полетов к планетам Солнечной системы; космические аппараты для полетов с выходом за пределы Солнечной системы. Автоматическая межпланетная станция (АМС) – беспилотный космический аппарат, предназначенный для полета в межпланетном космическом пространстве (вне орбиты Земли) с выполнением различных поставленных задач. После окончания советской космической программы

«Луна» и американской «Аполлон» исследования Луны с помощью космических аппаратов были практически прекращены. Но в начале XXI века ведущие космические державы вступили во «вторую лунную гонку». О планах будущих лунных экспедиций заявили США, Россия, Китай, Европа, Индия, Япония.

Сложные технологии межпланетных станций освоили всего несколько стран – СССР/Россия, США, Европа/ESA, Япония, Китай, Индия. При этом к Марсу и кометам отправляли АМС только первые четыре, к Венере – только первые 3, к астероидам – только США, Европа и Япония, к Меркурию и внешним планетам – только США.

Некоторые космические аппараты запускались с тем расчетом, что после изучения Солнечной системы они выйдут в межзвездное пространство и отправятся дальше. Таких аппаратов всего пять: «Пионер-10», «Пионер-11», «Вояджер-1», «Вояджер-2», а также «Новые горизонты». Все они были разработаны и запущены в США. На сегодняшний день только вышеупомянутые «Пионеры» и «Вояджеры» покинули Солнечную систему.

Пилотируемые космические аппараты делятся на пилотируемые космические корабли, пилотируемые орбитальные станции, межпланетные станции.

Пилотируемые космические корабли в зависимости от назначения полета подразделяются на виды: одиночные, экспериментальные, многоразовые, транспортные, корабли-спасатели, корабли для ремонта и сборки. На 2023 год пилотируемые космические полеты выполняются в России (ранее – в СССР, с 1961 года), США (с 1961 по 2011 и с 2020 года) и КНР (с 2003 года).

Пилотируемые орбитальные станции служат для проведения исследований и экспериментов, освоения длительных полетов человека в условиях невесомости, отработки технических средств космической техники для ее совершенствования на околоземных орбитах. «Международная космическая станция» (МКС) является крупнейшим в истории проектом международного сотрудничества в мирных целях как многоцелевой космический исследовательский комплекс (рисунок 10). Строительство МКС началось в 1998 году, первая постоянная экспедиция заработала с 2000 года. МКС внесена в Книгу рекордов Гиннеса как самый дорогой объект, построенный человеком. Общая стоимость создания станции составляет более 150 миллиардов долларов. Сейчас в космическом проекте участвуют 15 членов, среди которых пять – основные. Это Россия, США, Европейское космическое агентство, Япония и Канада.



Рисунок 10 – Международная космическая станция

Управление МКС осуществляется: российским сегментом – из Центра управления космическими полетами в Королеве, американским сегментом – из Центра управления полетами имени Линдона Джонсона в Хьюстоне. Управление лабораторных модулей – европейского «Коламбус» и японского «Кибо» – контролируют Центры управления Европейского космического агентства (Оберпфaffenхофен, Германия) и Японского агентства аэрокосмических исследований (г. Цукуба). Между Центрами идет постоянный обмен информацией.

Свою пилотируемую многомодульную орбитальную станцию «Тяньгун» на низкой околоземной орбите (высота от 340 до 450 км над поверхностью Земли) создает Китай.

2. Виды орбит космических летательных аппаратов. При съемке земной поверхности существенную роль играет выбор орбиты полета ИЗС. Важными параметрами орбиты являются форма, наклонение, высота, положение ее плоскости по отношению к Солнцу.

По форме предпочтительными являются круговые орбиты, благодаря чему достигается одинаковый охват территории, масштаб и разрешение снимков (рисунок 11).

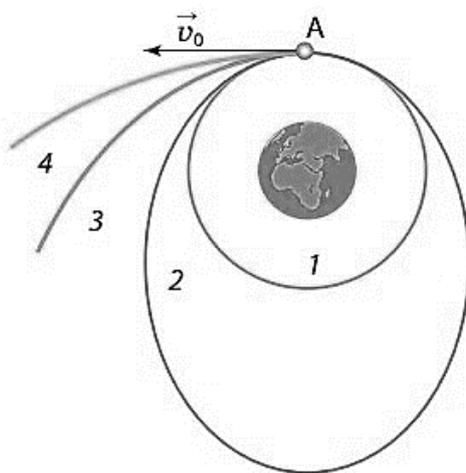


Рисунок 11 – Формы орбит космических аппаратов: 1 – круговая; 2 – эллиптическая; 3 – параболическая; 4 – гиперболическая

Наклонение орбиты определяется углом между плоскостью орбиты и плоскостью экватора. В зависимости от наклонения орбиты бывают экваториальными (наклонение 0°), полярными (наклонение 90°) и наклонными (рисунок 12).

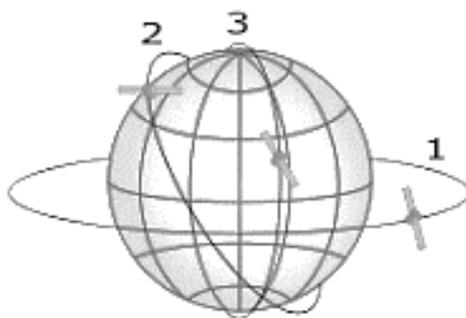


Рисунок 12 – Наклонение орбит: 1 – экваториальная орбита, 2 – наклонная орбита, 3 – полярная орбита

Наклонение орбиты является важным параметром, так как определяет широтный пояс поверхности Земли, который подлежит фотографированию. Тяжелые пилотируемые корабли и орбитальные станции функционируют на орбитах с наклоном 30° и 52° , небольшие метеорологические и ресурсные спутники запускают на полярные орбиты.

Космические аппараты работают на различных высотах. Выделяют три группы наиболее часто используемых орбит:

- низкие орбиты (150-500 км) используются при полете пилотируемых кораблей, орбитальных станций, спутников фотосъемки;

- средние орбиты (500-2000 км) используются метеорологическими и ресурсными ИСЗ;

- орбиты геостационарных спутников (36 000 км); угловая скорость спутника на высоте около 36 000 км равна угловой скорости вращения Земли, поэтому спутник, как бы зависая над определенным районом Земли, обеспечивает его постоянное наблюдение. Геостационарные спутники на экваториальной орбите обеспечивают практически непрерывное получение мелкомасштабных обзорных снимков всей Земли.

Положение орбиты по отношению к Солнцу играет большую роль для повторных съемок одних и тех же участков земной поверхности. Солнечно-синхронные орбиты обеспечивают одинаковую освещенность земной поверхности вдоль всей трассы полета космического аппарата (рисунок 13).

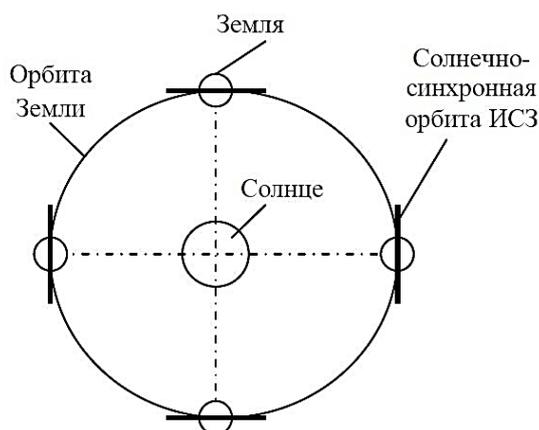


Рисунок 13 – Солнечно-синхронная орбита

Солнечно-синхронные орбиты основаны на эффекте прецессии плоскости орбиты – повороте плоскости вокруг оси вращения Земли. Этот поворот вызван несферичностью Земли (ее сплюснутостью со стороны полюсов). Скорость поворота плоскости орбиты зависит от ее средней высоты и наклона, поэтому можно подобрать эту пару значений так, чтобы скорость поворота плоскости совпадала с угловой скоростью движения Земли вокруг Солнца. Если мы запускаем спутник на такую орбиту и поддерживаем ее параметры с помощью маневров, то на протяжении долгого времени плоскость орбиты будет постоянно одинаковым образом ориентирована относительно Солнца, и земная поверхность под спутником будет всегда освещена под одним и тем же углом. Поэтому это семейство орбит очень хорошо подходит для космических аппаратов, решающих задачи дистанционного зондирования Земли (наблюдение за погодой, картографирование, мониторинг поверхности Земли).

От периода обращения – времени оборота спутника вокруг Земли – зависит число витков в сутки и, соответственно, межвитковое расстояние. Для околоземной круговой

орбиты период обращения спутника T (минут) зависит от высоты орбиты H (км) и численно равен:

$$T_{(\text{минут})} = 84,4 + \frac{H}{50} .$$

Число витков спутника за сутки составит:

$$N = \frac{24 \times 60}{T_{(\text{минут})}} .$$

Если спутник совершает за сутки целое число витков, например ровно 16, то такая орбита называется периодической (геосинхронной). На следующие сутки спутник будет пролетать над одними и теми же точками трассы земной поверхности. При съемке с таких периодических орбит системами высокого разрешения и соответственно небольшого охвата значительная площадь между витками не будет покрыта снимками, исключая околополярные участки пересечения трасс.

Для съемки без поперечного разрыва используется квазипериодическая (квазигеосинхронная) орбита, когда спутник совершает за сутки не совсем точное целое число оборотов. Тогда пересечение экватора спутником через сутки будет происходить с небольшим опозданием или опережением. За это время Земля поворачивается на некоторый угол, обеспечивающий смещение трассы (рисунки 14, 15).

Трасса орбиты (наземная трасса орбиты, трасса спутника) – проекция орбиты искусственного спутника Земли на поверхность Земли. Другими словами – трасса движения подспутниковой точки по поверхности Земли.

В зависимости от параметров орбиты спутника трасса его орбиты может принимать разный вид: синусоида, восьмерка, прямая линия (для спутника с нулевым наклоном орбиты, который всегда летит только над экватором) и т.д. Трасса спутника, несмотря на ее причудливый вид, отвечает строгим закономерностям движения и не может быть изменена произвольным образом. Она целиком и полностью определяется наклоном плоскости орбиты и периодом обращения спутника.

В зависимости от параметров орбиты, ее трасса может повторяться за определенный промежуток времени. Например, для спутника с периодом обращения, кратным звездным суткам (то есть 23 часа 56 минут, 11 часов 58 минут, 5 ч. 59 мин и пр. – орбиты суточной кратности), наземная трасса приближенно повторяется каждые сутки.

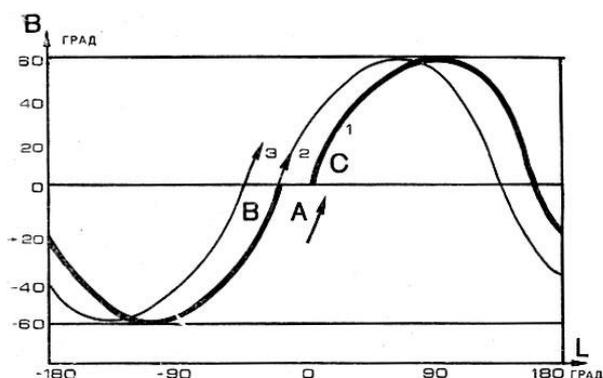


Рисунок 14 – Трасса полета спутника при движении по круговой орбите с наклонением 60° (первые два витка): В – широта; L – долгота

Рассмотрим более подробно рисунок 14. Жирная линия на нем изображает трассу полета спутника на первом витке. Начиная юг экватора (точка А), трасса поднимается в северное полушарие и, коснувшись параллели, уходит снова к экватору, пересекает его, затем подходит к южной параллели, касается ее и снова подходит к экватору со стороны южного полушария (точка В). Расстояние между точками А и В и есть смещение спутника по долготе за виток. Последующие витки трассы могут быть получены путем последовательного смещения ее от витка к витку на величину отрезка АВ. Очевидно, что если смещение за виток укладывается целое число раз в длине экватора Земли, то трасса спутника через определенное число витков подойдет к точке А и в последующем будет повторяться. Пусть N есть ближайшее целое число витков, которое спутник совершает приблизительно за сутки. Если после завершения N витков спутник не выйдет в точку А, а окажется, например, в точке С, то угловое расстояние по долготе между точками А и С называют суточным смещением орбиты. Когда это смещение равно нулю, то спутник через сутки возвратится в исходное положение.



Рисунок 15 – Смещение полос съемки со спутника

Величина суточного смещения трассы устанавливается такой, чтобы при принятом угле обзора съемочной системы маршрутные полосы съемки примыкали друг к другу или даже перекрывались. На экваторе перекрытие между маршрутами будет минимальным, а к полюсам Земли оно увеличивается.

Угловое расстояние между орбитами (угловое межвитковое расстояние) (рисунок 16) определяется по формуле:

$$S_{\text{межв.}} = \frac{360^{\circ}}{N}.$$

Например, искусственный спутник на высоте 280 км совершает вокруг Земли один оборот за 90 минут и делает 16 витков в сутки при межвитковом расстоянии $22^{\circ}5'$.

3. Виды дистанционной информации, получаемой в ходе съемок при мониторинге геосистем. Дистанционная информация, необходимая при мониторинге геосистем, появляется в ходе съемок: цифровая фотографическая съемка; радиотепловая съемка; телевизионная съемка; инфракрасная (ИК) съемка; спектрометрическая съемка; мультizonальная съемка; радарная съемка; сканерная съемка; лазерное зондирование; гамма-спектрометрическая съемка.

Виды съемок по спектральному диапазону: УФ, ИК тепловая, ИК световая, радиотепловая, радиолокационная.

Съемки в УФ-области. В УФ-области – в отличие от видимого и ИК-диапазонов – очень низкая интенсивность излучения. Участок ультрафиолета 0,1-0,2 мкм – это область

спектра, которая полностью поглощается молекулярным кислородом атмосферы и не проходит ниже 60 км к поверхности Земли.

УФ-излучение в диапазоне от 0,2 до 0,4 мкм опускается до озонового слоя (высота от 15 до 25 км), который защищает все живое на Земле от губительного воздействия УФ-лучей.

Достигает поверхности Земли малая часть длинноволнового УФ, поэтому УФ-сенсоры на космическом аппарате должны усиливать яркость изображения не меньше, чем в 100 раз, т.е. фактически дойти до физического предела, когда с квадратного сантиметра регистрируемого объекта излучается всего несколько фотонов.

УФ-диапазон еще только осваивается для мониторинга верхних слоев атмосферы и самой Земли. Испытания таких сенсоров проходят на МКС (с 2006 г.).

В УФ-диапазоне можно увидеть и определить заражение почв и сельскохозяйственных культур, само загрязняющее вещество состояние урожая.

ДЗ в видимом и ближнем ИК-диапазонах. ДЗ в видимом и ближнем ИК-диапазонах основано на регистрации солнечного излучения, отраженного объектами в соответствии с их спектральной отражательной способностью.

На снимках отображаются оптические характеристики объектов – их спектральная яркость. Для съемки необходимо освещение, а облачность – мешает.

Съемку с помощью оптических камер и сканеров осуществляют: из российских – многозональные сканеры МСУ-М, МСУ-СК и МСУ-Э на спутниках «Ресурс-О», «Метеор» и «Океан»; из зарубежных – сканеры AVHRR спутников NOAA, Landsat, а также специально созданные для изучения цвета океана системы CZCS (Coastal Zone Color Scanner) спутников Nimbus и SeaWiFS (Seaviewing Wide Field Sensor – сканер цвета моря) спутника SeaStar.

ДЗ в тепловом инфракрасном диапазоне. ДЗ в тепловом инфракрасном диапазоне для определения температуры подстилающей поверхности основано на измерении собственного теплового излучения поверхности. Съемка в этом диапазоне не зависит от освещения, может выполняться ночью, но облачность и здесь является помехой.

Наиболее известен сканирующий радиометр AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer), расположенный на борту спутников серии NOAA. Данные этого прибора получили повсеместное признание и используются во всем мире. Другой известный аналог – радиометр серии ATSR (Along Track Scanning Radiometer), установленный на европейских спутниках ERS и Envisat.

Особенно значимая съемка со спутника Terra (EO-AMX) по американской программе глобальных наблюдений Земли EOS. 36-канальная съемочная система MODIS дает обзорные снимки в 10 тепловых каналах с разрешением 1 км, а 14-канальная система ASTER – более детальные снимки в 6 тепловых каналах с разрешением 90 м.

Хорошее информирование о поступающих материалах съемки, возможность свободного доступа к ним по сети Интернет обеспечили широкое использование данных тепловой ИК-съемки и их значимое место в мировом фонде космических снимков.

Съемка в радиодиапазоне радиоволны. При съемке в радиодиапазоне радиоволны, почти не поглощаясь, свободно проходят через облачность и туман, съемку ведут при любой погоде и в любое время суток. На снимках хорошо видны рельеф и шероховатость поверхности, ее влажность, иногда – подповерхностные структуры.

Пассивное зондирование в СВЧ-диапазоне (поддиапазоне радиоизлучения) основано на регистрации собственного излучения поверхности, активное (радиолокация) зондирование – на излучении со спутника и приеме отраженного поверхностью радиосигнала. Среди данных пассивных СВЧ-радиометров накоплены значительные массивы данных радиометров SSMR спутников Nimbus и SSM/I, спутников DMSP.

С помощью пассивных радиометров можно получить информацию о температуре подстилающей поверхности, сплоченности и толщине льда, а также влагозапасе облаков, интенсивности осадков, скорости ветра.

Виды съемок в зависимости от используемой аппаратуры и спектрального диапазона: фотографическая, многозональная, телевизионная, сканерная, инфракрасная и инфракрасная тепловая, радиотепловая и радиолокационная, лазерная, спектрометрическая.

Фотографический способ осуществляется в видимом диапазоне, снимки получают с помощью системы объектив – фотопленка. Распространено фотографирование на черно-белую, цветную и цветную спектральнозональные пленки. Достоинства: возможность получать снимки с очень высоким разрешением, высокими геометрическими и фотометрическими свойствами. Кроме того, фотографические пленки – экономичный способ хранения информации. Недостатки: неоперативность метода: контейнер с пленкой спускается на Землю не чаще, чем один раз в несколько недель.

Фотографические снимки – это результат покадровой регистрации на фотопленку солнечного излучения, отраженного земными объектами. Аэрофотоснимки получают с самолетов и вертолетов, космические снимки – со спутников, космических кораблей и орбитальных станций, подводные – фотокамерами, опускаемыми на глубину, а наземные – с помощью фототеодолитов.

В зависимости от типа применяемой аппаратуры и фотопленок фотографирование может производиться во всем видимом диапазоне электромагнитного спектра, в отдельных его зонах, а также в ближнем ИК (инфракрасном) диапазоне (до 0,86 мкм).

Масштабы съемки зависят от высоты фотографирования и фокусного расстояния аппарата. Космические фотоаппараты в зависимости от наклона оптической оси позволяют получать плановые и перспективные снимки земной поверхности. Для удобства пользования из отдельных космических плановых снимков, имеющих перекрытия, монтируются фотосхемы (фотомозаики) или фотокарты с топографической привязкой опорных точек с точностью 0,1 мм и точнее.

Для приведения разномасштабного, обычно перспективного, космического снимка к плановому используется специальный процесс, называемый трансформированием. Трансформированные космические снимки также используются для составления космофотосхем и космофотокарт и обычно легко привязываются к географической сетке координат.

Космические фотоснимки отличаются хорошими геометрическими свойствами и высоким качеством изображения. Разрешение снимков, доступных гражданскому пользователю, составляет до 2 м (с разведывательных спутников получают снимки с разрешением до 0,2 м), что достаточно для создания топографических карт масштаба 1 : 50 000 с точностью 10 м по высоте и 15 м в плане.

Недостаток этого вида съемки – необходимость доставки отснятой пленки на Землю для обработки.

Особое значение имеют **многозональные снимки**, когда одна и та же территория (или акватория) одновременно фотографируется или сканируется в нескольких зонах спектра. Многозональные сканирующие системы – одни из основных средств получения дистанционных материалов. При различных комбинациях системы «фильтр-пленка» можно добиться оптимальных условий фотографирования определенных природных объектов и получения их спектральных характеристик.

Фотосъемка (аэрофотоснимки, космические фотоснимки) и многоспектральные съемки (МС) в одном или нескольких диапазонах спектра расширяют возможности проведения дистанционных исследований, делают их более надежными и позволяют выявить закономерности строения ландшафтов земной поверхности, которые ускользают из поля зрения исследователя при использовании только наземных методов.

Телевизионная съемка (ТС) служит для изучения солнечного электромагнитного излучения, отраженного от земных ландшафтов.

Съемка производится с помощью телевизионных камер различными видиконами, что обеспечивает получение изображений с разрешением от 0,3 до 3 км и шириной полосы захвата на местности от 180 до 1800 км.

При кадровой телевизионной съемке используется миниатюрная телевизионная камера, в которой оптическое изображение, построенное объективом на экране, при считывании электронным лучем переводится в форму электросигналов и по радиоканалам передается на Землю.

Телевизионные съемки в видимом участке спектра впервые были получены с метеорологических искусственных спутников Земли (ИСЗ), которые в начале 60-х гг. обладали сравнительно невысоким пространственным разрешением. Подобные изображения использовались в основном для самого общего географического изучения Земли, но по мере совершенствования качества телевизионных изображений росло и использование их самыми различными специалистами в разных областях знаний.

Благодаря глобальному покрытию и высокой частоте получения телевизионные снимки нашли применение при обновлении обзорных мелкомасштабных тематических карт, при прослеживании геологических, географических и океанических структур высоких уровней генерализации. Крупные природные образования протяженностью свыше 100-200 км (тектонические линеаменты, типы географических ландшафтов, течения в океанах и др.) были прослежены по телевизионным снимкам. Наиболее перспективными они оказались для обнаружения, определения размеров, оценки интенсивности, прогнозирования развития различных природных процессов, таких как движение морских льдов, сход и становление снежного покрова, изменение влажности почв и сезонные изменения водности замкнутых бассейнов. Большое значение ТВ-изображения получили при изучении пространственно-временных природных процессов, которые носили катастрофический характер, таких как пыльные бури, извержения вулканов, лесные и торфяные пожары.

Основной объем информации дают **сканерные снимки** – результат поэлементной и построчной регистрации излучения объектов земной поверхности и передачи информации по радиоканалам. Сканирующие установки, обеспечивают сплошную полосу захвата по орбите полета. Сканерные съемки подразделяются на полученные сканированием оптико-механическим (сканерные снимки) и оптико-электронным (ПЗС-снимки).

В ходе линейной сканерной съемки (рисунок 16) с самолета или спутника сканирующее устройство (качающееся или вращающееся зеркало) последовательно, полоса за полосой, просматривает местность поперек направления движения носителя и посылает лучистый поток на фотоэлектрический приемник, который затем преобразуется в электрический сигнал, далее по каналу связи передается на наземное приемное устройство в цифровой форме и записывается в виде изображения. В полете съемку ведут постоянно, сканируя широкую непрерывную полосу местности.

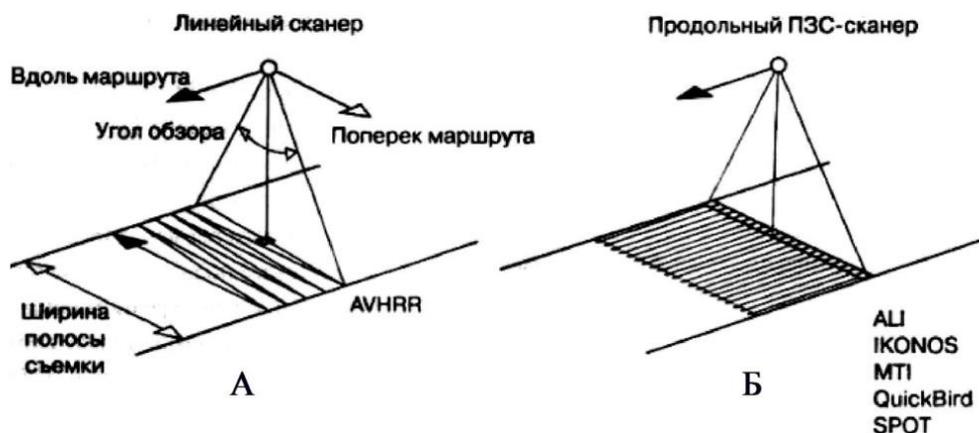


Рисунок 16 – Методы сканирования поверхности Земли

В результате *линейной сканерной съемки* получают снимки со строчной структурой. Накопление строк происходит за счет движения спутника или другого носителя вдоль своей траектории. Причем строки состоят из небольших элементов – пикселей, т.е. элементарных ячеек сканерного изображения. Каждый пиксель отражает интегральную яркость участка местности, соответствующего мгновенному угловому полю зрения сканера, детали внутри этого участка неразличимы.

Важнейшей характеристикой сканера являются угол сканирования (обзора) и мгновенный угол зрения, от величины которого зависят ширина снимаемой полосы и разрешение. В зависимости от величины этих углов сканеры делят на точные и обзорные. У точных сканеров угол сканирования уменьшают до 5° , а у обзорных увеличивают до 50° . Величина разрешения при этом обратно пропорциональна ширине снимаемой полосы.

В целом, качество сканерных изображений уступает фотоснимкам, но оперативность и цифровая форма передачи в реальном режиме времени дают этому методу неоспоримые преимущества.

Кроме механического сканирования в 1980-х гг. начали использовать новый вариант сканирования, когда приемником излучения служит линейка, состоящая из множества миниатюрных (размером в несколько мкм) приемников излучения на основе приборов с зарядовой связью (ПЗС). Термин ПЗС в нашей научной терминологии расшифровывается как Прибор с Зарядовой Связью – своеобразный перевод английского CCD (Charged Coupled Device).

ПЗС-снимки – получают сканированием с использованием линейных ПЗС-приемников излучения. ПЗС - дает изображение сразу целой строки, а движение носителя аппаратуры – накопление строк (рисунок 16). Отсутствие подвижных элементов конструкции поперечных ПЗС-сканеров обеспечивает хорошие геометрические качества изображения, а малые размеры приемников – получение изображения очень высокого разрешения (менее 1 м).

Впервые принцип работы ПЗС с идеей сохранять и затем считывать электронные заряды был разработан двумя сотрудниками известной телефонной корпорации Bell в конце 60-х годов в ходе поиска возможных новых типов памяти для ЭВМ, способных заменить память на ферритовых кольцах. Эта идея оказалась неперспективной, но способность кремния реагировать на видимый свет позволила использовать этот принцип для получения и обработки изображений светящихся объектов.

Стандартный ПЗС – это сложная радиоэлектронная микросхема, на поверхности которой вы можете увидеть небольшое окошечко, представляющее из себя двумерную матрицу из очень маленьких прямоугольных детекторов света, называемых пикселями. Каждый пиксел работает как копилка для электронов. Электроны возникают в пикселях под действием световых квантов (фотонов), пришедших от источника. Во время экспозиции каждый пиксел постепенно заполняется электронами пропорционально количеству попавшего в него света. По окончании съемки электронные заряды, накопленные каждым пикселом, измеряются.

Инфракрасная съемка (ИК). ИК съемка в аэроварианте тепловая аэросъемка (ТАС), обычно осуществляется при помощи сканирующей аппаратуры – тепловизоров, т.е. информация об особенностях земной поверхности складывается из характеристик, получаемых по отдельным участкам, на которые в данный момент времени направлено регистрирующее устройство.

Тепловые инфракрасные радиометрические снимки (или тепловые снимки) получают в результате съемки в тепловом ИК-диапазоне. ИК-радиометры механически сканируют собственное тепловое излучение Земли. Снимки имеют не очень высокое разрешение, в лучшем случае десятки метров.

Освоение инфракрасного (ИК) диапазона (0,78-15,0 мкм) для получения изображений также началось на метеорологических ИСЗ с августа 1964 г. Однако вначале, вследствие низкого пространственного разрешения они не нашли должного применения. С развитием специальных многоспектральных сканирующих систем ИК-изображения стали затем достаточно широко использоваться во многих отраслях производства и науки.

Тепловая ИК-съемка может применяться при поисках подземных вод, выявлении элементов тектоники, прямых поисках залежей нефти, решения экологических задач. ИК-съемка в «окне прозрачности» 8-12 мкм предназначена для исследования облачности и собственного теплового излучения Земли, а по ИК-материалам в «окне прозрачности» 3,4-4,2 мкм могут идентифицироваться, например, следы перестройки речной сети, древние русла рек, разновозрастные террасы, разнотипные горные породы, тектонические нарушения, различия в увлажнении почв и растительном покрове, проявления вулканической деятельности, океанические течения и разнотипные водные массы.

Основными достоинствами инфракрасной радиометрии температуры поверхности являются высокая радиометрическая чувствительность (именно на этот диапазон приходится максимум интенсивности излучения в диапазоне температур 0-30 °С), незначительные вариации излучательной способности, вызванные состоянием поверхности воды, хорошее пространственное разрешение, достигнутое в оперативных спутниковых системах (до 10 м). Основной проблемой количественной интерпретации данных дистанционного зондирования, полученных в инфракрасном диапазоне, является атмосферная коррекция.

Фонд материалов съемки в тепловом ИК-диапазоне накапливается с 1960-х гг., а в последние десятилетия наблюдается повышение интереса к этому типу съёмки для изучения природных и антропогенных объектов и процессов. Снимки в тепловом инфракрасном диапазоне используются как для изучения природных ресурсов, так и в интересах исследования антропогенных объектов и процессов. Так, тепловые снимки с метеорологических спутников содержат информацию о тепловой структуре вод океана. NASA предоставляет пользователю глобальные карты дневных, ночных, осреднённых за неделю, месяц температур поверхности океана. Тепловые снимки с метеорологических спутников также содержат информацию о структуре и состоянии снежного и ледового покрова моря и суши. Тепловые снимки с метеорологических и ресурсных спутников нашли достаточно широкое применение в геологии. Они используются для решения задач структурно-тектонического и литологического картографирования, изучения минерального состава пород, при поиске полезных ископаемых, например, рудных и нефтегазовых месторождений, а также для выявления тектонических элементов. Материалы тепловых ИК-съёмок из космоса эффективно применяются при исследованиях зон современного вулканизма, землетрясений, выявлении термальных водных источников и водоносных горизонтов, изучении процессов развития карста и термокарста. Тепловые снимки используются для мониторинга таких неблагоприятных природных явлений, как, например, лесных пожаров, торфяных пожаров. В сельском хозяйстве тепловая съёмка применяется для контроля проведения мероприятий мелиорации и ирригации. Достаточно широко тепловые снимки применяются и для изучения состояния растительности. Развивается применение тепловых снимков в изучении ландшафтов. Очень широко тепловая съёмка применяется для исследования и мониторинга антропогенных объектов, таких как трубопроводы, станции аэрации, потоки загрязнённых вод, промышленные объекты и объекты городского хозяйства.

Радиолокационные снимки получают при активном методе съёмки, когда антенна съёмочной системы генерирует радиоизлучение, оно отражается поверхностью и улавливается регистрирующей аппаратурой. Отражение сигнала зависит от рельефа поверхности, ее шероховатости, структуры и состава слагающих пород, характера растительности и влажности почв. При определенных длинах радиоволн они способны проникать под поверхность и отражать, например, линзы подземных вод.

Разрешение снимков зависит от размера антенны и при антенне длиной в несколько метров составляет 1-2 км. Искусственно удлиняя антенну (так называемая синтезированная апертура), выполняют съемку с разрешением порядка 20 м. На самолетах и космических носителях используют радиолокаторы бокового обзора, они ведут съемку поперек направления движения носителя. Поэтому пересеченный рельеф дает радиотени, что обеспечивает выразительное изображение.

Основное достоинство радиолокационной съемки – ее всепогодность. Очень удобна для исследования океана – его волнения, загрязнения. Радиолокацию применяют и при изучении планет, в частности Венеры, постоянно закрытой плотными облаками. Принцип бокового обзора используют и для получения гидролокационных снимков с помощью аппаратуры, генерирующей и регистрирующей звуковые волны.

Микроволновые радиометрические снимки (0,3-10 см) получают в коротковолновом (СВЧ – сверхвысокочастотном) радиодиапазоне также с использованием принципа механического сканирования. Приемниками излучения служат антенны, разрешение снимков ограничено несколькими километрами. В этом диапазоне спектра атмосфера очень слабо влияет на интенсивность восходящего излучения и облака практически «прозрачны» для него.

Недостатки микроволновой радиометрии заключаются прежде всего в том, что излучательная способность сильно зависит от состояния поверхности (прежде всего от степени шероховатости). Серьезной помехой для повышения точности оценок температуры поверхности воды по микроволновым данным является низкая флуктуационная чувствительность микроволновых радиометров, что требует значительно увеличивать время интегрирования сигнала и приводит к значительному увеличению размера элемента разрешения.

Лазерная (лидарная) съемка. Среди новых видов локационных изображений следует отметить снимки, получаемые с помощью лазерных локаторов – лидаров. Лидары – зондирующие устройства, состоящие из импульсного источника излучения (лазера) и высокоточного приемного устройства, обеспечивающего анализ спектрального состава принятого эхосигнала. В схеме работы лидаров можно использовать такие физические явления, как резонансное и комбинационное рассеяние, резонансное поглощение. Диапазон волн – инфракрасный или ультрафиолетовый диапазон электромагнитного спектра.

Лидарная съемка является активной и основана на непрерывном получении отклика от отражающей поверхности, подсвечиваемой лазерным монохроматическим излучением с фиксированной длиной волны. Частота излучателя настраивается на резонансные частоты поглощения сканируемого компонента (например, приповерхностного метана), так что в случае его заметных концентраций соотношение откликов в точках концентрирования и вне их будут резко повышенными. Фактически лидарная спектрометрия – это геохимическая съемка приповерхностных слоев атмосферы, ориентированная на обнаружение микроэлементов или их соединений, концентрирующихся над современно активными геоэкологическими объектами. Устройства лидарной съемки обходятся на низковысотных носителях.

Ультрафиолетовая (УФ) и лазерная (ЛС) съемки используются преимущественно для контроля загрязняющих компонентов приземных частей атмосферы, для оценки воздействия промышленных объектов, территорий урбанизации и сельскохозяйственной деятельности на окружающую среду.

Гиперспектральная съемка – раздел прикладной оптики, который изучает растровые изображения, каждый пиксел которых связан не с отдельным значением интенсивности света, а с полным спектральным разложением оптической энергии в границах

какого-либо частотного диапазона. Излучение регистрируется в большом числе узких (до 10 нм) спектральных зон – от нескольких десятков до нескольких сотен. Эти значения обычно не ограничиваются видимым светом и нередко включают в себя также другие длины волн, например – ИК-диапазон. Собранный таким образом информация, как правило, представляется для анализа в виде гиперкуба, оси которого соответствуют распределению зарегистрированных спектроскопических характеристик (отражаемости, флюоресценции, рамановского спектра и т. п.), пространственным координатам и, нередко, времени.

Материалы гиперспектральной съемки особенно ценны для экологического мониторинга и картографирования, позволяет определять даже минералогический состав горных пород, расширяет возможности исследования атмосферы и океана, их загрязнения. В настоящее время гиперспектральные методы активно используются в самых разнообразных приложениях, среди которых можно выделить медицину, контроль качества материалов, диагностику заболеваний, детекцию движущихся транспортных средств, мониторинг окружающей среды, дистанционное зондирование и т.д.

Практическая работа № 2 (4 часа) **Определение параметров глобальной съемки Земли**

Цель – определить параметры глобальной съемки Земли со спутника, находящегося на круговой полярной орбите, изучить спутниковую карту Земли и современную спутниковую группировку в режиме он-лайн.

Задание 1. Определить параметры глобальной съемки Земли со спутника, находящегося на круговой полярной орбите, по данным таблицы 7:

- а) период обращения спутника вокруг Земли;
- б) число витков, опоясывающих Землю за сутки;
- в) угловое межвитковое расстояние и межвитковое расстояние на экваторе в километрах;
- г) ширины полосы обзора;
- д) суточное смещения трассы спутника (опережение или опоздание).

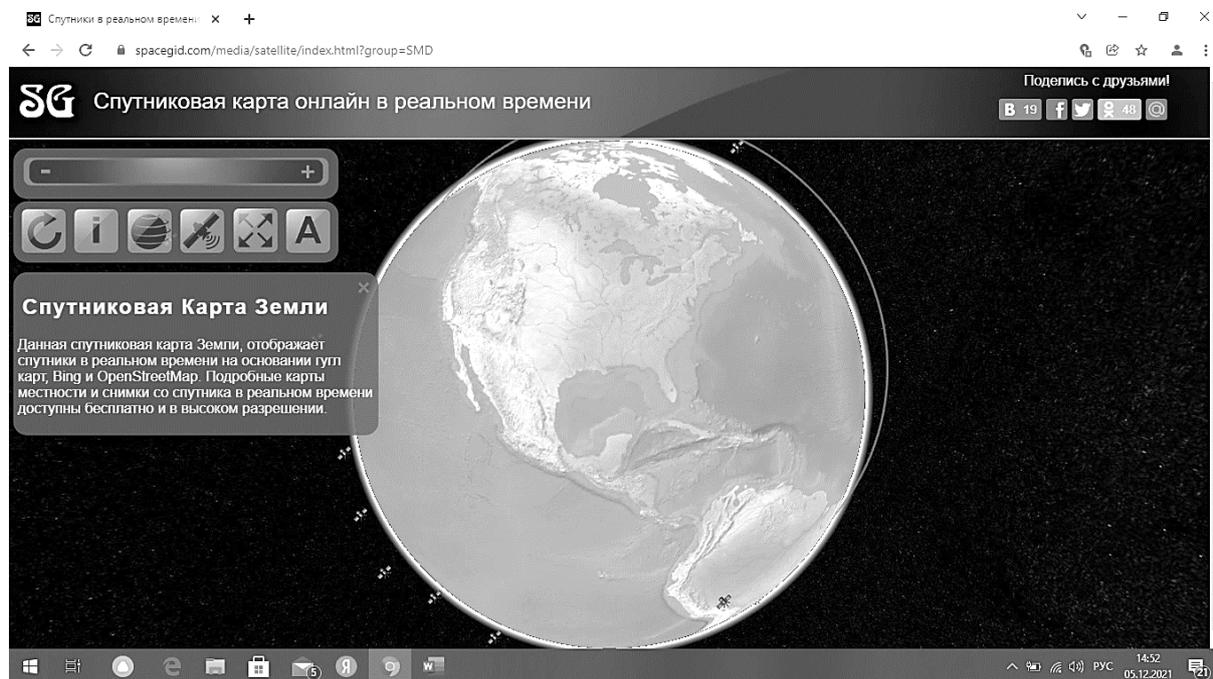
Задание 2. Построить схемы первых трех полос съемки Земли со спутника за первые сутки и за вторые сутки.

Таблица 7 – Параметры спутника

Вариант	Высота орбиты (км)	Угол обзора (градусы)
1	1440	30
2	1700	42
3	900	50
4	480	68
5	380	70
6	1250	38
7	600	50
8	1350	48

Задание 3. Изучить спутниковую карту он-лайн в реальном времени по ссылке: <https://spacegid.com/media/satellite/index.html?group=SMD>

Спутниковая карта Земли отображает спутники в реальном времени на основании гугл карт, Bing и OpenStreetMap. Спутники выводятся на основании их расчетных позиций. Подробные карты местности и снимки со спутника в реальном времени доступны бесплатно и в высоком разрешении.



Порядок действий:

1. Наведите указатель мыши на спутник, чтобы увидеть его название.
2. Нажмите на спутник, чтобы увидеть информацию о нем, включая ссылки на дополнительные сведения из Национального центра анализа данных космических исследований. Увеличьте изображение путем прокрутки колеса мыши, для более близкого просмотра орбиты спутника.
3. Нажмите на иконку «Изменить глобус», чтобы выбрать тип карты и другую точку зрения в 3D, в 2D, под наклоном.
4. По умолчанию отображаются научные спутники НАСА. Нажмите на иконку «Спутники», чтобы посмотреть другую группу или найти определенный спутник.

Задание 4. Изучить спутниковую группировку в режиме он-лайн в реальном времени: 1) найти 100 самых ярких спутника; 2) запуски за последние 30 дней; 3) изучить спутниковые группировки (по вариантам), зафиксировав результат по пяти спутникам группировки в таблицу (форма 1), по ссылке <https://ru.wikipedia.org> определите страны мира, запустившие спутники.

Варианты заданий:

- Вариант 1. Мониторинг чрезвычайных ситуаций;
- Вариант 2. Земные ресурсы;
- Вариант 3. Поиск и спасение;
- Вариант 4. Отслеживание и ретрансляция данных;
- Вариант 5. Погода;
- Вариант 6. Любительское радио;
- Вариант 7. Экспериментальные;
- Вариант 8. Геостационарные;
- Вариант 9. Спутники GPS;
- Вариант 10. Спутники Glonas;

- Вариант 11. Спутники Galileo
- Вариант 12. Образовательные;
- Вариант 13. Инженерные;
- Вариант 14. Геодезические;
- Вариант 15. Космическая и земная наука;
- Вариант 16. Разные военные спутники.

Форма 1

Вариант __. Спутниковая группировка _____

Спутники	ID Спутника	Широта (°)	Долгота(°)	Скорость (км/с)	Высота (км)

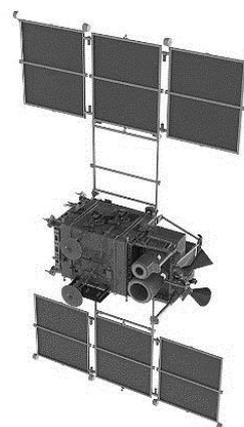
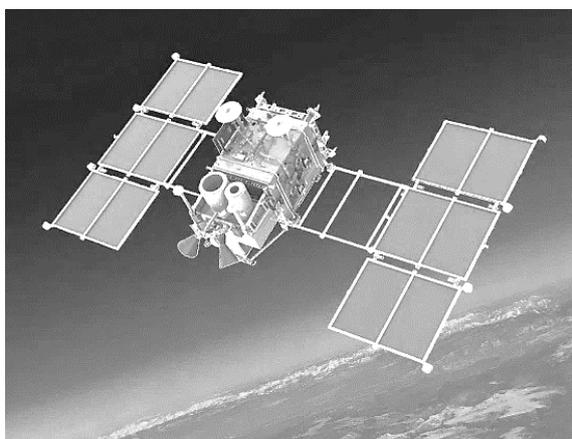
Практическая работа 3 (4 часа) Беларусь – космическая держава

Цель – изучить материалы сайта УП «Геоинформационные системы», раскрывающие деятельность Беларуси в области космических технологий.

Задание 1. Зайти на сайт УП «Геоинформационные системы» по ссылке: <https://gis.by/ru/>. Открыть на панели раздел «Технические средства» и изучить вопросы:

1. Космическая группировка (БКСДЗ).

Белорусский космический аппарат (БКА) и космический аппарат «Канопус-В» №1, разработанные ОАО «Корпорация «ВНИИЭМ» с международной кооперацией предприятий, были успешно запущены на орбиту 22 июля 2012 года и сегодня находятся в штатной эксплуатации.



2. Белорусский космический аппарат (БКА). Заполните таблицу «Основные характеристики БКА» форма 1. Перечислите области применения Белорусского космического аппарата (БКА).

Наименование параметра	Панхроматическая съёмочная система (ПСС)	Мультиспектральная съёмочная система (МСС)
Тип орбиты		
Высота орбиты, км		
Срок активного существования не менее, лет		
Масса КА, кг		
Масса полезной нагрузки, кг		
Кратность орбиты		
Число витков в сутках		
Возможность коррекции орбиты		
Среднесуточная мощность, Вт		
Точность ориентации, угл.мин		
Точность стабилизации, град/с		
Время перенацеливания ($\pm 40^\circ$), мин		
Объём памяти, ГБ		
Наклонение, град		
Диапазон рабочих частот, МГц		
Проекция пиксела при съёмке в надир при H=510км, м		
Полоса захвата при H=510 км, км		
Границы спектрального диапазона (по уровню 0,1), мкм		
Центр спектрального диапазон, мкм		
Полная ширина спектрального диапа- зона (по уровню 0,5), мкм		
Количество спектральных каналов		
Радиометрическое разрешение		
Формат поставляемых изображений продукции		
Формат, версия метаинформации по- ставляемых изображений продукции		

Области применения Белорусского космического аппарата (БКА):

3. Космический аппарат «Канопус-В» №1. Заполните таблицу «Технические характеристики» форма 2. Перечислите области применения Космический аппарат «Канопус-В» № 1.

Форма 2

Наименование параметра	Панхроматическая съемочная система (ПСС)	Мультиспектральная съемочная система (МСС)
Тип орбиты		
Высота орбиты, км		
Наклонение, град		
Точность ориентации, град		
Срок активного существования не менее, лет		
Период наблюдения, сутки		
Масса КА, кг		
Масса полезной нагрузки, кг		
Мощность, Вт		
Размер КА, м		
Фокусное расстояние, м		
Относительное отверстие		
Спектральные диапазоны, мкм		
Разрешение на местности, м		
Ширина полосы захвата, км		
Скорость передачи данных, Мбит/сек		
Емкость ОЗУ, Гбайт		

Области применения Космического аппарата «Канопус-В» № 1:

4. Наземный комплекс приема и обработки данных ДЗЗ. Аппаратно-программный комплекс приема данных дистанционного зондирования Земли (АПК ПД) предназначен для приема радиосигналов от радиолиний передачи целевой информации с космических аппаратов дистанционного зондирования Земли (КА ДЗЗ), их демодуляции, декодирования, регистрации и временного хранения. В состав АПК ПД входят три станции приема космической информации (таблица 8)

Таблица 8 – Станции приема космической информации наземного комплекса приема и обработки данных ДЗЗ

Станции приема космической информации		
1. Белорусско-российский высокоинформативный приемный комплекс (БРВПК)	2. Станция приема L/X-диапазонов	3. Станция приема метеорологической информации системы распределения данных EUMETSAT
Диаметр зеркала антенной системы – 9 м	Диаметр зеркала антенной системы – 3,5 м	Диаметр зеркала антенной системы – 1,2 м
		
Предназначен для приема и регистрации информации, поступающей по радиоканалу X-диапазона с белорусского космического аппарата (БКА), КА серии «Канопус-В», а также метеоспутников «TERRA», «AQUA», «SUOMI NPP», «NOAA 20», «NOAA 21», «Fengyun-3D», «Fengyun-3E».	Предназначена для приема, демодуляции, декодирования и регистрации (передачи в темпе приема на средства обработки) информации, поступающей с метеоспутников «NOAA 18», «NOAA 19» «MetOp-B», «MetOp-C», «TERRA», «AQUA», «SUOMI NPP», «NOAA 20», «NOAA 21», «Fengyun-3D», «Fengyun-3E».	Предназначена для приема метеорологической информации.

Задание 2. На сайте УП «Геоинформационные системы» по ссылке: <https://gis.by/ru/> откройте вкладку «Космическая съемка». Интерактивный сервис MeteoEye предоставляет данные на европейскую территорию, получаемые с метеорологических космических аппаратов на собственную станцию приема УП «Геоинформационные системы», в режиме времени, близкому к реальному.

Запишите в таблицу (форма 3) данные каких метеорологических космических аппаратов могут быть использованы, их сенсоры? Установите страны мира, которым они принадлежат по ссылке: https://ru.wikipedia.org/wiki/Категория:Искусственные_спутники_по_странам.

Адрес сервиса MeteoEye: <https://meteoeye.gis.by/>.

Форма 3

Метеорологические космические аппараты, их сенсоры, страна происхождения

Метеорологические космические аппараты	Сенсоры	Страна происхождения
AQUA	AIRS, MODIS	
MetOp-A	AVHRR, AMSU, HIRS, IASI, MHS	
MetOp-B	AVHRR, AMSU, HIRS, IASI, MHS	

MetOp-C	AVHRR, AMSU, IASI, MHS	
NOAA18	AVHRR, AMSU	
NOAA19	AVHRR, AMSU, HIRS, MHS	
NOAA20	ATMS, CRIS, VIIRS	
Suomi NPP	ATMS, CRIS, VIIRS	
TERRA	MODIS	
Feng-Yun 3D	MERSI, HIRAS, MWHS, MWTS, MWRI	

Задание 3. Составьте перечень стран мира с наибольшим числом спутников в космосе (более 50), отыскав информацию по ссылкам:

- 1) https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Космические_спутники_стран_мира;
- 2) https://ru.wikipedia.org/wiki/Категория:Искусственные_спутники_по_странам

ТЕМА 3. ТЕМАТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА И НАПРАВЛЕНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ДИСТАНЦИОННОМ МОНИТОРИНГЕ ГЕОСИСТЕМ

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 «дешифрирование».

Морфографическое дешифрирование заключается в получении необходимой информации об объектах в результате визуального рассматривания аэрофотоснимков или путем использования увеличительных и стереоскопических приборов (лупы, стереоскопы).

Морфометрическое дешифрирование основано на получении количественных характеристик об изучаемых объектах 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 превышения одних точек над другими измеряются разности продольных параллаксов данных точек.

Инструментальное дешифрирование состоит из фотометрического изучения аэронегативов или позитивов, т.е. получение необходимых сведений об объектах и их свойствах путем изучения 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, размер, тень).

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

Размер. 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 сложных (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. По выраженности границы тени можно определить профили водораздельных поверхностей, гребней форм эолового рельефа и т.д. Важную роль играет падающая тень при дешифрировании растительности, т.к. для каждой породы свойственна своя специфическая форма кроны, что находит отражение в ее тени и позволяет определить ее видовой состав.

Однако иногда тень мешает процессу дешифрирования. Например, на теневой стороне горы трудно дешифровать 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 (уровень яркости, цвет, фототон).

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 обуславливается следующими факторами: условиями освещенности, цвета и структуры поверхности, физического состояния объекта, типа фотографического материала и условий его обработки, зоны электромагнитного спектра, в котором проводилась съемка, и ряда 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 не одинаковую 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 – к ним относят воду, 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 (таблица 9), которая имеет семь-десять градаций серого тона, тогда как человеческий глаз может различить до 25 ступеней серых тонов.

Таблица 9 – 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	0,4-0,6
Серый	Средняя плотность	0,7-1,1
Темно-серый	Максимальная плотность	1,2-1,6
Почти черный	Тон, превышающий максимальную плотность	1,7-2,1
Черный	Крайний визуально различимый тон шкалы	2,2 и более

Цвет. Цветные снимки обладают большей информативностью, чем черно-белые, т.к. обладают значительно большим количеством оттенков. Изучение цветных снимков удобнее для дешифровщика, так как 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 спектрально-анализированных 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, структура, текстура).

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.

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 при изучении ландшафтов и бывает прямолинейным, древовидным, пятнистым, зернистым и дугообразным (рисунок 17).

Прямолинейным рисунком на снимках изображается дорожная и мелиоративная сеть (рисунок 17 а).

Древовидный рисунок характерен для территории с развитой овражно-балочной сетью и дает представление о характере расчлененности территории (рисунок 17 б).

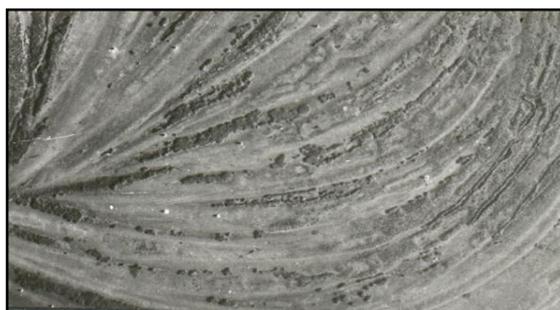
Характер изображения *пятнистого рисунка* зависит от ландшафта, который он отражает и в основном состоит из пятен различного тона и формы, размер которых зависит от масштаба съемки (рисунок 17 в).

Зернистый рисунок образуется при изображении отдельно стоящих деревьев, стогов и т.д. (рисунок 17 г).

Дугообразный рисунок характерен для пойменных ландшафтов и формируется в результате чередования дугообразных различной ширины темных и светлых полос (рисунок 17 д).



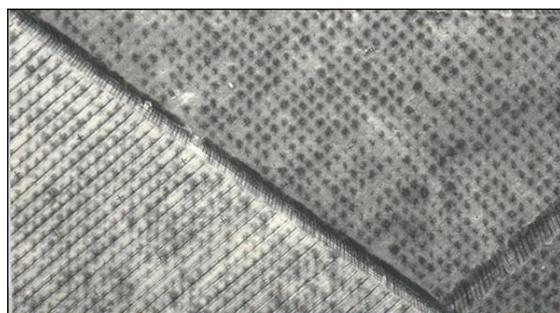
а) Прямолинейный



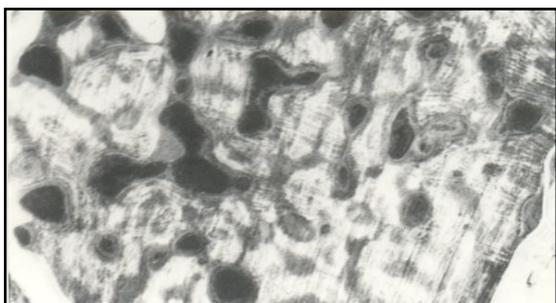
д) Дугообразный



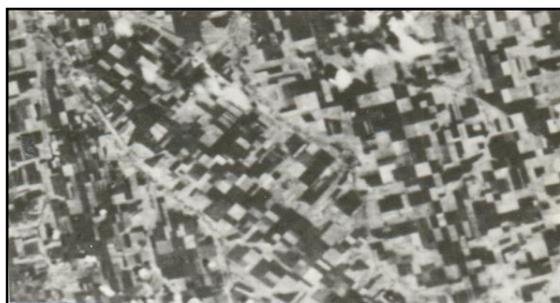
б) Древовидный



ж) Регулярный



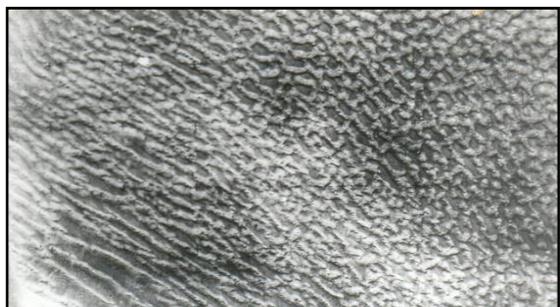
в) Пятнистый



з) Прямоугольный



г) Зернистый



е) Полосчатый

Рисунок 17 – Образцы рисунков аэрокосмического фотоизображения

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 является *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 геологическом и гидрологическом дешифрировании, когда по растительности удастся определять глубину залегания и минерализацию грунтовых вод.

При косвенном дешифрировании используются следующие индикационные признаки растительности:

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

Флористические (видовые) признаки позволяют 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 - жёлтый.

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 подчёркивает условия произрастания.

Фитоценотические признаки позволяют дешифрировать типы лесной растительности и ассоциации луговой растительности, которые приурочены к определённым 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 является индикатором самых разнообразных процессов и явлений и 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 собой 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 накидным монтажах и фотосхемам, на которых можно сразу обозреть значительный участок местности.

Дешифрирование дорожной сети. Дорожная сеть представляет собой сочетание различных типов дорог: железных, шоссейных и автомобильных, грунтовых, полевых и др. Основными дешифровочными признаками дорожной сети являются 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. Отличительной чертой является прямолинейность отрезков пути, плавные повороты большого радиуса, снегозащитные полосы вдоль полотна дороги, наличие насыпей и выемок, станций и развязок, придорожных лесонасаждений (рисунок 18 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 является надежным косвенным дешифровочным признаком железной дороги. Рельсовые пути и линии придорожных канав, местами защищённые лесонасаждениями, создают на аэрофотоснимках характерный продольно-полосчатый рисунок железной дороги при общем тёмно-сером или сером тоне её изображения.



а) Железная дорога



б) Шосейные дороги



в) Шосейная и полевые дороги



г) Проселочные дороги



д) Проселочные и полевые дороги



е) Лесные дороги

Рисунок 18 – Изображение на аэроснимках различных типов дорог

Шоссейные дороги изображаются ровными линиями светлого тона и пересекаются с другими дорогами в большинстве случаев под прямым углом (рисунок 18 б). Повороты шоссе значительно круче, чем у железных. Автострады от других шоссе отличаются большей шириной полотна, наличием разделительной полосы, отсутствием пересечений с другими дорогами, наличием дорог-съездов, специальных развязок, трасса проходит, минуя населённые пункты.

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

Грунтовые дороги имеют вид более узких, чем шоссе, извилистых линий. В отличие от дорог высшего класса они гораздо более извилисты, имеют крутые повороты, объезды и раздвоения. Тон аэрофотоизображения грунтовых дорог зависит от степени их разъезженности: чем сильнее наезжена дорога, тем светлее линия дороги на снимке.

Полевые дороги отходят от населенного пункта, шоссе, грунтовых дорог и изображаются на снимках в виде узких светлых линий (рисунки 18 г, д). Данный вид дорог прокладывается по основным видам сельскохозяйственных угодий, соединяя дороги более высокого ранга (например, грунтовые). Они могут прокладываться также в лесу, но, как правило, обрываются. 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 (рисунок 19 а). По изменению (почернению) фототона достоверно дешифрируются границы и площади разливов, последовательность затопления поймы, характер происходящих в ней эрозивно-аккумулятивных процессов и ряд других гидрологических явлений.

Изображение малых рек отличается большей извилистостью, для них также характерен темный тон фотоизображения (рисунок 19 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.

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

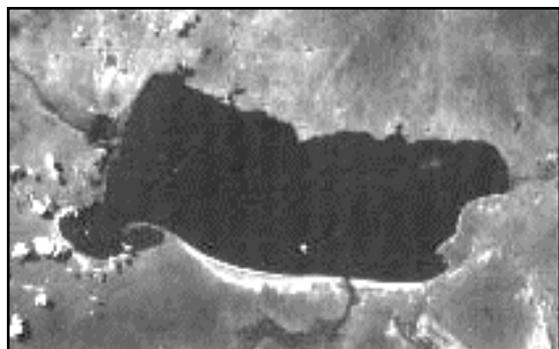
Песчаные отмели по берегам рек и озер изображаются в виде ярко-белого окаймления вдоль береговой линии или закругленных выступов на поворотах реки. По изменению изображения отмелей на снимках можно следить за динамикой рельефа дна рек, процессами переформирования берегов.



а) Река и ее долина



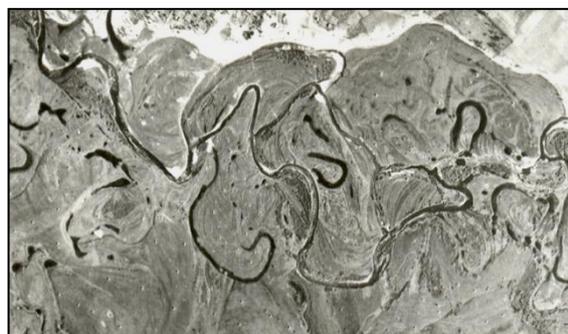
б) Ручей



в) Озеро



г) Водоохранилище



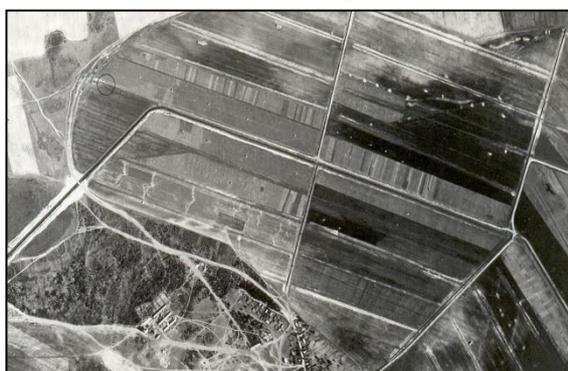
д) Староречище



ж) Пойменное озеро (старица)



з) Центральный мелиоративный канал



е) Мелиоративная сеть

Рисунок 19 – Изображение на аэроснимках некоторых элементов гидрографии

Направление течения рек можно определить по следующим признакам:

- мелкие реки даже на небольшом расстоянии заметно становятся 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 характеризуется однородным рисунком фотоизображения (рис 20 в). Для пойменных старичных озёр характерна серповидная форма (рисунок 19 ж), озёра моренных ландшафтов опознаются по изрезанности береговой линии неправильной формы, часто вытянутой. Болотные озёра имеют более округлую форму, иногда с растительностью около береговой линии.

Пруды по своим дешифровочным признакам близки к озёрам, иногда они имеют прямоугольную форму и приурочены по своему расположению к населённым пунктам. Для водохранилищ характерна вытянутая форма контуров, а также наличие дамб и запруд (рисунок 19 г).

Каналы на аэрофотоснимках имеют правильную, линейную форму, дешифрируются по одинаковой ширине и резко очерченным краям русла, наличием гидротехнических сооружений (рисунки 19 з, е). 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 съёмки 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 съёмки для топографических целей необходимо учитывать соответствие фазы уровня 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 (рисунок 20 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.

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 годов хорошо озеленены.



а) Населенный пункт городского типа



б) Населенный пункт сельского типа



в) Хутора



г) Садоводческое товарищество



д) Огороды вблизи жилых построек



ж) Животноводческий комплекс

Рисунок 20 – Изображение на аэроснимках населенных пунктов и построек

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 (рисунок 20 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 светло-серого до темного в зависимости от сезона съемки и произрастающих культур (рисунок 20 д).

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

По окраинам или вблизи населённых пунктов иногда расположены *животноводческие фермы*, которые изображаются на снимках удлинёнными очень светлыми прямоугольниками (рисунок 20 ж). 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 окружённых пахотными угодьями (рисунок 20 в). Чётко различается на более однородном фоне участки под огородом и садом, примыкающие к постройкам.

Участки с постройками **садоводческих товариществ** отличаются от сельских населённых пунктов, в первую очередь, рисунком фотоизображения, обусловленным характером застройки (рисунок 20 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 тёмного 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 распознавание проводится по прямым признакам дешифрирования – тону, размеру, форме, рисунку фотоизображения (рисунок 21 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 (рисунок 21 б).

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.

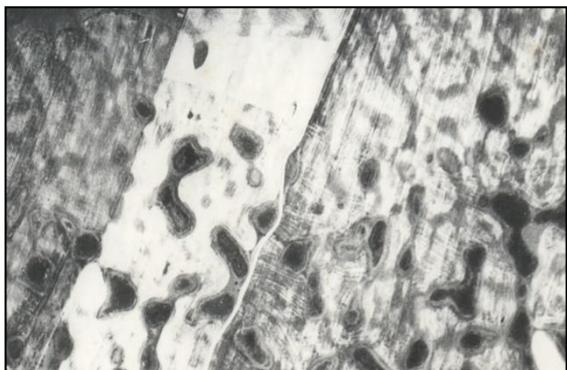
На достоверность выделения контуров пахотных земель влияет их соседство с другими видами угодий – очень контрастны границы пашни и леса, менее контрастны границы пашни и сенокосов.



а) Пашня



б) Пашня под стерней



в) Пашня с суффозионными западинами



г) Пашня с овражно-балочной сетью

Рисунок 21 – Изображение на аэроснимках пахотных угодий

Сады, занимающие небольшие площади и располагающиеся вблизи населённых пунктов, изображаются в виде контуров с прямолинейными очертаниями, зернистым рисунком, представленным зёрнами различной величины, равномерно расположенными друг от друга и образующими ряды (рисунок 22 г). Тон зёрен (деревьев) – серый, падающая тень – тёмно-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 (рисунок 22 а).

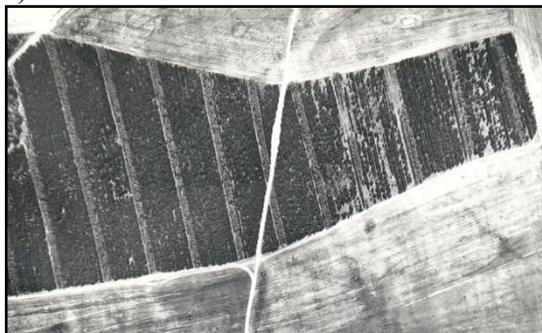
Для распознавания видового состава растительности важным дешифровочным признаком является тон фотоизображения, а также форма крон деревьев. Лиственные леса распознаются по их более светлому тону фотоизображения по сравнению с темным тоном хвойных лесов. По видовому составу лиственные породы дешифрируются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



а) Смешанный лес



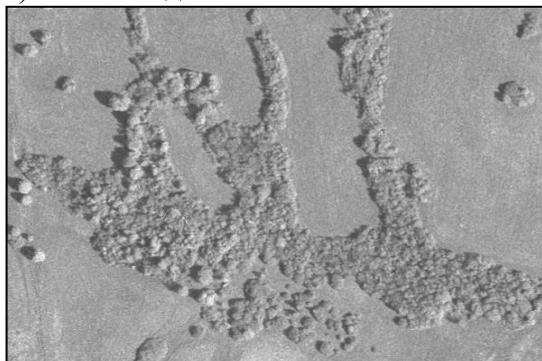
б) Вырубка



в) Лесопосадки



г) Сады



д) Кустарник (ива)



ж) Закустаренный луг

Рисунок 22 – Изображение на аэроснимках древесной и кустарниковой растительности

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 редколесья* отличается тем, что их изображение имеет более мелкую зернистость, чем изображение леса (рисунок 22 д). Молодые посадки на аэрофотоснимках различаются по высоте насаждений и прямолинейности границ. В насаждениях до 5 лет заметны посадочные ряды (рисунок 22 в).

Гари дешифрируются по светло-серому тону с границами неправильной формы. Сухостой различается по светлому тону крон с неясно очерченными серыми тенями. *Вырубки* распознаются по прямолинейности границ, тон изображения – светлый (рисунок 22 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 тёмно-серых тонов. Незакустаренные участки отличаются ровным однородным, реже пятнистым, рисунком изображения (рисунок 23 а). Для закустаренных участков характерен зернистый рисунок изображений (рисунок 22 ж). Скошенные луга изображаются в светлых тонах, а стога сена на них – в виде светлых точек различной величины округлой куполовидной формы.

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

Если дешифрирование снимков проводится для изучения почвенного покрова, то оптимальными сроками аэрокосмической съёмки 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 тёмного 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 тёмный тон (рисунок 23 г). Низкорослая сосна изображается серым тоном, её изреженность придаёт 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, берёзы с покровом из болотных кустарников 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 полог более сомкнутый (рисунок 23 д).

Низинные болота. На низинных болотах из древесной растительности произрастают ель, берёза, чёрная ольха. Они приурочены к пониженным элементам рельефа. Из кустарников произрастает ива, заросли её изображаются мелкозернистым рисунком серого тона. Травяные болота (тростниковые и осоковые), как правило, имеют ровный тёмно-серый тон (рисунок 23 ж).

Пойменные болота. Эти болота хорошо различаются под стереоскопом по приуроченности к поймам рек и ручьёв. Общий тон изображения тёмно-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 показала возможность быстрого, оперативного составления карт земельных угодий, по качеству превосходящих аналогичные карты, составленные в результате многолетнего кропотливого труда по крупномасштабным планам землепользования.



а) Луг суходольный



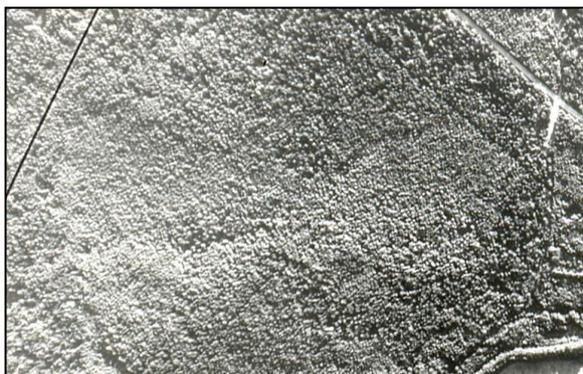
б) Луг заболоченный



в) Луг пойменный



г) Верховое болото
(с квартальной сетью)



д) Переходное болото



ж) Низинное болото

Рисунок 23 – Изображение на аэрснимках луговых угодий и болот

Практическая работа 4 (6 часов) **Дешифрование топографических** **и социально-географических объектов**

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

Порядок выполнения работы:

1. Выбрать территорию для дешифрирования.
2. Найти аэрокосмоснимок на любом доступном для скачивания сайте.
3. Провести автоматическое дешифрирование космоснимка в следующей последовательности:
 - дорожная сеть (железные, шоссейные, полевые и лесные, проселочные дороги);
 - гидрографическая и мелиоративная сеть,
 - населённые пункты;
 - земельные угодья.

ТЕМА 4. СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ОРГАНИЗАЦИИ **И ВЕДЕНИЯ ДИСТАНЦИОННОГО МОНИТОРИНГА** **ГЕОСИСТЕМ**

Теоретический материал

1. Многозональная съемка.
2. Методика визуального дешифрирования многозональных снимков.

1. Многозональная съемка. 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. 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 различных зонах спектра.

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, 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.

2. 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 линии озер и морей. При дешифрировании макрорельефа (горных хребтов, сети линейных элементов) также иногда используют снимки в этой зоне, так как 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 талого 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 зонах, 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.

Практическая работа 5 (4 часа)

Использование многозональных аэрокосмических снимков в географических исследованиях

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

Задание 1. Ознакомиться с содержанием зональных снимков, синтезированных изображений и тематических карт, составленных по результатам дешифрирования материалов многозональной съемки (по вариантам). Проанализировав текст и материалы варианта 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.

Источники информации:

1. Атлас «Дешифрирование многозональных аэрокосмических снимков. Методика и результаты». Наука, Москва, Akademie-Verlag, Berlin, 1982.
2. Атлас «Дешифрирование многозональных аэрокосмических снимков. Сканирующая система «Фрагмент». Методика и результаты». Наука, Москва, Академи-ферлаг, Берлин, 1988.
3. Геопространственное агенство: <https://innoter.com/otraslevye-resheniya/>.
4. Обработка многозональных космоснимков в MultiSpec: <https://gis-lab.info/qa/multispec-sat.html>.

ТЕМА 5. ГЕОЭКОСИСТЕМНЫЙ МОНИТОРИНГ

Теоретический материал

1. Общие представления о геоэкоцистемном мониторинге, его виды
2. Геосистемы и экосистемы как объекты мониторинга
3. Дистанционный геоэкоцистемный мониторинг.
4. Обработка данных дистанционного зондирования Земли в технологии точного земледелия.

1. Общие представления о геоэкоцистемном мониторинге, его виды. Достаточно полное представление о состоянии природной среды невозможно без исследований целостных природных образований – геосистем и экосистем. Регулярное слежение за состоянием этих объектов с целью оценки и прогноза их изменений под влиянием антропогенных и естественных факторов можно назвать геоэкоцистемным (ландшафтно-экологическим) мониторингом. Основная задача мониторинга – выявление условий и закономерностей изменения природных систем и составляющих их компонентов под влиянием антропогенных факторов (в том числе в результате загрязнения). Наблюдения за состоянием компонентов должны проводиться сопряженно с учетом взаимосвязей между ними и в границах геосистем. Помимо покомпонентных параметров необходимо определять интегральные показатели, характеризующие природные системы в целом.

Главная практическая цель геоэкоцистемного мониторинга – своевременное выявление негативных изменений геосистем и экосистем локального и регионального уровней. Слежение должно проводиться за состоянием трех важнейших групп геосистем и экосистем: природных (с естественным режимом), природно-антропогенных (прежде всего сельскохозяйственных и лесохозяйственных) и антропогенных (например, городских территорий). Особенно важно проведение мониторинга на территориях, характеризующихся преобладанием преобразованных человеком ландшафтов. В связи с этим целесообразно различать следующие виды ландшафтно-экологического мониторинга:

а) мониторинг природно-заповедных ландшафтов – состоит в слежении за развитием эталонных комплексов с целью охраны и обеспечения их устойчивости на основе сохранения присущей им естественной функциональной структуры и нормального хода природных процессов;

б) мониторинг лесохозяйственных ландшафтов – заключается в контроле за эксплуатацией, естественным восстановлением и состоянием лесонасаждений, формированием лесных комплексов с максимальной полнотой и высоким бонитетом древостоев;

в) мониторинг агроландшафтов – включает контроль за состоянием плодородия почв, водно-тепловым режимом и биологической продуктивностью агроэкоцистем, их состоянием в течение вегетационного периода;

г) мониторинг аквальных природных комплексов – осуществляет контроль за функционированием технических систем и развитием характерных природно-антропогенных процессов (заилением, эвтрофикацией, подтоплением и др.);

д) мониторинг селитебных и рекреационных ландшафтов – включает контроль за их состоянием и соответствием их среды санитарно-гигиеническим нормам, устойчивостью против промышленных, градостроительных, рекреационных и сопряженных с ними нагрузок.

2. Геосистемы и экосистемы как объекты мониторинга. Геосистемы (природные комплексы, ландшафты) – это сочетания взаимосвязанных природных компонентов и соподчиненных комплексов, относительно ограниченные в пространстве и функционирующие как одно целое. Экосистемами называют совокупности живых организмов и среды их обитания, которые взаимодействуя между собой, образуют единые сочетания. Несмотря на определенные различия (в направленности изучаемых связей, характере пространственных границ и др.), геосистемы и экосистемы во многом сходны между собой. Это сложные целостные образования, обладающие общим набором компонентов природы, полиструктурностью, многообразием внешних и внутренних связей, динамичностью состояний, способностью к саморегулированию, иерархичностью. Соотношение основных иерархических уровней рассматриваемых объектов можно представить в следующем виде: природным зонам соответствуют зонаэкосистемы, ландшафтным областям – мегаэкосистемы, ландшафтам (как единицам физико-географического районирования) – макроэкосистемы, урочищам – мезоэкосистемы, фациям (элементарным геосистемам) – элементарные экосистемы (биогеоценозы).

В настоящее время под влиянием антропогенных факторов почти все современные геосистемы и экосистемы претерпели те или иные изменения. Поэтому в качестве основных объектов природопользования выступают природно-антропогенные комплексы. Особенность этих комплексов состоит в том, что, во-первых, в их состав входят как природные (неизменные и измененные), так и антропогенные элементы и компоненты; во-вторых, их отличает, сложное сочетание процессов естественного саморегулирования и элементов управления со стороны человека; в-третьих, они выполняют определенные социально-экономические функции. В связи с этим при организации службы мониторинга геосистем необходимо обратить особое внимание на взаимосвязи их природных и социально-экономических составляющих.

В качестве локальных природно-антропогенных геосистем рассматриваются такие объекты, как сельскохозяйственные поля, мелиоративные системы, рекреационные уголья, небольшие населенные пункты и т.п. Подобные объекты тесно взаимодействуют друг с другом, образуя территориальные сочетания как локального, так и регионального уровней. Эти сочетания обладают определенным единством (целостностью) в отношении выполняемых ими функций и занимаемого ими пространства. В качестве таких сочетаний выступают крупные города, агломерации, сельскохозяйственные и рекреационные районы, промышленные узлы и районы и т.п. В их состав входят элементарные геосистемы и экосистемы, выполняющие различные социально-экономические функции.

В последние годы обсуждается вопрос о том, геосистемы какого ранга следует рассматривать в качестве основного объекта мониторинга. Высказано мнение, что каждая региональная станция должна контролировать состояние среды в экологическом регионе, соответствующем отрезку природной зоны в пределах физико-географической страны. Обосновано предложение об использовании ландшафтно-бассейновых систем в качестве территориальных единиц мониторинга. Ландшафтно-бассейновый подход позволяет рационально разместить наблюдательную сеть и осуществить комплексность наблюдений.

Поскольку основными объектами геоэкологического мониторинга выступают природно-антропогенные системы, желательно, чтобы наблюдения привязывались к таким регионам, границы которых максимально соответствовали бы и природным и административно-хозяйственным рубежам. Мониторинг должен стать одним из важных рычагов управления природопользованием в этих регионах. Поэтому в качестве операционных единиц регионального геоэкологического мониторинга могут выступать территории ранга административной единицы (области и т.д.).

3. Дистанционный геоэкологический мониторинг. Использование космических дистанционных методов наблюдений позволяет получить оперативную информацию о состоянии природных систем, выявить антропогенные изменения, установить закономерности их динамики во времени и пространстве. Для решения этих задач необходим поиск интегральных показателей, характеризующих состояние комплексов в целом. В настоящее время этот поиск идет в направлении установления связей между перестройкой структуры и функционирования природных систем и изменением их спектральных отражательных и излучательных характеристик. Наличие подобной связи дает возможность использовать спектральные характеристики для анализа пространственно-временных изменений ландшафтов и экосистем. К ним можно отнести: спектральный коэффициент яркости (отношение яркости исследуемого объекта к яркости эталона, находящегося в таких же условиях освещения), спектральный коэффициент отражения (альбедо), радиационную температуру (температуру, определяемую по зарегистрированному тепловому потоку, идущему от объекта наблюдения) и другие показатели. Дистанционное слежение за спектральными характеристиками природных объектов дает возможность получить ценную информацию о состоянии геосистем и экосистем и их изменении под влиянием антропогенных и естественных факторов.

По Б.В. Виноградову, оптический эффект антропогенного изменения природных систем (ΔP) можно представить, как разность спектральных коэффициентов яркости неизменной (эталонной) системы (P_z) и антропогенной производной на ее месте (P_i):

$$\Delta P = P_z - P_i,$$

Отрицательный оптический эффект антропогенного воздействия на панхроматическом снимке выражается в более светлом тоне изображения по сравнению с исходным комплексом, что связано с увеличением отражательной способности измененной системы. Положительное влияние, наоборот, проявляется в более темном тоне и уменьшении отражательной способности.

Аналогично вычисляется радиационный эффект антропогенного изменения (ΔTr) природных комплексов:

$$\Delta Tr = Tr_z - Tr_i,$$

где Tr_z и Tr_i – радиационные температуры соответственно естественного и измененного комплексов.

Разность характеризует относительную величину оптической и радиационной неоднородности геосистем и экосистем разной формы и степени преобразования, а также дает сравнительную оценку их распознаваемости.

Наблюдения показывают, что наиболее существенные изменения спектральных характеристик геосистем и экосистем связаны с нарушением растительности (особенно в результате вырубки леса и деградации пастбищ), распашкой территории, изменением содержания гумуса и влаги в почвах, механическим загрязнением приземного слоя воздуха и снегового покрова, осушением и орошением, разрушением почв и другими воздействиями со стороны человека.

Так, на лессовидных почвообразующих породах (коэффициент яркости 0,30) при резком нарушении травянистой растительности (уменьшении проективного покрытия с 80-100% до 10%) P_i в оранжево-красной части спектра возрастает в 2-2,5 раза (с 0,10-0,12 до 0,22-0,25), а при почти полном исчезновении травяного покрова коэффициент яркости достигает предельной величины, т.е. 0,30. В ближней инфракрасной зоне спектра подобное уменьшение проективного покрытия (а соответственно и фитомассы) дает обратный оптический эффект – величина P_i снижается в 2-3 раза.

Уменьшение содержания гумуса и влаги в почвах ведет к увеличению коэффициента яркости измененных комплексов как в видимой, так и в ближней инфракрасной зонах спектра. Оптический эффект имеет тот же знак, что и уменьшение покрытия и фитомассы растительности. Подобный результат наблюдается на гарях, пашнях, в эрозионных экосистемах (величина ΔP антропогенного воздействия составляет минус 0,15-0,17).

Механическое антропогенное загрязнение воздуха и снега наиболее интенсивно проявляется в зоне влияния крупных предприятий и на территориях промышленных городов. Оптические и радиационные эффекты загрязнения снега особенно существенны весной, когда коэффициент яркости снегового покрова снижается с 0,5-0,7 до 0,2-0,3 (т.е. величина ΔP достигает 0,3-0,4). Зависимость коэффициента яркости от концентрации механических частиц в снеге нелинейна и описывается экспонентой.

Дистанционное слежение за спектральными характеристиками природных объектов может служить важным дополнением к данным наземных стационарных наблюдений, особенно для тех территорий, где такие наблюдения ограничены или совсем отсутствуют.

4. Обработка данных дистанционного зондирования Земли в технологии точного земледелия. В качестве примера рассмотрим мониторинг агроландшафтов в технологии точного земледелия. Главная цель точного земледелия при производстве сельскохозяйственных культур – максимизация урожая, финансовых выгод и минимизация вложений капитала, воздействия на окружающую среду.

Точное земледелие, представляет собой высокотехнологичную систему сельскохозяйственного менеджмента, включающую в себя технологии глобального позиционирования (GPS), географические информационные системы (GIS), технологии оценки урожайности (Yield Monitor Technologies), переменного нормирования (Variable Rate Technology), дистанционного зондирования земли (ДЗЗ) и направленную на получение максимального объема качественной и наиболее дешевой сельскохозяйственной продукции с учетом норм экологической безопасности.

В зависимости от временного соотношения между сбором информации и применением соответствующих агротехнических мероприятий различают: двухэтапные подходы (off-line) или подходы на основе картирования; одноэтапные подходы (on-line) или подходы с принятием решений в реальном масштабе времени («real-time») или сенсорные подходы; различные комбинации одно- и двухэтапных подходов или сенсорный подход с поддержкой картированием (map overlay).

Применение точного земледелия требует учета дополнительных затрат, среди которых можно выделить категории: затраты на сбор данных (карты, глобальные системы позиционирования (ГСП), сенсоры); затраты на менеджмент данных (техника и программное обеспечение); затраты на специальную технику для точного выполнения агроприемов и навигацию (ГСП-управляемые машины и оборудование для дифференцированной обработки почвы, посева, внесения удобрений, средств защиты растений и др.).

Большинство современных подходов к экономическому анализу точного земледелия сводится к оценке применения техники точного земледелия и соответствующих технологий при выращивании отдельной сельскохозяйственной культуры. Вместе с тем очевидно, что общий агроэкономический эффект от интеграции технологий точного земледелия в масштабах хозяйства с учетом синергетических эффектов будет более высоким по сравнению с использованием отдельных технологических приемов.

Основой научной концепции точного земледелия являются представления о существовании неоднородностей в пределах одного поля. Для оценки и детектирования этих неоднородностей используют новейшие технологии, такие как системы глобального позиционирования (GPS, ГЛОНАСС), специальные датчики, аэрофотоснимки и снимки со спутников, а также специальные программы, разработанные для агроменеджмента. Полученные данные применяют для планирования посева, расчета норм внесения удобрений и средств защиты растений, более точного предсказания урожайности и финансового планирования.

Применение технологий точного земледелия и формирование карт агроценозов позволяет оптимизировать затраты на внесение удобрений, обработку почвы, применение средств защиты растений.

Использование данных и программного обеспечения для составления карт урожайности является наиболее распространенной практикой (80%), за которой следует разработка планов или предписаний для применения VR-технологии для внесения питательных веществ и удобрений, а также для посева и посадки (50-60%), рисунок 24.

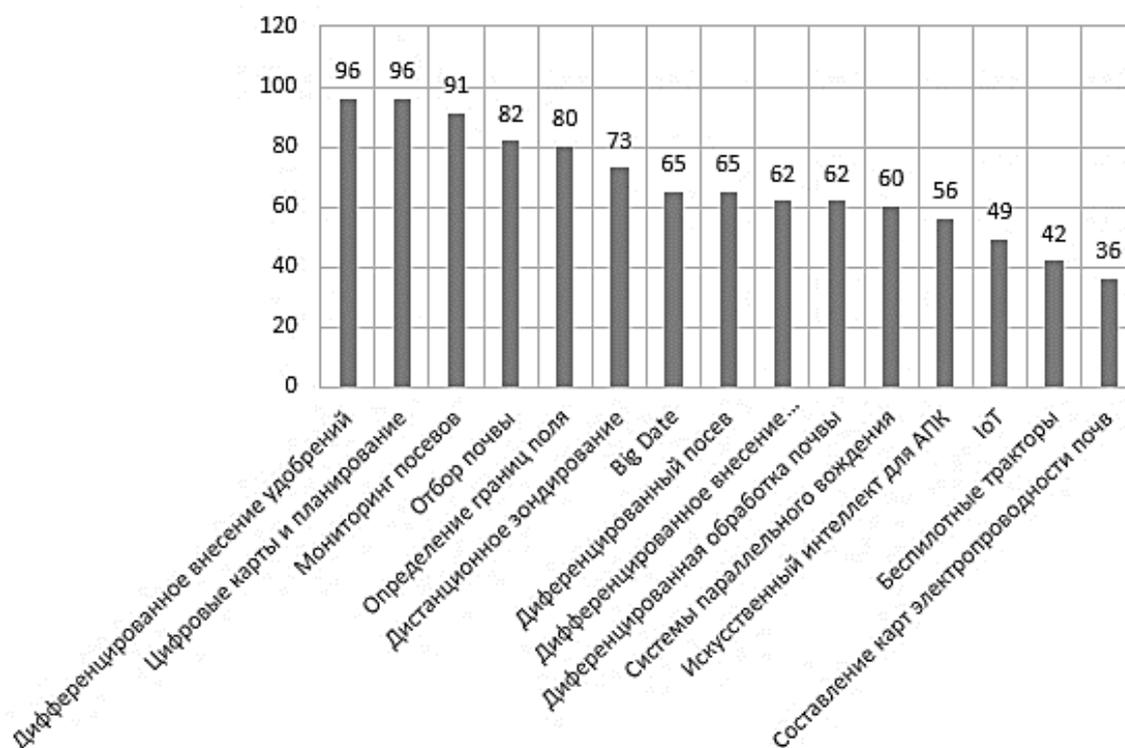


Рисунок 24 – Рейтинг востребованности элементов точного земледелия, баллы (от 0 до 100)

Одной из технологий точного земледелия является применение оборудования для создания электронных карт полей путем наземных измерений или с помощью беспилотных летательных аппаратов, аэро- или космической съемки.

При составлении карт качества почв отдельных полей можно ввести дифференциальное внесение средств защиты растений и удобрений в различных частях поля, что позволяет значительно экономить на внесении удобрений и СЗР и не перенасыщать ими почву. Карта дает возможность вести паспорта полей и севооборот хозяйства, подсчитать нужное количество семенного материала, осуществлять мониторинг техники и определять не только расход топлива, но и эффективность использования рабочего времени, позволяет вести базу данных неограниченное время и по нескольким показателям и др.

Точное земледелие призвано оптимизировать операционные расходы и повысить урожайность (в среднем на 15-20%) путем сокращения объемов используемых семян, агрохимикатов, удобрений и воды; более эффективного использования земли: с учетом особенностей того или иного участка определяются агрокультура с наибольшей урожайностью, а также оптимальная методика выращивания и ухода для максимизации урожайности.

Ключевыми элементами системы точного земледелия являются: беспилотные летательные аппараты (БПЛА), дистанционное зондирование земли (ДЗЗ), использование датчиков GPS и ГЛОНАСС.

Использование БПЛА имеет огромный потенциал для сельскохозяйственного производства, позволяет не только проводить оценку урожайности и выявлять потенциальные проблемные участки поля, но и обеспечивать эффективное внесение удобрений, обработку растений гербицидами и защитными препаратами, оценивать состояние почвенного покрова.

Для контроля свойств почвы, наблюдением состояния растительного покрова на больших площадях, использование дистанционного зондирования применяется с середины прошлого века. С помощью анализа данных изображений аэрокосмической съемки проведены исследования по определению органического состава почв, содержания гумуса, определение влажности, температуры, засоления, и оценка деградации почв. Анализ помогает созданию рекомендации проведения мероприятий по улучшению показателей эффективности производства.

Использование БПЛА для создания актуальных карт по аэрофотоснимкам имеет ряд преимуществ: их оперативность, когда получение снимков возможно несколько раз в сутки; высокое разрешение снимков (от 1,5 см до 20 см на пиксель), одновременная оценка развития культур, состояния посевов и качества выполнения агротехнических мероприятий на основании индекса вегетации (NDVI) по данным спектральной съемки БПЛА.

К задачам мониторинга в агропромышленном комплексе можно отнести:

- точное определение границ, инвентаризация;
- картографирование севооборотов;
- выявление неиспользуемых земель;
- определение участков деградации (эрозии, засоленности, опустынивания, засухи);
- создание почвенных карт;
- обнаружение незаконного использования территории;
- наблюдение за состоянием сельскохозяйственных посевов на различных этапах роста и развития;
- мониторинг мелиоративных и гидротехнических объектов;
- установление неоднородностей посевов сельскохозяйственных культур;
- мониторинг лесов;
- выявление лесных пожаров и прочие.

Данные ДДЗ широко используются для контроля лесных массивов. На основе спутникового мониторинга разработана система, позволяющая дать оценку таких параметров как возраст, биомасса, распространение и гибель лесного покрова. Это особенно важно для контроля состояния территориальных экосистем.

Использование БПЛА при инвентаризации земель сокращает материальные затраты, позволяет оперативно выполнить поставленные задачи, значительно повышает качество и точность определения местонахождения объектов по координатам, что особенно важно на больших территориях проведения исследований.

Характерным признаком растительности и ее состояния является спектральная отражательная способность, характеризующаяся большими различиями в отражении излучения разных длин волн. Знания о связи структуры и состояния растительности с ее

спектрально отражательными способностями позволяют использовать снимки для картографирования и идентификации типов растительности и их стрессового состояния.

Для работы со спектральной информацией часто прибегают к созданию так называемых «индексных» изображений. На основе комбинации значений яркости в определенных каналах, информативных для выделения исследуемого объекта, и расчета по этим значениям «спектрального индекса» объекта строится изображение, соответствующее значению индекса в каждом пикселе, что и позволяет выделить исследуемый объект или оценить его состояние. Спектральные индексы, используемые для изучения и оценки состояния растительности, получили общепринятое название вегетационных индексов.

Вегетационные индексы. Как было отмечено выше, характерным признаком растительности и ее состояния является спектральная отражательная способность, характеризующаяся большими различиями в отражении излучения разных длин волн. Знания о связи структуры и состояния растительности с ее отражательными способностями позволяют использовать космические снимки для идентификации типов растительности и их состояния.

В настоящее время существует около 160 вариантов вегетационных индексов. Они подбираются эмпирическим путем, исходя из известных особенностей кривых спектральной отражательной способности растительности и почв.

Расчет большей части вегетационных индексов базируется на двух наиболее стабильных (не зависящих от прочих факторов) участках кривой спектральной отражательной способности растений. В красной области спектра (0,6-0,7 мкм) лежит максимум поглощения солнечной радиации хлорофиллом, а в ближнем участке инфракрасной области (0,7-1,3 мкм) находится область максимального отражения энергии клеточной структурой листа. То есть высокая фотосинтетическая активность (связанная, как правило, с густой растительностью) ведет к более низким значениям коэффициентов отражения в красной зоне спектра и большим значениям в ближней инфракрасной.

Один из самых распространенных и используемых индексов для решения задач, использующих количественные оценки растительного покрова, вегетационный индекс NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) – нормализованный относительный индекс растительности, который для растительности принимает положительные значения, и чем больше зеленая фитомасса, тем он выше. На значения индекса влияет также видовой состав растительности, ее сомкнутость, состояние, экспозиция и угол наклона поверхности, цвет почвы под разреженной растительностью.

Вычисляется по следующей формуле:

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

ρ_{NIR} – отражение в ближней инфракрасной области спектра, ρ_{RED} – отражение в красной области спектра.

NDVI может быть рассчитан на основе любых снимков высокого, среднего или низкого разрешения, имеющих спектральные каналы в красном и ближнем инфракрасном диапазонах. Благодаря минимальному временному разрешению данных AVHRR/NOAA вычисление NDVI на их основе может давать оперативную информацию об эколого-климатической обстановке и возможность отслеживать динамику различных параметров с периодичностью менее суток. А большой пространственный охват позволяет проводить мониторинг территорий, соразмерный с площадями областей и целых стран. Данные же камер более высокого разрешения, типа *Landsat*, *IRS*, *Aster*, позволяют следить за состоянием объектов, размеры которых доходят до отдельного поля или лесного выдела. Алгоритм расчета NDVI встроено практически во все

распространенные пакеты программного обеспечения, связанные с обработкой данных дистанционного зондирования.

Индекс NDVI может принимать значения от -1 до 1 . Для зеленой фотосинтезирующей растительности индекс NDVI принимает положительные значения, обычно от $0,2$ до $0,8$ (рисунок 25, таблица 10).

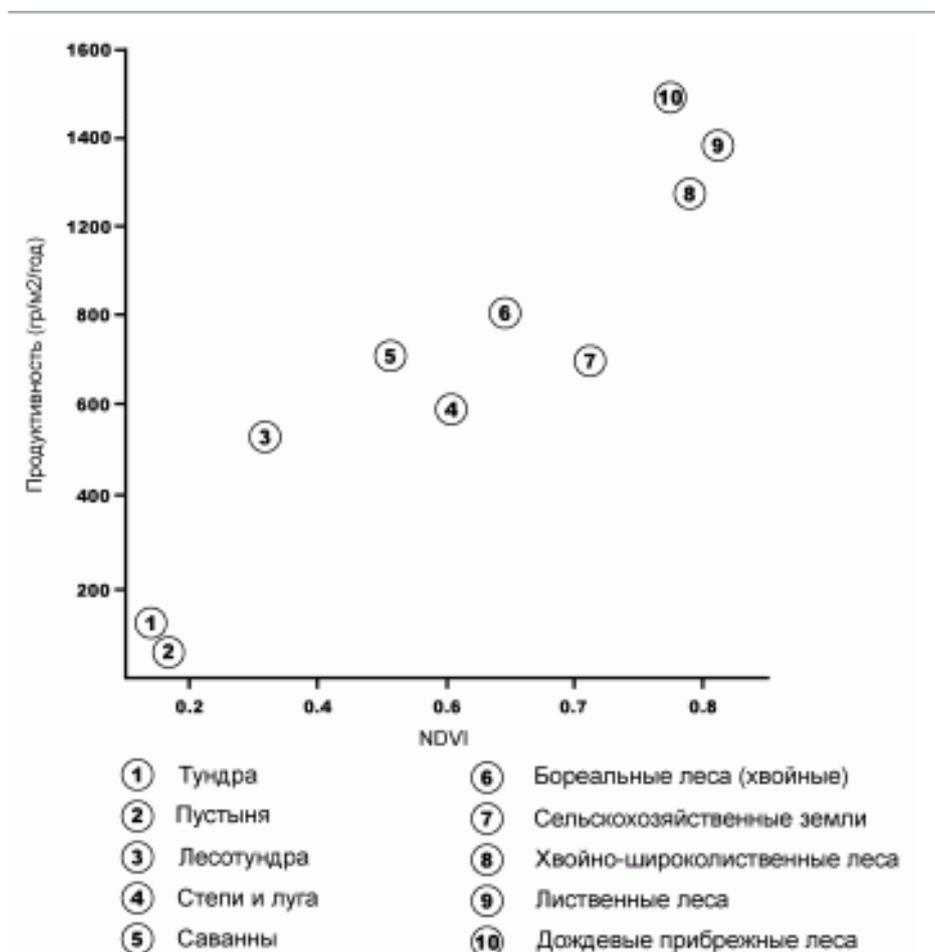


Рисунок 25 – Зависимость значения *NDVI* от продуктивности для различных типов экосистем

Таблица 10 – Значения отражения различных объектов в красной и ближней инфракрасной областях спектра

Тип объекта	Отражение в красной области спектра	Отражение в ближней инфракрасной области спектра	Значение NDVI
Густая растительность	0,1	0,5	0,7
Разряженная растительность	0,1	0,3	0,5
Открытая почва	0,25	0,3	0,025
Облака	0,25	0,25	0
Снег и лед	0,375	0,35	-0,05
Вода	0,02	0,01	-0,25
Искусственные материалы (бетон, асфальт)	0,3	0,1	-0,5

Это свойство довольно активно используется для регионального картирования и анализа различных типов ландшафтов и оценки ресурсов в масштабе стран и континентов.

Со времени разработки алгоритма для расчета NDVI у него появилось довольно много модификаций, предназначенных для уменьшения влияния различных помехообразующих факторов.

Таких, например, как поглощение излучения атмосферой – атмосфероустойчивый вегетационный индекс *ARVI* (Atmospheric-Resistant Vegetation Index):

$$ARVI = \frac{\rho_{NIR} - R_b}{\rho_{NIR} + R_b},$$

где $R_b = \rho_{RED} - a \rho_{RED} - \rho_{BLUE}$, ρ_{BLUE} – отражение в синей области спектра, как правило, $a = 1$, при малом покрытии растительности и неизвестном типе атмосферы $a = 0,5$.

ARVI использует значение отражения в синей области спектра, чтобы устранить влияние атмосферы на значение коэффициента отражения в красной зоне. Значения индекса *ARVI* изменяются от -1 до 1 .

Другой пример – это индексы, устойчивые к влиянию почвы. Одним из таких индексов является почвенный вегетационный индекс *SAVI* (Soil Adjusted Vegetation Index):

$$SAVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + \rho_{RED} + L} 1 + L,$$

где L – корректирующий фактор, который может варьировать от 0 для очень густого растительного покрова до 1 для очень разреженного, в большинстве приложений для промежуточной густоты растительности используется значение $L = 0,5$. Значения индекса *SAVI* также изменяются от -1 до 1 .

Существуют также индексы, основанные на NDVI, корректирующие сразу несколько помехообразующих факторов, как, например, *EVI* (Enhanced Vegetation Index):

$$EVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + C_1 \rho_{RED} - C_2 \rho_{BLUE} + L^*} 1 + L^*$$

Эмпирически коэффициенты C_1 , C_2 и L^* равны $6,0$, $7,5$ и $1,0$ соответственно. Индекс *EVI* тоже может принимать значения от -1 до 1 .

Главным преимуществом вегетационных индексов является легкость их получения и широкий диапазон решаемых с их помощью задач. Благодаря всем этим особенностям карты вегетационных индексов часто используются как один из промежуточных дополнительных слоев для проведения более сложных типов анализа, результатами которого могут стать карты продуктивности лесов и сельскохозяйственных земель, карты типов ландшафтов, растительности и природных зон, почвенные, аридные, фитогидрологические и другие эколого-климатические карты.

ЛИТЕРАТУРА

1. Цветков, В.Я. Космическая геоинформатика: учебное пособие / В.Я. Цветков, В.П. Савиных. – Санкт-Петербург; Москва; Краснодар: Лань, 2022. – 180 с.
2. Геоинформационные и земельные информационные системы. Практикум: учебное пособие / О.А. Колесник [и др.]. – Санкт-Петербург; Москва; Краснодар: Лань, 2023. – 98 с.
3. Карлович, М.Ф. Дешифрирование аэроснимков / М.Ф. Карлович. – Минск: БНТУ, 2020. – 49 с.
4. Каўрыга, П.А. Метады дыстанцыйных даследаванняў у гідраметэаралогіі. Практыкум / П.А. Каўрыга. – Минск: БГУ, 2020. – 163 с.
5. Головина, Л.А. Цифровая обработка изображений / Л.А. Головина, М.М. Шляхова. – Новосибирск: СГУГиТ, 2020. – 50 с.
6. Инженерная экология: учебное пособие для студентов учреждений высшего образования по специальностям «Теплогазоснабжение, вентиляция и охрана воздушного бассейна», «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов», «Водохозяйственное строительство» / И. С. Бракович [и др.]; под ред. Б. М. Хрусталева. – Минск: Вышэйшая школа, 2020. – 222 с.
7. Головина, Л.А. Дешифрирование аэрокосмической информации: практикум / Л.А. Головина. – Новосибирск: СГУГиТ, 2019. – 110 с.
8. Новые технологии дистанционного зондирования Земли из космоса / В.В. Груздов, Ю.В. Колковский, А.В. Криштопов, А.И. Кудря. – Москва: Техносфера, 2019. – 482 с. URL: <https://www.iprbookshop.ru/93363.html>
9. Курлович, Д. М. ГИС-анализ и моделирование: учеб-метод. пособие для студентов учреждений высшего образования, обучающихся по специальности 1-56 02 02 «Геоинформационные системы (по направлениям)» / Д.М. Курлович; Белорусский государственный университет. – Минск: БГУ, 2018. – 164 с.
10. Балдина, Е.А. Радиолокационные данные в географических исследованиях и картографировании / Е.А Балдина, К.А. Трошко. – М.: Географический факультет МГУ, 2017. – 110 с.
11. Обработка цифровых аэрокосмических изображений для геоинформационных систем / С.Г. Емельянов, С.Ю. Мирошниченко, В.С. Панищев [и др.]. – Старый Оскол: ТНТ, 2017. – 175 с.
12. Курлович, Д. М. Геоинформационные технологии. Лабораторный практикум: учебно-методическое пособие для студентов, обучающихся по специальности 1-31 02 01 «География (по направлениям)», направление специальности 1-31 02 01-02 «География (научно-педагогическая деятельность)» / Д.М. Курлович, Н.В. Жуковская, О.М. Ковалевская; Белорусский государственный университет. – Минск: БГУ, 2015. – 157 с.
13. Сутурина, Е.Н. Дистанционное зондирование Земли. Учебное пособие / Е.Н. Сутурина. – Иркутск: Изд-во ИГУ, 2013. – 165 с.
14. Воробьева, А.А. Дистанционное зондирование Земли. Учебно- методическое пособие / А.А. Воробьева. – СПб: СПб ИТМО, 2012. – 168 с.
15. Лозовая С. Фотограмметрия и дистанционное зондирование территорий: практикум. учебное пособие / С.Ю. Лозовая, Н.М. Лозовой, А.В. Прохоров. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, ЭБС АСВ, 2012. – 168 с. URL: <https://www.iprbookshop.ru/28415.html>
16. Книжников, Ю.Ф. Аэрокосмические методы географических исследований. Учебник / Ю.Ф. Книжников, В.И. Кравцова, О.В. Тутубалина. – Москва: Академия, 2011. – 416 с.

17. Лабутина, И.А. Использование данных дистанционного зондирования для мониторинга экосистем ООПТ. Методическое пособие / Лабутина И.А., Балдина Е.А. Всемирный фонд дикой природы (WWF России). Проект ПРООН/ГЭФ/МКИ «Сохранение биоразнообразия в российской части Алтае-Саянского экорегиона». – М., 2011. – 88 с.

18. Токарева, О.С. Обработка и интерпретация данных дистанционного зондирования Земли. Учебное пособие / О.С. Токарева. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 148 с.

Ресурсы сети Интернет:

1. Официальный сайт УП «Геоинформационные системы» НАН Беларуси – <https://gis.by/ru/>
2. Официальный сайт госкорпорации «Роскосмос» – <https://www.roskosmos.ru>
3. Официальный сайт компании «СканЭкс» – <https://www.scanex.ru>
4. Официальный сайт компании «Совзонд» – <https://sovzond.ru>
5. Официальный сайт компании «Геоскан» – <https://www.geoscan.aero/ru>
6. Журнал «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса» – <http://jr.rse.cosmos.ru>
7. Журнал «Исследование Земли из космоса» – <http://www.jizk.ru>
8. Журнал «Земля из космоса» – <http://zikj.ru/index.php/ru>
9. Интернет-журнал «Геоматика» – <https://sovzond.ru/press-center/geomatics>
10. Журнал «Геопрофи» – <http://www.geoprofi.ru/about>

Информационные ресурсы:

1. Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:
 - ArcGIS 10.3 (ESRI Inc.), тип лицензии: Advanced, плавающая на 25 рабочих мест;
 - ERDAS Imagine, для образовательных учреждений. Сайт: <http://geospatial.com/>
 - Microsoft Office Standart 2013 Russian: пакет программ. Включает приложения: MS Office Word, MS Office Excel, MS Office PowerPoint, MS Office OneNote, MS Office Publisher, MS Outlook, MS Office Web Apps (Word Excel MS PowerPoint Outlook);
 - публично доступные облачные технологии (Google Docs, Яндекс диск и т.п.).
2. Информационные справочные системы:
 - ЭБС Лань – <http://e.lanbook.com/>
 - ЭБС Консультант студента – <http://www.studentlibrary.ru/>
 - Образовательная платформа Юрайт – <https://urait.ru/>
 - ЭБС ZNANIUM.com – <https://znanium.com/>
 - ЭБС IPRbooks – <http://www.iprbookshop.ru/>
3. Профессиональные базы данных:
 - Базы геоданных на весь мир Геологической службы США (цифровые карты, модели рельефа, космические снимки) – <https://earthexplorer.usgs.gov/>
 - Геосервис Google Earth – <https://www.google.ru/intl/ru/earth/>
 - Геосервис Open Street Map – <https://www.openstreetmap.org/>
 - Геосервис Сканэкс – <https://kosmosnimki.ru/>