

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

МЕТОДЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

Учебное пособие для вузов

Составители:

А. И. Трегуб,
О. В. Жаворонкин,

Воронеж
2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1. ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА И ТЕХНОЛОГИИ АЭРОКОСМОСЪЕМКИ	6
1.1. Аэросъемка	6
1.2. Космическая съемка.	9
1.3. Краткая характеристика космических съемочных систем некоторых стран	13
2. МАТЕРИАЛЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ В ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ	14
2.1. Физические основы дистанционного зондирования Земли	14
2.2. Материалы дистанционного зондирования Земли	16
2.3. Обработка и преобразование материалов дистанционного зондирования Земли	18
2.4. Обработка и преобразование цифрового рельефа	21
2.5. Пакеты программ для обработки и анализа материалов дистанционного зондирования Земли	21
3. МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ДЕШИФРИРОВАНИЯ МАТЕРИАЛОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ	23
3.1. Общие принципы дешифрирования материалов дистанционного зондирования	23
3.2. Дешифровочные признаки	24
3.3. Методы дешифрирования	24
4. ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ДЕШИФРИРОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ	26
4.1. Дешифрирование коренных пород	26
4.2. Дешифрирование четвертичных образований	29
4.3. Геоморфологическое дешифрирование	33
5. ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ПРИ ГЕОЛОГИЧЕСКОМ КАРТИРОВАНИИ И ПОИСКОВЫХ РАБОТАХ	33
5.1. Материалы дистанционного зондирования при геологическом картировании	33
5.2. Материалы дистанционного зондирования при прогнозно-поисковых исследованиях	38
ЛИТЕРАТУРА	41

было запущено 2400 спутников различного назначения. Примерно каждые три года выводилось на орбиту по 250 ИСЗ серии «Космос». Значительная часть из них была снабжена оборудованием для выполнения ресурсных исследований. С их помощью для всей территории СССР были получены космические фотоснимки высокого качества. Современная группировка Российских спутников насчитывает более 110 аппаратов различного назначения. Экономический эффект только от применения ИСЗ серии «Ресурс-0» составил около 1,2 млрд. руб. в год, а спутников серий «Метеор» и «Электрон» - 10 млрд. руб. в год.

В настоящее время свои спутниковые системы, кроме России и США, имеют: Франция, Германия, Европейский Союз, Индия, Китай, Япония, Израиль и другие страны.

1. ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА И ТЕХНОЛОГИИ АЭРОКОСМОСЪЕМКИ

Технологии аэросъемок в развитии дистанционных исследований Земли предшествовали технологиям космических съемок. На начальных этапах развития дистанционного зондирования Земли из космоса в него перешли многие технологические приемы проведения аэросъемки, но по мере развития космических исследований возникали и новые приборы, а также новые технологии. При этом важнейшее значение имело становление и бурное развитие компьютерных технологий, направленных на обработку данных дистанционного зондирования.

1.1. Аэросъемка

Аэросъемка земной поверхности может выполняться в зависимости от поставленных задач с помощью самолетов и вертолетов, аэростатов и даже мотодельтапланов, а также беспилотных летательных аппаратов. Различают фотографическую, тепловую, радиолокационную и многозональную аэросъемку. Фотографическая съемка (аэрофотосъемка) для целей геологического картирования является наиболее важной, не только потому, что обладает наибольшей информативностью, но и потому, что за время ее проведения накоплено значительное количество аэрофотоматериалов различных масштабов и по различным регионам. Поэтому при проведении геолого-съемочных работ бывает экономически более целесообразным использовать уже имеющиеся в фондах аэрофотоматериалы, чем заказывать производство новой аэрофотосъемки.

Аэрофотосъемка местности используется в различных целях, важнейшими из них являются составление и корректировка топографических карт, геологические исследования. Аэрофотосъемка может быть точечной, маршрутной и площадной. Точечная съемка выполняется при изучении точечных объектов. Маршрутная съемка проводится по заданной линии

(линии берега, вдоль русла реки и т. п.). Площадная съемка выполняется в пределах заданных площадей, которые обычно определяются рамками топографических планшетов. Важным требованием к съемке является требование об обязательном перекрытии площадей соседних снимков. По линии маршрута - продольное перекрытие, должно составлять не менее 60%, а между маршрутами (поперечное перекрытие) – не менее 30%. Должна также выдерживаться заданная высота полета. Соблюдение этих параметров необходимо для возможности получения стереоэффекта (объемного изображения местности).

Аэрофотосъемка может быть плановой и перспективной. Плановая аэрофотосъемка, предназначенная для решения топографических задач, отличается повышенными требованиями к предельным отклонениям плоскости снимка от горизонтальной плоскости. Перспективные снимки в комплекте с плановыми снимками весьма полезны при изучении геологического строения высокогорных территорий с крутыми склонами.

Для аэрофотосъемки в пределах территории России чаще всего используются самолеты Ан-2, Ан-28 ФК, Ан-30, Ту-134 СХ.

На протяжении более чем 60 лет (рекорд в «Книге Гиннеса»!) основным самолетом был (остается и сейчас) Ан-2 (его аэрофотосъемочная модификация Ан-2Ф). Он отличается высокой надежностью, техническими параметрами, отвечающими условиям проведения аэрофотосъемки: возможность использования грунтовых аэродромов с длиной полосы разбега при взлете не более 200 м, а при посадке – 120 м; предельная высота полета 5200 м (при практическом потолке 4500 м); экономичный поршневой двигатель мощностью 1000 л. с.; скорость полета в пределах от 150 до 250 км/час и дальность полета (990 км), достаточная для выполнения съемки на больших площадях; большой объем фюзеляжа, позволяющий свободно размещать оборудование и экипаж 3 человека (вместе с оператором).

С 1974 г. используется специализированный самолет Ан-30. Его силовая установка состоит из двух турбовинтовых двигателей, мощностью по 2820 л. с., и дополнительного реактивного двигателя мощностью 500 л. с. Крейсерская скорость самолета - 435 км/час, максимальная высота полета 8300 м. Дальность действия - 1240 км, длина разбега по взлетно-посадочной полосе с бетонным покрытием - 720 м, средний расход топлива 855 кг/час. Максимальный взлетный вес самолета 23 т. Вес фотооборудования – 650 кг. Экипаж (включая оператора) состоит из 7 человек. Аэрофотосъемка выполняется в масштабах от 1: 3 000 до 1:200 000. В настоящее время в распоряжении военно-воздушных сил (ВВС) осталось не более 10 машин этого типа. Сходными характеристиками обладают самолеты Ан-28 ФК.

Сельскохозяйственный самолет Ту-134 СХ разработан в 1984 г. На самолете установлена радиолокационная станция бокового обзора (РЛСБО). Специальный навигационный комплекс «Маяк» и система автоматического управления поддерживают заданный курс и осуществляют фотосъемку местности в соответствии с заданной программой. Пять бортовых

фотоаппаратов позволяют проводить съемку в радиочастотном, видимом и инфракрасном диапазонах. В салоне – 9 рабочих мест со специальной аппаратурой, пультами управления и фотолабораторией (для обработки фотоматериалов в полете). За один рейс (4,5 часа) может быть заснята территория 100 х 100 км (10 000 км² - примерная площадь двух топографических планшетов в масштабе 1 : 200 000).

Аэрофотосъемка выполняется с помощью специальных широкоугольных фотоаппаратов, которые устанавливаются в люке фюзеляжа самолета. Для фиксации фотоаппарата в горизонтальной плоскости используются гиросистемы. Фотопленка помещается в специальных кассетах емкостью по 30 или 60 м. Ширина пленки, в зависимости от параметров фотоаппарата, составляет 18 см или 30 см. В комплект оборудования входит также реле времени (часовой механизм), обеспечивающий заданную экспозицию съемки и режим перемотки пленки. В настоящее время чаще всего используются фотоаппараты с объективами серии «Уран»: с фокусными расстояниями 250 мм, углом поля зрения 54°, размером кадра 180 х 180 мм («Уран-9»), а также с фокусным расстоянием 750 мм и размером кадра 300 х 300 мм («Уран – 16»).

В последние годы для производства аэрофотосъемки все чаще применяются цифровые съемочные системы. В целом цифровые камеры более надежны в эксплуатации, существенно сокращают длительность технологического процесса, цифровые снимки свободны от «зернистости». Они обеспечивают возможность получения панхроматических, цветных и спектральных снимков в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах. Интервал фотографирования составляет менее одной секунды, что позволяет выполнять крупномасштабную съемку с продольным перекрытием до 80-90%. Среди общих свойств цифровых аэрофотоаппаратов различных систем следует указать на использование приемников излучения матричного или линейного типа; синтезированный кадр (для широкоформатных камер) – результирующий кадр системы формируется из набора субкадров, соответствующих матриц или линейных приемников; GPS/INS поддержка – пространственные и угловые координаты систем координат аэрофотоаппаратов (элементы внешнего ориентирования) определяются с использованием средств инерциальной навигации и систем спутникового геопозиционирования GPS или ГЛОНАС.

Радарная (радиолокационная) аэросъемка выполняется с помощью радиолокационных систем бокового обзора (РЛСБО), установленных на борту самолета. От источника микроволнового излучения сигнал направляется к земной поверхности, отражается от нее и возвращается на приемную антенну. С помощью специальных программ запись отраженных сигналов преобразуется в фотографическое изображение земной поверхности.

1.2. Космическая съемка

Космическая съемка земной поверхности в последние годы превратилась в самостоятельную ветвь дистанционного зондирования Земли. Системы космического зондирования включают несколько важнейших элементов: транспортные средства доставки необходимого оборудования на околоземную орбиту, космические платформы – носители средств наблюдения, сенсоры (датчики), средства передачи информации и наземные центры приема, обработки этой информации, доставки ее потребителю.

Основными транспортными средствами доставки необходимого оборудования на околоземные орбиты являются ракеты различного класса. В СССР наиболее ранними из них были трехступенчатые ракеты легкого класса «Восток». С их помощью осуществлялись пилотируемые полеты, запускались искусственные спутники Земли (ИСЗ) серии «Космос», лунные станции. Кроме того, в этом классе широко применяются многие носители, снятые с вооружения, в частности ракета «Зенит», предназначенная также в качестве элемента разгонного блока системы «Энергия – Буран».

Трехступенчатая ракета среднего класса «Союз», грузоподъемностью около 7 тонн с успехом используется, равно как и созданная на ее основе четырехступенчатая ракета «Молния», для запусков ИСЗ «Прогноз», «Молния».

Созданная почти полвека назад многоступенчатая ракета тяжелого класса «Протон» грузоподъемностью более 20 тонн использовалась и используется сейчас в различных целях: для исследования Луны, планет Солнечной системы, для выведения на околоземную орбиту обитаемых станций «Салют», «Мир», на геостационарные орбиты спутников «Горизонт», «Радуга», «Экран» и др.

В мае 1987 года в связи с разработкой программы по созданию многоразового космического корабля «Энергия-Буран» была введена в эксплуатацию двухступенчатая ракета сверхтяжелого класса «Энергия» со стартовой массой более 2000 тонн и грузоподъемностью около 200 тонн. Помимо применения этой ракеты для выведения на околоземную орбиту многоразовых кораблей, она может быть использована и для доставки других грузов. Это выгодно отличает систему «Энергия – Буран» от похожей по назначению американской системы «Space Shuttle».

Наиболее часто применяемыми зарубежными ракетами являются ракеты серии «Delta» (США) и «Arian» (Франция).

Кроме ИСЗ для ресурсных исследований в России использовались орбитальные станции («Салют-4,5,6», «Мир»), а также пилотируемые корабли серии «Союз».

В США важная роль в космических исследованиях отводилась проекту «Space Shuttle». Проект изначально разрабатывался в военных целях. Однако

он не оправдал себя по многим причинам, и, прежде всего, по безопасности полетов. Первый космический корабль «Колумбия» был построен в 1979 году, а первый полет совершил 12 апреля 1981 года. Он потерпел катастрофу в своем 28-м полете 1 февраля 2003 года вместе с экипажем при входе в атмосферу Земли. Второй челнок «Челленджер» введен в эксплуатацию в июле 1982 года. Он взорвался вместе с экипажем на своем 10-м взлете. Таким образом, в этой программе в общей сложности погибли 14 человек. Из пяти машин потеряны две (40% летающего парка). Оставшиеся три корабля - «Дискавери» (37 полетов), «Атлантис» (31 полет), «Индевор» (23 полета) списаны в связи с закрытием программы. Не оправдала себя и экономическая сторона программы. Шаттлы оказались не способны к регулярным полетам, а требовали длительного ремонта и переборки в заводских условиях после каждого полета. Вопреки расчетам, полная себестоимость каждого запуска шаттла составила около миллиарда долларов. При этом вес полезного груза (около 29,5 тонн) - всего 1,5% от стартовой массы корабля. Для сравнения, запуск российского одноразового носителя «Протон» (с такой же грузоподъемностью) обходится примерно в 30 млн. долларов. Вместе с тем, в совокупности все корабли системы «Space Shuttle» совершили 127 полетов, выполнили большую работу, доставляя на орбиту различные грузы, сменные экипажи на Международную космическую станцию (МКС). Немаловажное значение для развития космонавтики имеет и полученный опыт использования космических челноков.

В Советском Союзе аналогом шаттлов был «Буран» - орбитальный корабль-космоплан, элемент многоразовой транспортной космической системы. Он был разработан в рамках программы «Энергия-Буран». По основным техническим параметрам «Буран» был похож на шаттлы. Его длина – 36,4 м, размах крыла – 24 м, высота на шасси – 16 м. Стартовая масса – 105 т. Грузоподъемность при взлете – 30 т, а при посадке -20 т. Объем кабины – около 70 м³, рассчитан на 10 человек экипажа и людей для проведения работ на орбите. Скорость «Бурана» при входе в атмосферу составляла 30 000 км/час, а при посадке – 300 км/час. В отличие от шаттлов, «Буран» имел возможность неоднократного захода на посадку. Его важнейшей конструктивной особенностью было наличие системы экстренного спасения экипажа в аварийных ситуациях на любой фазе полета. Свой первый (и, к сожалению, последний) полет «Буран» совершил 15 ноября 1988 г. Полет продолжался 205 минут (2 витка вокруг Земли), завершился успешной посадкой на аэродроме Юбилейный космодрома Байконур. Полет и посадка прошли полностью в автоматическом режиме. Факт посадки в автоматическом режиме вошел в книгу рекордов Гиннеса. В связи с политическими событиями в стране в 1990 г. работы по программе «Энергия-Буран» были приостановлены, а в 1993 г. программа закрыта полностью. Летавший «Буран» в 2002 г. вместе с ракетой «Энергия» был уничтожен вследствие обрушения крыши ангара на Байконуре. Его